Scientific Journal of Passive Defence
Vol. 15, No. 2, Summer 2024, Serial No. 58
ISSN: 2980-8030 , E-ISSN: 2008-6849

Rapid Assessment of Building Risk Based on the IRVS Method - A Case Study of a Student Dormitory

Mohammad Fayyaz* , Milad Hossseyni, Mahdi DehghanNejad
*Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Imam Hossein University, Tehran, Iran
(Received: 10/07/2023, Revised: 23/09/2023, Accepted: 29/06/2024, Published: 15/08/2024)
DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.2.1

ABSTRACT

Earthquakes in many parts of the world cause the collapse of buildings and the occurrence of damages and the resulting dangers; Therefore, it is necessary to assess the risk of the buildings and, if necessary, improve or retrofit them. In addition to earthquakes, other natural hazards such as floods and storms, as well as unnatural hazards such as explosions, chemical attacks, and fires may also threaten a building; Therefore, it is necessary to consider all the different aspects of the building's vulnerability in its risk assessment. Evaluation of structures is done in two fast (qualitative) and quantitative (analytical) methods. In qualitative evaluation methods, in a short period of time, buildings are quickly evaluated and classified in terms of vulnerability. In this research, a variety of quick risk calculation methods have been investigated. The integrated rapid visual survey IRVS method, which has the ability to calculate risk and resilience for all types of man-made threats and natural hazards, has been developed for the domestic conditions of the country, and its Persian software is written using the Python programming language. Read Excel. It also has the ability to offer options to reduce risk according to the user's desired risk.

Keywords: Seismic Risk, Resilience, Seismic Vulnerability, Rapid Seismic Assessment Methods

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University © Authors

* Corresponding Author Email: Mfayyaz@ihu.ac.ir

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال پانزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، (پیاپی ۵۸): صص ۲۶-۱۷

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | **شاپای الکترونیکی:** ۸۰۳۰-۲۹۸۰

علمی – پژوهشی

ارزیابی سریع خطر ساختمان مبتنی بر روش IRVS - مطالعه موردی خوابگاه دانشجویی

محمد فیاض*[۱]، میلاد حسینی ایزجی[۲]، مهدی دهقان نژاد ثانی آبادی[۳]

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.2.2.1

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱ تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۲۵

چکیده

زلزله در بسیاری از نقاط جهان سبب ریزش ساختمان‌ها و بروز آسیب‌ها و ایجاد مخاطرات ناشی از آن می‌گردد؛ بنابراین لازم است ساختمان‌ها مورد ارزیابی خطر قرار گرفته و در صورت نیاز، بهسازی یا مقاوم‌سازی آنها در دستور کار قرار گیرد. علاوه بر زلزله، خطرات طبیعی دیگری مانند سیل و طوفان، و همچنین خطرات غیرطبیعی مانند انفجار، حملات شیمیایی و آتش‌سوزی نیز ممکن است یک ساختمان را تهدید کنند؛ پس لازم است که تمام جنبه‌های مختلف آسیب‌پذیری ساختمان در ارزیابی خطر آن در نظر گرفته شود. ارزیابی سازه‌ها به دو روش سریع (کیفی) و کمی (تحلیلی) انجام می‌شود. در روش‌های ارزیابی کیفی، در مدت‌زمان کوتاهی ساختمان‌ها مورد ارزیابی سریع قرار گرفته و به لحاظ آسیب‌پذیری طبقه‌بندی شوند. در این تحقیق انواع روش‌های سریع محاسبه خطر مورد بررسی قرار گرفته است. روش ارزیابی جامع چشمی سریع (IRVS)[۱] که توانایی محاسبه ریسک و تاب‌آوری برای انواع تهدیدات انسان‌ساز و خطرات طبیعی را دارد برای شرایط داخلی کشور توسعه داده شده است. همچنین این قابلیت را دارد که با توجه به خطر موردنظر کاربر، گزینه‌هایی را برای کاهش خطرارائه دهد که نتایج آن در خصوص یک خوابگاه دانشجویی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: خطر لرزه‌ای، تاب‌آوری، آسیب‌پذیری لرزه‌ای، روش‌های ارزیابی لرزه‌ای سریع

[۱] استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران (Mfayyaz@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

[۲] پژوهشگر، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه ایوانکی، ایوانک، ایران

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع) © نویسندگان

[1] Intergrated Rapid Visual Screening

۱- مقدمه

امروزه عمدتاً شهرها در مکان‌هایی بنا شده‌اند که از نظر خطرات طبیعی در معرض انواع سوانح طبیعی هستند. بلایای اتفاق افتاده در سال‌های اخیر بیانگر این موضوع است که جوامع و افراد به صورت فزاینده‌ای آسیب‌پذیرتر شده و ریسک‌ها نیز افزایش یافته‌اند. بااین‌حال، کاهش ریسک و آسیب‌پذیری اغلب تا بعد از وقوع سوانح نادیده گرفته می‌شوند[۱] و [۲]. در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله‌ی مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داده که در اثر آن بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بوده که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبودند [۳]. برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود چند روش به کار گرفته می‌شود، در یک دسته‌بندی می‌توان این روش‌ها را به: ۱) روش‌های ارزیابی کلی ۲)روش‌های ارزیابی کیفی (سریع، اجمالی و عینی) ۳) روش‌های ارزیابی کمی (محاسبات دقیق بر اساس وضعیت موجود) همراه با ارائه طرح بهسازی بر اساس کاستی‌های تقسیم کرد.

روش‌های ارزیابی کلی عموماً با هدف تهیه اطلاعات لازم برای برنامه‌های مدیریت شهری و مدیریت بحران قابل‌استفاده‌اند. روش‌های ارزیابی کیفی، برای کسب شمایی کلی از وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر مناسب‌اند، ولی در مورد هر ساختمان، اطلاعاتی قابل‌اتکا فراهم نمی‌کنند. مزیت این روش، کسب سریع اطلاعات در مقیاس شهر یا ناحیه یا محله است. اگر هدف بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها با درنظرگرفتن شرایط واقعی‌تر هر ساختمان و همراه با سرعت عمل موردنظر باشد، از روش‌های ارزیابی کیفی استفاده می‌شود.

در روش‌های ارزیابی سریع لرزه‌ای (کیفی) دیگر محدودیت‌های نیاز به اسناد و مدارک سازه‌ای و محاسباتی و همچنین زمان بر بودن ارزیابی وجود ندارد، و می‌توان در زمان محدود و هزینه کم تعداد زیادی از ساختمان‌ها را ارزیابی کرد. باید به این نکته توجه نمود که هدف از این سه دسته‌بندی آن است که در هر مرحله باتوجه‌به اطلاعات جمع‌آوری‌شده، انجام تحلیل در گام بالاتر تشخیص داده شود. پس از انجام مرحله اول (ارزیابی سریع لرزه‌ای) و پیش‌بینی رفتار لرزه‌ای سازه، چنانچه در این مرحله مشکل حادی وجود نداشته باشد دیگر نیازی به انجام تحلیل‌های دقیق و وقت‌گیر نمی‌باشد. ولی چنانچه عملکردی فراتر از ایمنی جانی را تحت زلزله ای بیشتر یا مساوی با زلزله مورد پیش‌بینی در آیین‌نامه زلزله مدنظر داشته باشد و یا در طول استفاده از ابنیه آیین‌نامه تغییر نموده باشد، می‌تواند بر اساس دستورالعمل بهسازی وارد مرحله دوم نیز گردد. این موضوع یکی از موضوعات برجسته در علم مهندسی زلزله می‌باشد که طی سالیان اخیر موردتوجه بسیاری از محققین در جهان و ایران قرار گرفته است. شروع تحقیقات در زمینه آسیب‌پذیری لرزه‌ای با انجام روش‌های کمی همراه بوده است؛ ولی با گذشت زمان و مشخص‌شدن برخی از محدودیت‌های این روش، رفته‌رفته جامعه علمی به سمت ابداع روشی سریع، ارزان و کارآمد برای ارزیابی سریع لرزه‌ای حرکت کردند. در سال‌های ۱۹۷۴ تا ۱۹۷۵ محققینی چون ویتمن [۴] بلوم و همکاران [۵] به بررسی نوع المان‌های مقاوم در برابر زلزله، سختی سازه، وضعیت کنونی سازه، نقش کلاف و ... در سازه پرداخته و گام‌هایی در جهت بررسی سازه و ارزیابی آسیب‌پذیری آن را انجام دادند. در سال ۱۹۸۴ پارکت و همکاران [۶] با بیان شاخصی برای خسارت، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای را وارد مرحله جدیدی کردند. در سال‌های اخیر چندین روش برای ارزیابی لرزه‌ای سازه‌های موجود ارائه شده است، کالری و همکاران [۷] دسته‌بندی از روش‌های ارزیابی لرزه‌ای در طی ۳۰ سال ارائه کرده‌اند. نکته مهم و قابل‌تأمل در بین این روش‌ها این است که تمامی روش‌ها نیازمند دانش مهندسی می‌باشد و برای اجرای این روش‌ها به یک مهندس و یا تکنسین احتیاج داریم. ولی روش ارزیابی سریع با اندکی آموزش قابل‌دسترس می‌باشد. بیشتر روش‌های ساخته شده به اسم ارزیابی سریع لرزه‌ای (RVS)[1] عبارت‌اند از:

- روش ایالات متحده امریکا که توسط آژانس مدیریت اضطراری فدرال[۸] (FEMA154)
- روش کشور یونان که توسط سازمان حفاظت و برنامه‌ریزی زلزله (OASP)
- روش کشور نیوزیلند که توسط انجمن نیوزیلند برای مهندسی زلزله(NZSEE) [۹]
- روش کشور هند که توسط مؤسسه فناوری هند [۱۰].
- روش کشور کانادا که توسط شورای پژوهش ملی ساختمان (NRC) [۱۱].
- روش کشور ژاپن که توسط انجمن پیشگیری از ویرانی ساختمان‌ها (JBDPA)

اکثر این روش‌ها، با استفاده از فرم‌های خاص و به صورت چشمی بررسی می‌شوند. شاید بتوان گسترده‌ترین تحقیقات در

[1] Rapid Visual Screening

زمینه ارزیابی لرزه‌ای در سال‌های اخیر را به آژانس مدیریت اضطراری فدرال (FEMA)[1] در ایالات متحده نسبت داد که ابزاری برای ارزیابی تلفات زلزله از نظر محیط‌زیست و جمعیت مناطق شهری ارائه داده است [۱۲]. اساسی‌ترین تحقیقات در زمینه ارزیابی سریع لرزه‌ای بر مبنای اطلاعاتی مانند نوع کاربری، میزان افراد ساکن، مشخصات سازه و ... مربوط به فما ۱۵۴ و فما ۱۵۵ [۱۳] می‌باشد، این تحقیقات در سال ۲۰۰۲ توسط آژانس مدیریت اضطراری فدرال آمریکا مورد بازبینی قرار گرفت و نتایج حاصل در فما ۱۵۴ منتشر گردید. با استفاده از این اطلاعات، ساختمان‌ها به دو گروه ایمن و مشکوک تقسیم‌بندی می‌شوند که ساختمان‌های مشکوک باید مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار گیرند. مدت زمانی که باید برای ارزیابی هر ساختمان در نظر گرفته می‌شود، ۱۰ الی ۳۰ دقیقه است؛ البته در شرایط استثنایی و بزرگی سازه این زمان ممکن است به یک ساعت هم برسد. مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا [۱۱] نیز برای کمک به صاحبان ساختمان‌ها در برآورد کاستی‌های لرزه‌ای، روش ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های موجود را ابداع نمود که بر پایه روش فما ۱۵۴ و ATC-۲۱ استوار می‌باشد. عوامل اصلی که در این روش موردتوجه قرار گرفته‌اند به شش دسته کلی میزان لرزه‌خیزی منطقه شرایط خاک، نوع سازه، نامنظمی در پلان و نما، اهمیت ساختمان و خطرات مربوط به اجزای غیرسازه‌ای تقسیم می‌شوند. برخی کشورها با مبنا قرار دادن دیگر روش‌های ارزیابی سریع و اعمال تغییراتی در آن‌ها، روش‌های بومی مناسب کشور خود را تولید کرده‌اند. به عنوان مثال روش ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای که در فما ۱۵۴ ارائه شده، مبنای چندین کشور دیگر قرار گرفته است. جدول (۱) این روش‌ها و تغییراتی که در ایجاد کرده‌اند نشان می‌دهد. باید توجه کرد که در این تحقیقات تغییرات بر اساس قضاوت افراد متخصص صورت گرفته و سعی شده که این روش به گونه‌ای تغییر یابد که بتوان از آن استفاده کرد. سوالات و امتیازات در این روش مربوط به لرزه‌خیزی منطقه، نوع کاربری ساختمان و تعداد ساکنین، نوع خاک، نوع سازه، تعداد طبقات، نامنظمی در سازه و رعایت آیین‌نامه ساخت است. فرم مربوط به پاسخگویی سوالات برای منطقه با لرزه‌خیزی زیاد در این روش در شکل (۱) نشان داده شده است. علاوه بر مطالعات مطرح شده در این جدول(۱) برخی کشورها مانند پاکستان [۱۴]و ترکیه [۱۵]نیز بدون هیچ‌گونه تغییری از آن روش استفاده کرده‌اند.

[1] Federal Emergency Management Agency

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

Address: _____ Zip _____
Other Identifiers _____
No. Stories _____ Year Built _____
Screener _____ Date _____
Total Floor Area (sq. ft.) _____
Building Name _____
Use _____

PHOTOGRAPH

Scale:

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

BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S

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

FINAL SCORE, S

COMMENTS — Detailed Evaluation Required: YES NO

* = Estimated, subjective, or unreliable data
DNK = Do Not Know
BR = Braced frame, FD = Flexible diaphragm, LM = Light metal
MRF = Moment-resisting frame, RC = Reinforced concrete, RD = Rigid diaphragm
SW = Shear wall, TU = Tilt up, URM INF = Unreinforced masonry infill

شکل (۱): فرم مربوط به منطقه با لرزه‌خیزی زیاد در روش فما ۱۵۴

جدول (۱): روش‌های ارزیابی سریع لرزه‌ای بر اساس فما ۱۵۴

منبع	کشور	پارامترهای استفاده شده در ارزیابی	تغییرات
[۱۱]	کانادا	لرزه‌خیزی منطقه، نوع کاربری ساختمان، نوع خاک، نوع سازه، نامنظمی در سازه، رعایت آیین‌نامه ساخت	لرزه‌خیزی منطقه، تعداد ساکنین درهر کاربری ساختمان، انواع خاک، انواع سازه، آیین‌نامه ساخت
[۱۰]	هلند	لرزه‌خیزی منطقه، نوع کاربری ساختمان و تعداد ساکنین، نوع خاک، نوع سازه، تعداد طبقات، نامنظمی در سازه، رعایت آیین‌نامه ساخت	لرزه‌خیزی منطقه، انواع خاک، انواع سازه
[۱۶]	مالزی	لرزه‌خیزی منطقه، نوع کاربری ساختمان و تعداد ساکنین، نوع خاک، نوع سازه، تعداد طبقات، نامنظمی در سازه، رعایت آیین‌نامه ساخت	لرزه‌خیزی منطقه، انواع خاک

کشور ایران باتوجه‌به اینکه جزوه مناطق لرزه‌خیز دنیا می‌باشد و همچنین ساختارهای شهری و روستایی ویژه‌ای که دارد، نیازمند توجه خاص به امر آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و بخصوص ساختمان‌های موجود می‌باشد. ولی باتوجه‌به محدودیت‌های انجام تحلیل‌های دقیق و ارزیابی کلی و دقیق آسیب‌پذیری، بهترین روش برای رسیدن به این هدف ارزیابی سریع لرزه‌ای می‌باشد. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود [۱۷] که برگرفته از دستورالعمل مقاوم‌سازی فما ۳۵۶ [۱۸] و فما ۲۷۳ [۱۹] می‌باشد دارای بندهایی در ارتباط با ارزیابی کیفی و معرفی روش‌های مقاوم‌سازی است، اما بخش عمده این دستورالعمل در ارتباط با ارزیابی کمی می‌باشد. تحقیقات دیگری نیز در داخل کشور در این زمینه صورت‌گرفته است. وثوقی فر و همکاران [۲۰] با جمع‌آوری پارامترهای روش‌های مختلف و انجام مطالعات میدانی از ۱۱۶ ساختمان موجود در منطقه ۸ تهران روشی را ابداع نموده‌اند که با سیستم نمره دهی همراه می‌باشد. یدالهی و همکاران [۲۱] نیز در طی تحقیقی به بهبود و اصلاح ساده‌سازی و کاربرد روش RVS به منظور تعیین نمره عددی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها پرداخته اند. ایشان با بیان اینکه در روش لگاریتمی برای امتیازدهی مشکلاتی از قبیل دشواری تفسیر نتایج وجود دارد روشی جایگزین بدون لگاریتم ارائه داده‌اند و مدعی شده‌اند این شیوه در مسائل مدیریت قابلیت استفاده راحت‌تری را دارد. یکی دیگر از خطرهایی که یک ساختمان و مخصوصا ساختمان‌های با کاربری خاص را تهدید می‌کند احتمال حملات تروریستی است. تروریسم استفاده عمدی از خشونت برای ایجاد حس شوک، ترس و خشم در ذهن جامعه توصیف شده است. مهاجمان می‌توانند از سیستم‌های تسلیحاتی مختلف در ترکیب‌های مختلف استفاده کنند و چنین رویدادهایی قابل پیش‌بینی نیست. با این حال، اطلاعات قابل اعتماد و ارزیابی تهدید و ریسک می تواند برآوردهای موثری از چنین حوادثی ایجاد کند. تعدادی روش برای انجام ارزیابی ریسک تروریسم وجود دارد. مجموعه‌ی مدیریت ریسک (RMS)[1] شامل مجموعه ای از نشریات فما است که دستورالعمل طراحی برای کاهش رویدادهای مخاطره آمیز را ارائه می‌دهد و شامل موضوعاتی جهت تقویت دارایی‌های ساختمان‌ها در برابر حملات تروریستی است. هدف این مجموعه کاهش خسارت فیزیکی به اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای ساختمان‌ها و زیرساخت‌های مربوطه و کاهش تلفات و مرگ و میر ناشی از بمب‌های معمولی، شیمیایی، میکروبی و رادیولوژیکی (ش.م.ر) (CBR)[2] می‌باشد. در حقیقت این مجموعه باعث بهبود امنیتی ساختمان‌های پر ازدحام و حفاظت در برابر تهدیدات و خطرات بالقوه می‌شود. اگر در ارزیابی ریسک تمامی خصوصیات مهم سازه در نظر گرفته شود، میتوان از آن برای ارزیابی آسیب‌پذیری سازه در مقابل همه خطرهایی که تحت تاثیر آن‌ها قرار می‌گیرد استفاده کرد. علاوه بر این، اگر تداوم فعالیت سازه در نظر گرفته شود از همین روش برای ارزیابی تاب‌آوری نیز می‌توان استفاده کرد.

در این پژوهش یک روش ارزیابی سریع یکپارچه و جامع بر مبنای روش پیشنهادی IRVS [21] برای محاسبه ریسک و تاب‌آوری ارائه شده که در آن انواع خطرهای زلزله، سیل، طوفان، آتش‌سوزی، انفجار و حملات ش م ر در نظر گرفته شده است. در نهایت به کمک زبان برنامه‌نویسی پایتون نرم‌افزاری برای این روش نوشته شده است.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش روشی یکپارچه برای محاسبه ریسک و تاب‌آوری سازه‌ها تحت خطرهای مختلف از جمله انفجار، زلزله و سیل ارائه شده است. این روش با توجه به سازه‌های موجود در کشور بومی‌سازی شده و نرم‌افزاری برای انجام محاسبات با این روش به کمک زبان برنامه‌نویسی Python و فریم‌ورک PyQt نوشته شده است. در این روش کاربر باید به یک مجموعه سوال که در دسته‌های مختلف دسته‌بندی شده‌اند پاسخ دهد. در نهایت نرم‌افزار با توجه به پاسخ‌های کاربر و اهمیت هر سوال در هر سناریوی تهدید، ریسک را محاسبه می‌کند. برنامه ارائه شده در این پژوهش بسیار جامع است و خطرات مختلف را در نظر می‌گیرد. این برنامه در مقایسه با مطالعات داخلی قبلی، بومی‌سازی شده است. همچنین این نرم‌افزار به کاربر این امکان را می‌دهد که در موارد خاص، مانند سازه‌هایی که حساسیت بیشتری دارند، ضریب اهمیت سوال‌ها را به راحتی تغییر دهد. به این طریق، کاربر به راحتی می‌تواند روش محاسبه را تغییر دهد. تلاش شده که نرم‌افزار ارائه شده کاربری مناسبی داشته باشد و هر کاربر با حداقل دانش مهندسی بتواند از آن استفاده کند. امکان دسترسی به راهنمای هر سوال به راحتی فراهم شده است. علاوه بر محاسبه ریسک و تاب‌آوری، نرم‌افزار ارائه شده در این پژوهش این امکان را دارد که گزینه‌های کاهش ریسک و یا افزایش تاب‌آوری را برای هر سناریو تهدید به کاربر ارائه دهد، این قابلیت، به کاربر اجازه می‌دهد که تصمیماتی را برای مدیریت ریسک اتخاذ نماید. در این نرم‌افزار امکان ارائه گزارش متنی از تحلیل‌ها نیز فراهم شده تا کاربر به راحتی بتواند از تفسیر نتایج استفاده کند.

[1] Risk Management Series
[2] Chemical, biological, and radiological

۲-۱- سناریوهای تهدید

روش ارائه شده ریسک را باتوجه به یک سناریوی تهدید خاص یا مجموعه‌ای از سناریوها ارزیابی می‌کند. سناریوهای تهدید منبع بالقوه آسیب به ساختمان، عملیات و ساکنان را مشخص می‌کند. سناریوهای تهدید در جدول (۲) ذکرشده است. این روش شامل ارزیابی خطر تهدیدات تروریستی و خطرات طبیعی است.

جدول (۲): سناریوهای تهدید

نوع خطر	سناریو خطر
حمله داخلی	حمله انفجاری، انتشار CBR، نفوذ
حمله انفجار بیرونی	حمله انفجار در ناحیه بیرونی ۱،حمله انفجار در ناحیه بیرونی ۲، حمله انفجار در ناحیه بیرونی ۳
انتشار CBR بیرونی	انتشار CBR در ناحیه بیرونی ۱، انتشار CBR در ناحیه بیرونی ۲، انتشار CBR در ناحیه بیرونی ۳
زلزله	لرزش زمین، شکست زمین
سیل	آب راکد،موج خروشان
رانش زمین	بارش باران
باد	طوفان (باد و آب)، گردباد، سایر بادهای شدید
آتش سوزی	در اثر زلزله،در اثر انفجار، اتفاقی

جدول (۳): رتبه بندی پیامدها، تهدید و آسیب پذیری

مقیاس	رتبه بندی پیامدها	رتبه بندی تهدید	رتبه بندی آسیب پذیری
خیلی زیاد (70تا ۱۰۰ درصد)	خسارت یا آسیبی که می‌تواند عواقب بسیار شدیدی داشته باشد	احتمال بسیار زیاد یک یا چند تهدید/خطر موثر بر سایت یا سابقه رویدادهای متعدد گذشته در سایت که منجر به آسیب می شود	یک یا چند نقطه ضعف عمده که ساختمان را به شدت مستعد حملات تروریستی یا خطرات طبیعی می کند.
زیاد (50تا ۷۰ درصد)	خسارت یا آسیب با عواقب جدی	احتمال قابل توجه یک یا چند تهدید/خطر طبیعی.	ضعف مهمی که ساختمان را در برابر حملات تروریستی یا خطرات طبیعی بسیار مستعد می کند.
متوسط (۳۰ تا ۵۰ درصد)	خسارت یا آسیبی که می تواند عواقب متوسطی داشته باشد	احتمال متوسط تا کم یک یا چند تهدید/خطر.	ضعفی که ساختمان را تا حدودی مستعد حملات تروریستی یا خطرات طبیعی می کند
کم (۰ تا ۳۰ درصد)	خسارت یا آسیبی که می‌تواند عواقب جزئی یا ناچیز داشته باشد.	احتمال کم یا عدم وجود یک یا چند تهدید/خطر طبیعی.	ضعف جزئی یا بدون ضعف.

۲-۲ - نحوه محاسبه ریسک

روش محاسبه ریسک که در این پژوهش استفاده شده بر اساس معادله ارزیابی ریسک در BIPS 426، کتابچه راهنمای مرجع برای کاهش حمله تروریستی بالقوه علیه ساختمان‌ها [۲۲] و چارچوب NIPP برای ارزیابی خطرات [۲۳] است.

روند کار به‌صورت زیر است:

۱.محاسبه ضریب پیامدها (C) ، تهدید (T) و آسیب‌پذیری (V) برای هر سناریو تهدید می‌باشد. امتیازات در زیر و در جدول ۳ تعریف شده است (برای هر سناریو با استفاده از وزن ویژگی‌های انتخاب شده به دست می‌آید.)

۲. پیامدها، تهدیدها و رتبه‌بندی‌های آسیب‌پذیری برای هر سناریو با استفاده از معادله ۱ ترکیب می‌شوند تا یک ریسک برای یک سناریوی خاص ایجاد شود (امتیاز ریسک غیر تجمعی).

$$R_i = \sqrt[\beta_i]{C_i \times T_i \times V_i} \qquad (۱)$$

در معادله بالا R_i ریسک سناریو تهدید iام، C_i ضریب پیامدها سناریو تهدید iام، T_i ضریب تهدید سناریو تهدید iام، V_i ضریب آسیب‌پذیری سناریو تهدید iام و β_i تابع شدت نسبی C_i، T_i و V_i هستند. β_i از رابطه ۵ محاسبه می‌شود. مقدار α_i که از رابطه ۴ محاسبه می‌گردد نباید کمتر از ۰ و بزرگتر از ۱ درنظر گرفته شود.

$$A_{max} = max(C_i.T_i.V_i) \qquad (۲)$$

$$A_{min} = min(C_i.T_i.V_i) \qquad (۳)$$

$$\alpha_i = \frac{A_{min}}{A_{max}} \qquad (۴)$$

$$\beta_i = \begin{cases} 4.0, \alpha_i \le 0.1 \\ 3.875 + 1.25\alpha_i, 0.1 < \alpha_i < 0.9 \\ 3.0, \alpha_i \ge 0.9 \end{cases} \qquad (۵)$$

ریسک محاسبه‌شده که بر اساس سناریوی تهدید طبقه‌بندی می‌شود، از ۰/۱ تا ۱۰۰ متغیر است. ریسک تجمیع‌شده برای هر سناریو تهدید، درک بهتری از ریسک یک ساختمان برای یک تهدید یا خطر خاص ارائه می‌کند. ضریب‌های جمع‌شده اطلاعات مفیدی را برای کمک به اولویت‌بندی اقدامات بیشتر به‌خصوص در ساختمان ارائه می‌کنند. با استفاده از این اطلاعات، یک متخصص در یک نوع تهدید/خطر (مثلاً لرزه‌ای) می‌تواند برای مطالعه بیشتر ریسک ساختمان ناشی از یک تهدید خاص استخدام شود.

۳. امتیازهای ریسک تجمیع شده با استفاده از الگوریتم آماری نشان‌داده‌شده در رابطه ۶ برای ایجاد یک امتیاز ریسک کلی

(امتیاز ریسک انباشته) برای ساختمان برای همه سناریوها ترکیب می‌شوند.

$$R = \propto \sqrt[n1]{\sum_{i=1}^{n2} R_i^{n1}} \quad (۶)$$

در معادله بالا، R ریسک کلی، R_i امتیاز ریسک سناریو تهدید iام، $n1$ برابر ۱۰، $n2$ تعداد کل سناریوهای تهدیدو $\propto$ ضریب مقیاس ۱/۱۲ است.

C_i، T_i و V_i همگی در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰ درصد مقیاس‌بندی شده‌اند. به‌این‌ترتیب، ریسک حاصل برای سناریوی تهدید نیز در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰درصد است. عدد کلی ریسک (تجمیع شده برای همه سناریوها) به‌صورت درصدی نمایش داده می‌شود تا سطح ریسک مرتبط با ساختمان را نشان دهد.

۲-۳- نحوه محاسبه تاب‌آوری

سوالات موجود در روش پیشنهادشده اکثر مسائل مهمی را که بر تاب‌آوری ساختمان تأثیر می‌گذارد، پوشش می‌دهد. هر سوال می‌تواند بر کیفیت عملکرد (استقامت)، دوام و یا زمان و سرعت بازیابی تأثیر بگذارد. به هر ویژگی از آن‌هایی که مربوط به تاب‌آوری است، وزنی از ۰ تا ۱۰ اختصاص داده می‌شود. وزن نشان‌دهنده اهمیت ویژگی در تاب‌آوری ساختمان است. در پایان ارزیابی، تمام وزن‌های تنظیم‌شده ویژگی‌هایی که کیفیت عملکرد را کنترل می‌کنند، یعنی Q_i، جمع می‌شوند. کیفیت عملکرد، توانایی ساختمان برای حفظ عملیات و عملکرد حیاتی را توصیف می‌کند. به طور مشابه، تمام وزن‌های تنظیم‌شده ویژگی‌هایی که بازیابی و دوام را کنترل می‌کنند که به‌عنوان اندازه‌گیری زمان، T_i نیز شناخته می‌شود، جمع می‌شوند. اندازه‌گیری زمان، کارایی آمادگی (مانند آموزش، برنامه‌ها و سیاست‌ها) و توانایی برقراری مجدد عملیات پس از یک رویداد خطرناک را توصیف می‌کند. مجموع Q_i و T_i در معادلات ۷ و۸ وارد می‌شود

$$Q_{TOTAL} = 10\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} Q_i}{\sum_{i=1}^{N} Q_i|_{MAX}}\right) \quad (۷)$$

$$T_{TOTAL} = 10\left(\frac{\sum_{i=1}^{N} T_i}{\sum_{i=1}^{N} T_i|_{MAX}}\right) \quad (۸)$$

در معادله بالا، Q_{TOTAL} مقیاس کیفیت عملکرد، T_{TOTAL} مقیاس معیار زمان، Q_iکیفیت عملکرد (قدرتمندی)، N تعداد ویژگی هایی که وزنشان باید در نظر گرفته شود، T_i معیار زمان (بازیابی و منبع)، $Q_i|_{MAX}$ بیشینه کیفیت عملکرد و $T_i|_{MAX}$ بیشینه معیار زمان است.

$Q_i|_{MAX}$ و $T_i|_{MAX}$ به ترتیب بیانگر حداکثر مقادیر وزنی کیفیت عملکرد و مقادیر بازیابی/استحکام هستند. اکنون مقادیر Q_{TOTAL} و T_{TOTAL} یک مقیاس دقیق و مقیاس‌بندی شده از کیفیت عملکرد و اندازه‌گیری زمان است که تاب‌آوری را کنترل می‌کند. مقیاس برای هر دو متغیر از ۰/۰۱ تا ۱۰ است. مقدار هدف تاب‌آوری از رابطه ۹ محاسبه می‌گردد.

$$RES = 100 - (Q_{TOTAL}T_{TOTAL}) \quad (۹)$$

بنابراین، RES ٪۰ نشان می‌دهد که هیچ تاب‌آوری در هنگامی که تحت‌تأثیر خطر فرضی قرار می‌گیرد وجود ندارد. %۱۰۰RES نشان‌دهنده تاب‌آوری کامل در هنگامی است که تحت‌تأثیر خطر فرضی قرار گیرد. نمرات تاب‌آوری را می‌توان در تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای رویدادهای خطرناک برای دارایی (ساختمان) استفاده کرد. این امتیازات همچنین می‌تواند در برنامه‌ریزی برای تاب‌آوری جامعه (شبکه) مورداستفاده قرار گیرد. جدول۴سطوح تاب‌آوری و نحوه تفسیر این سطوح را نشان می‌دهد.

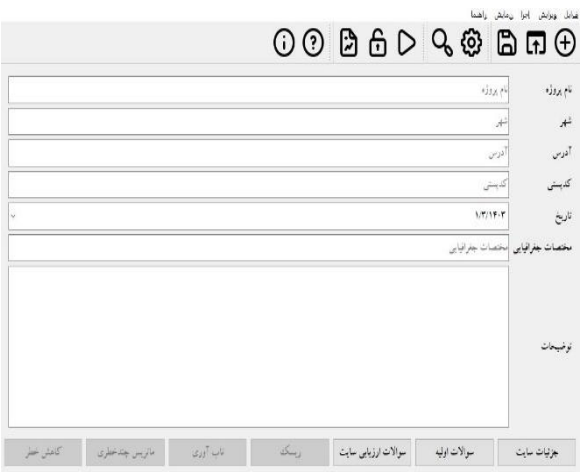
جدول (۴): سطوح و نمرات تاب آوری

سطح تاب‌آوری	امتیاز تاب‌آوری	توضیحات
خیلی زیاد	بیشتر از ۷۰ درصد	این ساختمان دارای تداوم عملیات گسترده و یک برنامه مدیریت اضطراری است و اقدامات مهمی را انجام داده است تا اطمینان حاصل شود که عملکردهای کلیدی توسط یک رویداد قطع نمی شود. این ساختمان دارای چندین منبع پشتیبان است که در محل یا خارج از سایت در دسترس هستند.
زیاد	بین ۵۰ تا ۷۰ درصد	ساختمان اقدامات معقولی را برای حفظ تداوم عملیات انجام داده و/یا اقدامات معقولی انجام داده است تا اطمینان حاصل شود که عملکردهای کلیدی به طور قابل توجهی تحت تأثیر یک رویداد قرار نخواهند گرفت.
متوسط	بین ۳۰ تا ۵۰ درصد	ساختمان اقدامات متوسطی را برای حفظ تداوم عملیات انجام داده و/یا اقدامات متوسطی انجام داده است تا اطمینان حاصل شود که عملکردهای کلیدی به طور قابل توجهی تحت تأثیر یک رویداد قرار نخواهند گرفت.
کم	کمتر از ۳۰ درصد	ساختمان اقدامات اندکی برای حفظ تداوم عملیات انجام داده یا هیچ اقدامی انجام نداده است یا هیچ اقدامی انجام نداده است تا اطمینان حاصل شود که عملکردهای کلیدی به طور قابل توجهی تحت تأثیر یک رویداد قرار نخواهند گرفت.

۲-۴- رابط کاربری نرم‌افزار

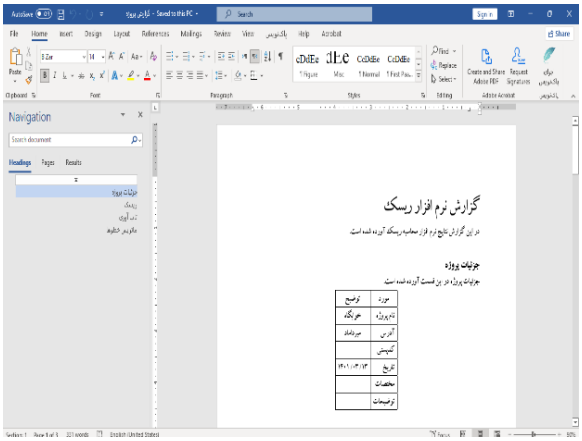
دارای صفحه اولیه نرم‌افزار در شکل (۲) نشان داده شده است. نرم‌افزار در قسمت بالایی دارای نوار منو و نوار ابزار است. در قسمت میانی چند تب وجود دارد که توسط کلیدهای قسمت

پایینی قابل دسترسی هستند. در منو فایل، امکان خواندن فایل پروژه و ذخیره آن وجود دارد. جواب‌هایی که کاربر به سوالات داده و نتایج در فایل ذخیره می‌شود. در منو ویرایش، امکان انتخاب فایل اکسل برای خواندن تنظیمات سوالات وجود دارد. این قابلیت، امکان اضافه و یا کم کردن سوالات را به راحتی فراهم می‌کند در نتیجه کاربر می‌تواند با توجه به نیاز پروژه مورد مطالعه ضریب سوالات را تغییر دهد.



شکل (۲): صفحه اولیه نرم‌افزار

در منو اجرا، گزینه‌ای برای اجرای برنامه وجود دارد. پس از اجرای برنامه قسمت‌های مربوط به نتایج ریسک، تاب‌آوری، ماتریس چندخطره فعال می‌شوند که نمونه‌ای از آن‌ها در قسمت مطالعه موردی نشان داده خواهد شد. علاوه بر این نتایج در این نرم‌افزار برای کاهش خطر پنجره‌ای مطابق شکل (۴) طراحی شده است. در منو اجرا گزینه دیگری برای ایجاد گزارش وجود دارد که نمونه‌ای از خروجی آن در شکل (۳) مشاهده می‌شود. در منو نمایش، امکان این وجود دارد که کاربر مشخص کند کدام قسمت‌های نوار ابزار نمایش داده شود. در منو راهنما نیز، امکان باز کردن فایل راهنما و همچنین مشاهده قسمت «درباره ما» نرم‌افزار وجود دارد.



شکل (۳): نمونه‌ای از گزارش ایجاد شده توسط نرم‌افزار

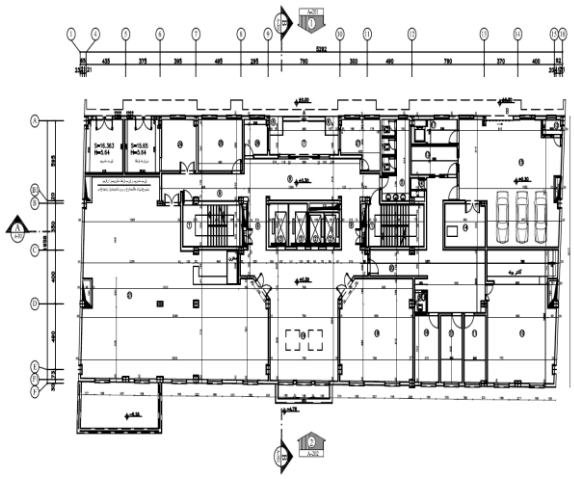
شکل(۴): تب کاهش خطر

۲-۵- بومی‌سازی سوالات

همانطور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، نرم‌افزار طراحی شده این قابلیت را دارد که محاسبات را بر اساس مجموعه سوالاتی که مدنظر کاربر است انجام دهد. در این پژوهش برای بومی‌سازی سوالات از فایل اکسلی برای سوالات بومی استفاده شده است. با توجه به هدف این پژوهش، بر روی بومی سازی سوالات مربوط به خطر زلزله تمرکز شده است. برای بومی‌سازی ابتدا پاسخ‌های سوالات مجموعه IRVS مبنا قرار داده شده است و برخی جواب‌ها با توجه به شرایط کشور تغییر داده شده است. گزینه‌هایی که برای جواب این سوالات در روش IRVS و روش پیشنهادی این پژوهش ارائه شده را با یکدیگر مقایسه می‌کند. سوالات مربوط به نوع سیستم سازه‌ای، لرزه‌خیزی منطقه و نوع خاک با در نظر گرفتن شرایط داخل کشور و با توجه به آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ۲۸۰۰ [۲۴] تغییر داده شده است. سایر سوالات فقط واحد آنها تغییر کرده است. در IRVS هزینه‌ها برحسب دلار و طول‌ها بر حسب فوت بوده که این مقادیر به ترتیب به تومان و متر تبدیل شده‌اند.

۳- مطالعه موردی

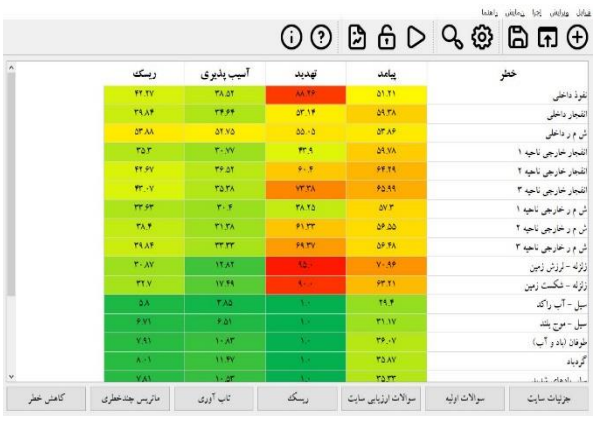
برای بررسی عملکرد نرم‌افزار، تحلیل ریسک یک سازه در آن انجام شده است. سازه موردنظر یک خوابگاه است که دارای ۹ طبقه روی زمین و دو طبقه در زیر زمین است. ابعاد زمین آن تقریبا ۵۰ در ۲۰ متر می‌باشد و در شهر تهران واقع شده است. با هماهنگی‌های انجام شده، نقشه‌های سازه‌ای و مکانیکی پروژه از کارفرما گرفته شده است. شکل (۵) پلان همکف این سازه را نشان می‌دهد. پس از جمع‌آوری اطلاعات سازه، پروژه در نرم‌افزار مدلسازی شده و همه سوالات مربوط به آن پاسخ داده شده است. نتایج تحلیل خطر این سازه در شکل (۶) و نتایج تحلیل تاب‌آوری در شکل (۷) آمده است.



شکل (۵): پلان همکف سازه مطالعه موردی

همانطور که از نتایج تحلیل ریسک در شکل (۶) مشخص است، این سازه در مقابل خطرهای زلزله و نفوذ در معرض تهدید است و لازم است که تا حد امکان تدابیری برای کاهش تهدیدپذیری سازه انجام شود. در نتایج تحلیل تاب‌آوری هم که در شکل (۷) آمده، مشخص است که سازه از نظر منابع پشتیبان دچار ضعف است. نیاز است که برای افزایش تاب‌آوری سازه، برای بخش‌های مختلف سازه در کاربری‌های مختلف تا حد امکان منابع پشتیبان در نظر گرفته شود.

یکی دیگر از امکانات طراحی شده در این نرم‌افزار، کاهش خطر است. در صفحه‌ای که بدین منظور طراحی شده است، این امکان وجود دارد که با توجه به نیاز کاربر، گزینه‌هایی برای کاهش ریسک و یا افزایش تاب‌آوری پیشنهاد شود. به عنوان مثال در مورد سازه‌ای که به عنوان مطالعه موردی مطرح شد، اگر بخواهیم ریسک حملات ش م ر را کاهش دهیم، نتایج مطابق شکل (۸) است. همانطور که مشخص است، با محدود کردن دسترسی کلی سازه، ریسک حملات ش م ر حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.



خطر	پیامد	تهدید	آسیب پذیری	ریسک
نفوذ داخلی	۵۱.۲۱	۸۸.۴۶	۳۸.۵۲	۴۲.۲۷
انفجار داخلی	۵۸.۳۸	۵۳.۱۴	۳۴.۶۶	۳۹.۸۴
ش م ر داخلی	۵۳.۸۶	۵۵.۰۵	۵۲.۷۵	۵۳.۸۸
انفجار خارجی ناحیه ۱	۵۹.۷۸	۴۳.۹	۳۰.۷۷	۳۵.۳
انفجار خارجی ناحیه ۲	۶۲.۲۹	۹۰.۴	۳۴.۵۲	۴۲.۶۷
انفجار خارجی ناحیه ۳	۶۵.۹۹	۷۳.۳۸	۳۵.۲۸	۴۳.۰۷
ش م ر خارجی ناحیه ۱	۵۷.۳	۳۸.۲۵	۳۰.۴	۳۳.۶۳
ش م ر خارجی ناحیه ۲	۵۶.۵۵	۶۱.۳۳	۳۱.۳۸	۳۸.۴
ش م ر خارجی ناحیه ۳	۵۶.۴۸	۴۹.۳۷	۳۳.۳۳	۳۹.۸۴
زلزله – ترزش زمین	۷۰.۹۶	۹۵.۰	۱۲.۸۲	۳۰.۸۷
زلزله – شکست زمین	۶۳.۲۱	۹۰.۰	۱۷.۹۹	۳۲.۷
سیل – آب راکد	۲۹.۴	۱۰.۰	۳.۸۵	۵.۸
سیل – موج بلند	۳۱.۱۷	۱۰.۰	۶.۵۱	۶.۷۱
طوفان (باد و آب)	۳۶.۰۷	۱۰.۰	۱۰.۸۳	۷.۸۱
گردباد	۳۵.۸۷	۱۰.۰	۱۱.۹۷	۸.۰۱
[illegible]	۳۵.۳۳	۱۰.۰	۱۰.۵۳	۷.۸۱

جزئیات سایت | سوالات اولیه | سوالات ارزیابی سایت | ریسک | تاب آوری | ماتریس چندخطری | کاهش خطر

شکل (۶): نتایج ریسک مطالعه موردی

مورد	نمره تاب آوری
همکف	۳۳.۱۸
زمان	۳۶.۱۸
دوام	۶۶.۸۶
منبع	۱۲.۴۸
بازیابی	۱۵.۱۲
تاب آوری کلی	۳۴.۶۵

جزئیات سایت | سوالات اولیه | سوالات ارزیابی سایت | ریسک | تاب آوری | ماتریس چندخطری | کاهش خطر

شکل (۷): نتایج تاب‌آوری مطالعه موردی

شماره	تغییرات	متن سوال	انتخاب فعلی	گزینه جدید
2-6	۲۸.۹۷	دسترسی کلی به محوطه ساختمان	دور دسترس	بدون دسترسی
3-2	۵.۲۷	کارایی سیستم امنیتی انتهدید داخلی - ش م ر)	بین فایده	پر آورد حداقل نیاز
5-1	۱.۱۷	استمرار عملکرد ساختمان پس از تهدید	خیلی کم	کم
3-7	۰.۲۸	سیستم توزیع هوای داخلی	یک سیستم با چند ناحیه، دارای کانال (ها) کت شده)	جدا بودن مناطق پر خطر
1-3	۰.۲۹	تعداد سیستم امنیتی انتهدید داخلی - ش م ر)	دو سیستم	سه سیستم یا بیشتر
5-4	۰.۲۹	محل تخلیه و حمل بار	زیر ساختمان	نزدیک ساختمان و ناحیه شلوغ
15-1	۰.۲۲	مناسب بودن هروجی های اضطراری	ضعیف	متوسط
7-4	۰.۱۸	محل پارکینگ	مجاور تاسیسات حیاتی، بالای زمین	زیر زمین نه مجاور
3-3	۰.۰۳	حداقل دید از داخل ساختمان به منطقه بیرون	کمتر از ۱۵ متر	بین ۱۵ تا ۳۰ متر
2-1	۰.۰۳	وضعیت مواضع پیرامون ساختمان	تا حدی با موانع پراکنده	موانع توده‌ای از نوع ترنچی، موقت و ضد بالا رفتن

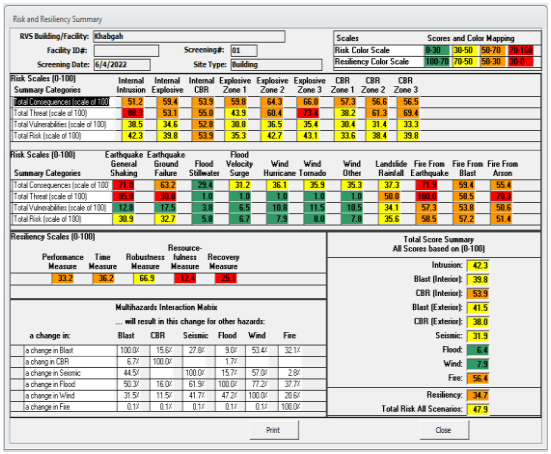
جزئیات سایت | سوالات اولیه | سوالات ارزیابی سایت | ریسک | تاب آوری | ماتریس چندخطری | کاهش خطر

شکل(۸): نتایج کاهش خطر مطالعه موردی

برای تفسیر نتایج شکل (۶) و شکل (۷) میتوان به ترتیب به جدول (۳) و جدول (۴) مراجعه کرد. مقدار پیامد، تهدید و آسیب‌پذیری در هر یک از خطرها در شکل (۶) نشان می‌دهد که سازه در مقابل خطر ذکرشده چقدر آسیب‌پذیر است.

۴- اعتبارسنجی

برای بررسی درستی روش‌های محاسباتی در نرم‌افزار نوشته شده در این پژوهش، سازه‌ای که به عنوان مطالعه موردی مدل شده بود، در نرم‌افزار IRVS نیز مدل شده است. نتایج تحلیل IRVS در شکل (۹) نشان داده شده است. با مقایسه این تصویر و خروجی‌های نرم‌افزار ارائه شده، میتوان مشاهده کرد که نتایج کاملا مطابق روش IRVS است و نرم‌افزار به درستی توانسته محاسبات را انجام دهد.



Risk and Resiliency Summary

RVS Building/Facility: Khabgah
Facility ID#:
Screening Date: 6/4/2022
Screening#: 01
Site Type: Building

Scales — Scores and Color Mapping
Risk Color Scale: 0-30 | 30-50 | 50-70 | 70-100
Resiliency Color Scale: 100-70 | 70-50 | 50-30 | 30-0

Risk Scales (0-100)

Summary Categories	Internal Intrusion	Internal Explosive	Internal CBR	Explosive Zone 1	Explosive Zone 2	Explosive Zone 3	CBR Zone 1	CBR Zone 2	CBR Zone 3
Total Consequences (scale of 100)	51.2	59.4	53.9	58.8	64.8	66.9	52.3	56.6	56.5
Total Threat (scale of 100)	88.2	53.1	55.0	43.9	60.4	73.4	38.2	61.3	69.4
Total Vulnerabilities (scale of 100)	38.5	34.6	52.8	30.8	36.5	35.4	30.4	31.4	33.3
Total Risk (scale of 100)	42.3	39.8	53.9	35.3	42.7	43.1	33.6	38.4	39.8

Risk Scales (0-100)

Summary Categories	Earthquake General Shaking	Earthquake Ground Failure	Flood Stillwater	Flood Velocity Surge	Wind Hurricane	Wind Tornado	Wind Other	Landslide Rainfall	Fire From Earthquake	Fire From Blast	Fire From Arson
Total Consequences (scale of 100)	71.1	63.2	25.4	31.2	36.1	35.9	35.3	37.3	71.8	59.4	55.4
Total Threat (scale of 100)	86.6	90.8	1.9	1.0	1.9	1.2	1.0	50.8	100.0	58.5	70.3
Total Vulnerabilities (scale of 100)	12.9	17.5	3.9	6.5	10.8	11.5	10.5	34.1	57.3	53.8	50.6
Total Risk (scale of 100)	38.9	32.7	5.8	6.7	7.9	8.0	7.8	35.6	58.5	57.2	51.4

Resiliency Scales (0-100)

Performance Measure	Time Measure	Robustness Measure	Resourcefulness Measure	Recovery Measure
33.2	36.2	66.9	12.4	25.1

Multihazards Interaction Matrix
... will result in this change for other hazards:

a change in:	Blast	CBR	Seismic	Flood	Wind	Fire
a change in Blast	100.0%	15.6%	27.9%	9.0%	53.4%	32.1%
a change in CBR	6.7%	100.0%		1.7%		
a change in Seismic	44.5%		100.0%	15.7%	57.0%	2.9%
a change in Flood	50.3%	16.0%	61.9%	100.0%	77.2%	37.7%
a change in Wind	21.5%	11.5%	41.7%	47.2%	100.0%	28.6%
a change in Fire	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	100.0%

Total Score Summary
All Scores based on (0-100)

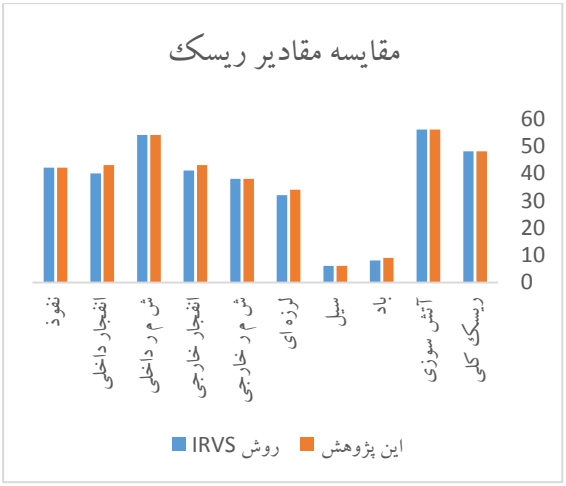
Intrusion:	42.3
Blast (Interior):	39.8
CBR (Interior):	53.9
Blast (Exterior):	41.5
CBR (Exterior):	38.0
Seismic:	31.9
Flood:	6.4
Wind:	7.9
Fire:	56.4
Resiliency:	34.7
Total Risk All Scenarios:	47.9

Print | Close

شکل (۹): نتایج سازه مطالعه موردی در نرم‌افزار IRVS

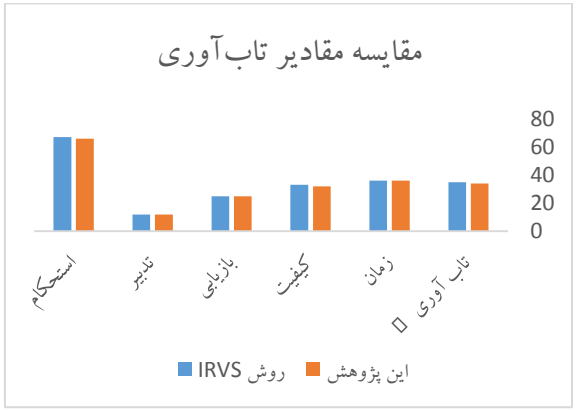
۵- صحت‌سنجی

برای صحت‌سنجی روش ارائه شده در این پژوهش، سازه مدل شده در قسمت مطالعه موردی در نظر گرفته شده است. اما این بار به جای استفاده از مجموعه سوالات روش IRVS، مجموعه سوالات بومی که در داخل نرم‌افزار وجود دارد استفاده شده است. شکل (۱۰) و شکل (۱۱) نتایج خطر و تاب‌آوری که با سوالات بومی‌سازی شده بدست آمده را با نتایج حاصله از مجموعه سوالات IRVS مقایسه می‌کند. همانطور که از شکل‌ها مشخص است نتایج بسیار به یکدیگر نزدیک هستند. نتایج شکل ۱۰ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تفاوت در ریسک لرزه‌ای است که نتایج بومی ۶ درصد خطا دارد و ریسک بیشتری را نشان می‌دهد. باید توجه داشت که در این پژوهش سوالات مربوط به زلزله اصلاح شده است. و همانطور که انتظار می‌رفته این سوالات بیشترین تاثیر را در خطر لرزه‌ای گذاشته است. با توجه به کیفیت ساخت متفاوت در کشور، بیشتر بودن ریسک در مجموعه سوالات بومی منطقی است. از آنجاکه هر یک از سوالات ممکن است در محاسبه خطر چندین خطر استفاده شوند، تغییر سوالات مربوط به خطر زلزله باعث شده که ریسک برخی خطرهای دیگر نیز تغییر کند. همانطور که مشخص است خطر انفجار بعد از زلزله بیشترین تغییر را داشته است، که نشان می‌دهد سوالات مشترک در محاسبه این دو ریسک بیشتر بوده است. چون سوالات مربوط به سازه بیشترین تاثیر را در این دو خطر دارد این اتفاق مورد انتظار بود. نتایج نشان می‌دهد که ساختمان در مقابل خطر باد و سیل ریسک کمی دارد و در مقابل زلزله و سایر خطرهای مربوط به انفجار و حمله‌ها آسیب‌پذیرتر است. با توجه به کاربری ساختمان و همچنین قرار گرفتن آن در شهر تهران که خطر لرزه‌خیزی آن بسیار زیاد است این نتایج منطقی است.



شکل (۱۰): مقایسه مقادیر ریسک این پژوهش و IRVS

سوالات بومی‌سازی شده در این پژوهش مربوط به خطر زلزله بوده است ولی نتایج شکل ۱۱ نشان می‌دهد که تاب‌آوری سازه در برخی قسمت‌ها نیز تغییر کرده است. لازم به ذکر است که در این شکل استحکام «توانایی حفظ عملیات و عملکردهای حیاتی در مواجهه با بحران»، تدبیر «توانایی برای آماده‌شدن ماهرانه، پاسخگویی و مدیریت یک بحران یا اختلال در زمان وقوع آن» و بازیابی به‌عنوان «توانایی بازگشت و یا بازسازی عملیات عادی با بیشترین سرعت و کارآمدی ممکن پس از یک اختلال» تعریف می‌شود. بومی‌سازی سوالات باعث کاهش عامل استحکام شده است. از آنجاکه کیفیت ساخت کمتر در نظر گرفته شده می‌توان انتظار داشت که ساختمان در مواجهه با بحران زودتر عملکرد خودش را از دست بدهد. پس این نتیجه دور از انتظار نیست. باید برای بهبود پارامترهای تدبیر و بازیابی اقدامی کرد بدین منظور لازم است تا برای کاربری‌های مختلف سازه منابع پشتیبان در نظر گرفته شود و زمانی که برای بازیابی و تعمیر قسمت‌های مختلف سازه لازم است پس از وقوع یک حادثه بهبود یابد. همچنین می‌توان با در نظر گرفتن برنامه‌های از پیش تعیین‌شده برای مقابله با خطرات احتمالی این عوامل را بهبود داد.



شکل (۱۱): مقایسه مقادیر تاب‌آوری این پژوهش و IRVS

۶- نتیجه‌گیری

محاسبه ریسک و تاب‌آوری سازه‌ها می‌تواند در بررسی آسیب‌پذیری سازه بسیار کمک‌کننده باشد. با بررسی آسیب‌پذیری سازه‌ها می‌توان به نیازمند بودن سازه به بهسازی سازه‌ای و یا عملکردی پی برد. آسیب‌پذیری سازه‌ها در بررسی مجموعه‌ای از ساختمان‌ها میتواند به عنوان معیاری برای اولویت‌بندی آن‌ها در نظر گرفته شود. در این پژوهش روشی کارا برای محاسبه ریسک و تاب‌آوری معرفی شد و نرم‌افزاری برای محاسبه آن توسعه داده شد. خلاصه نتایج این روش و پژوهش به شرح زیر است.

• نرم‌افزار ارائه شده در این پژوهش در مقایسه با نمونه‌های مشابه آن نظیر IRVS رابط کاربری راحت‌تری دارد، به راحتی نصب می‌شود و با سیستم عامل‌های بیشتری سازگار است.

•محاسبات انجام شده در این نرم‌افزار با نرم‌افزار IRVS مقایسه شد و مشاهده شد که نتایج بدون هیچ خطایی کاملا با یکدیگر برابر هستند. این بررسی نشان می‌دهد که نتایج این محاسبات کاملا صحیح و دقیق است.

•نتایج نرم‌افزار بومی‌سازی شده با نرم‌افزار IRVS مقایسه شد و مشاهد شد که میزان اختلاف آن‌ها کمتر از ۱۰ درصد است. این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده از سوالات مجموعه IRVS خطای قابل قبولی را در پی خواهد داشت.

•این روش به صورت کاملا یکپارچه محاسبات ریسک و تاب‌آوری را انجام می‌دهد. این ویژگی باعث شده که روش ارائه شده کارایی بسیار بیشتری از سایر روش‌های ارائه شده در ادبیات فنی داشته باشد. کاربر با پاسخگویی به مجموعه سوالات میتواند ریسک تهدیدهای مختلف و همچنین عوامل تاثیرگذار در تاب‌آوری را محاسبه کند.

•یکی از ویژگی‌های نرم‌افزار ارائه شده این است که مجموعه سوالات به راحتی توسط فایل اکسل قابل ویرایش است. این ویژگی به کاربر این کاربر این امکان را می‌دهد که در پروژه‌های خاص با قضاوت شخصی، سوالات را تغییر دهد و یا اهمیت سوالات را تغییر دهد.

•نرم‌افزار ارائه شده در این پژوهش امکانی را برای کاهش ریسک و افزایش تاب‌آوری ساختمان در دسترس قرار می‌دهد. این امکان که یکی از ویژگی‌های کلیدی این نرم‌افزار است، نمونه‌های موجود در ادبیات فنی وجود ندارد. این امکان کمک می‌کند که از محاسبات انجام شده در راستای مدیریت ریسک و یا تاب‌آوری استفاده شود.

•نرم‌افزار موجود کاملا به زبان فارسی است و دارای راهنما پاسخگویی به سوالات است. این امکانات باعث می‌شود که کاربر با حداقل دانش مهندسی بتواند به راحتی از آن استفاده کند. علاوه بر موارد مذکور، نرم‌افزار می‌تواند نتایج را به صورت یک فایل Word گزارش دهد. که این وِیژگی نیز باعث سهولت کار کردن با آن می‌شود.

۷- مراجع

[1] S. Ainuddin and J. K. Routray, “Community resilience framework for an earthquake prone area in Baluchistan. International Journal of Disaster Risk Reduction,” vol. 2, pp. 25-36, 2012. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2012.07.003

[2] J. S. Mayunga, “Understanding and applying the concept of community disaster resilience: a capital-based approach,” Summer academy for social vulnerability and resilience building, vol. 1(1), pp. 1-16, 2007.https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348

[3] N. Lantada, L. G. Pujades, and A. H. Barbat, “Vulnerability index and capacity spectrum based methods for urban seismic risk evaluation” A comparison. Natural hazards, 51, 501-524, 2009. DOI:10.1007/s11069-007-9212-4

[4] R. V. Whitman “SEISMIC RISK ANALYSIS FOR TWO“SITES CASE, 1975.

[5] R. A. Page, W. B. Joyner, J. A. Blume“ Earthquake Shaking and Damage to Buildings: Recent evidence for severe ground shaking raises questions about the earthquake resistance of structures“Science, vol. 189(4203), pp. 601-608 , 1975. DOI: 10.1126/science.189.4203.601

[6] Y. J. Park, A. S. Ang, and Y. K. Wen “Seismic damage analysis and damage-limiting design of RC buildings“Civil Engineering Studies SRS-516,1984. http://hdl.handle.net/2142/14124

[7] G. M. Calvi, R. Pinho, G. Magenes, J. J. Bommer, L. F. Restrepo-Vélez, and H. Crowley “Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years“ISET journal of Earthquake Technology, vol. 43(3), pp. 75-104, 2006. DOI: 10.4236/ojer.2012.11001

[8] FEMA (Federal Emergency Management Agency), “Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook (FEMA 154).” Government Printing Office Washington, DC, 2015.

[9] R. D. Jury, “Earthquake Risk Buildings--NZSEE Study Group Recommendations,” 2006

[10]R. Sinha and A. Goyal, “A national policy for seismic vulnerability assessment of buildings and procedure for rapid visual screening of buildings for potential seismic vulnerability,” Rep. to Disaster Manag. Div. Minist. Home Aff. Gov. India, Hindistan,2004.https://doi.org/10.3390/buildings11100485

[11]Institute for Research in Construction (Canada), Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation. National Research Council of Canada, 1993.

[12]M. H. Hazus, “Earthquake loss estimation methodology—technical and user manuals,” Fed. Emerg. Manag. Agency, Washingt,1999. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102676

[13]Federal Emergency Management Agency. Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: Supporting documentation. Government Printing Office, 2015. ISBN0160926750, 9780160926754

[14]S. U. Khan, M. I. Qureshi, I. A. Rana, and A. Maqsoom, “Seismic vulnerability assessment of building stock of Malakand (Pakistan) using FEMA P-154 method,” SN Appl. Sci., vol. 1, no. 12, pp. 1–14,2019. ISSN :2366-2557

[15]M. R. Sadat, M. S. Huq, and M. A. Ansary, “Seismic vulnerability assessment of buildings of Dhaka city,” J. Civ. Eng., vol. 38, no. 2, pp. 159–172,2010. Issue: 1, 285 - 294, 30.04.2018

[16]M. M. Kassem, S. Beddu, J. H.Ooi, C. G. Tan, A. Mohamad El-Maissi, and F. Mohamed Nazri “Assessment of seismic building vulnerability using rapid visual screening method through web-based application for Malaysia“ Buildings, vol. 11(10), p. 485, 2021. https://doi.org/10.3390/buildings11100485

[17]Bureau of Technical Affairs and Development of Standards, "Instructions for Seismic Improvement of Existing Buildings" 2008. (in Persian)

[18]FEMA (Federal Emergency Management Agency), (2000), “Commentary for the seismic rehabilitation of buildings,” FEMA-356, Fed. Emerg. Manag. Agency, Washington, DC.

[19]Seminar, C. H. A. R. L. E. S. T. O. N. (1997). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273). Building Seismic Safety Council: Washington, DC, USA.

[20]H. Vathouqifar, M. Firouzbakht, and A. Kalantari, "Development of a rapid method for evaluating existing buildings in Iran", Seismology and Earthquake Engineering Research Journal. ISSN: 1735-1677, 2008. (in Persian)

[21]M. Yadollahi, A. Adnan, and R. M. Zin, “Seismic vulnerability functional method for rapid visual screening of existing buildings,” Archives of Civil Engineering, pp. 363-377, 2012. journal ISSN : 1230-2945

[22]“BIPS 06/FEMA 426: Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks against Buildings, 2nd Edition | Homeland Security.” 10-Feb-2022.

[23]United States Department of Homeland Security, “National Infrastructure Protection Plan 2009.” Washington DC, 2009.

[24]Road, Housing and Urban Development Research Center; Regulations for the design of buildings against earthquakes.