

## چکیده

بسیاری از ساختمان‌ها پس از زلزله با توجه به اینکه آسیب‌دیده و از عملکرد خارج شده باشند و یا برعکس بدون آسیب جدی عملکردشان را حفظ کرده باشند، می‌توانند دو نقش متضاد بحران‌زا یا بحران‌زدا (خدمات‌رسان) ایفا نمایند. موفقیت واکنش اضطراری پس از زلزله در شهرها از یکسو به میزان آسیب‌های ساختمان‌های بحران‌زا و از سوی دیگر به عملکرد مناسب ساختمان‌های بحران‌زدا بستگی دارد. بر این اساس، با توجه به تأثیرگذاری نقش ساختمان‌ها در مدیریت واکنش اضطراری پس از زلزله، ضروری است نقش آنها شناسایی شده و مورد ارزیابی دقیق قرار گیرد. به‌منظور برآورد خسارت ساختمانی و تلفات انسانی، معمولاً طبقه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس نوع سازه، تعداد طبقات و سن بنا به انجام می‌رسد. با توجه به زلزله‌های گذشته، علاوه بر این سه عامل، شاخص‌های دیگری نیز در آسیب‌پذیری ساختمان و خسارت ناشی از آن دخیل است که بهتر است در رده‌بندی ساختمان‌ها در نظر گرفته شود تا قابلیت اطمینان به‌دست آمده افزایش یابد. این پژوهش با هدف ارتقاء روش‌های ارزیابی ساختمان‌های تأثیرگذار در واکنش اضطراری به کمک دخیل نمودن شاخص‌های دیگر صورت پذیرفت و به‌عنوان نمونه در محله چیدر تهران پیاده‌سازی و با روش‌های رایج مقایسه شد. برای به دست آوردن اطلاعات از برداشت‌های میدانی، جهت بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و رده‌بندی ساختمان‌ها از دستورالعمل ۳۶۴ برای تخمین خسارات و تلفات از روش‌های جایکا و کوپرن-اسپنس استفاده شد. تعداد ساختمان‌های بررسی شده ۱۶۶۳ عدد بوده که ۹ درصد آنها با آسیب‌پذیری لرزه‌ای کم، ۶ درصد متوسط و ۳۳ درصد زیاد برآورده شدند و مابقی خارج از دستورالعمل هستند. طبق روش پیشنهادی تلفات حاصله برای دو سناریوی شب و روز در بدترین شرایط ۹/۶ و ۱۰ درصد کشته برآورد شد. بررسی‌ها نشان داد که در خیابان‌های اصلی به علت وجود ساختمان‌های بلند از یک‌سو و کم بودن عرض معابر از سوی دیگر، احتمال مسدود شدن راه‌ها وجود دارد. در صورت اعمال صحیح مدیریت واکنش اضطراری و اقدامات مربوطه برای سناریوی روز جان ۴۳۷ نفر و برای سناریوی شب جان ۵۰۰ نفر می‌تواند نجات یابد.

**واژگان کلیدی:** مدیریت واکنش اضطراری، ساختمان‌های تأثیرگذار، آسیب‌پذیری، ارزیابی سریع لرزه‌ای، خسارت.

## ارتقاء روش‌های ارزیابی ساختمان‌های تأثیرگذار برای واکنش اضطراری پس از زلزله

محمد حسین شوقی کلخوران

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی زلزله گرایش خطرپذیری، پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

یاسمین استوار ایزدخواه (نویسنده مسئول)

دانشیار، پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، izad@iiees.ac.ir

محمود حسینی

دانشیار، پژوهشکده مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

## ۱- مقدمه

از جمله زلزله بوئین‌زهرا (۱۳۴۱)، طیس (۱۳۵۷)، رودبار و منجیل (۱۳۶۹)، آوج (۱۳۸۱)، بم (۱۳۸۲)، زرنند (۱۳۸۳)، سیلاخور (۱۳۸۵) و سر پل ذهاب (۱۳۹۶). با توجه به محدودیت‌های مالی، اعتباری و عملیاتی، امکان اجرای اقدامات اصلاحی، مقاوم‌سازی

یکی از مخاطرات طبیعی که بسیاری از نقاط دنیا از جمله کشور ایران را تهدید می‌کند، زمین‌لرزه است. طی پنج دهه گذشته چندین زلزله بزرگ در کشور به وقوع پیوسته که تقریباً تمامی آنها به بروز فاجعه‌های انسانی و اقتصادی منجر شده است،

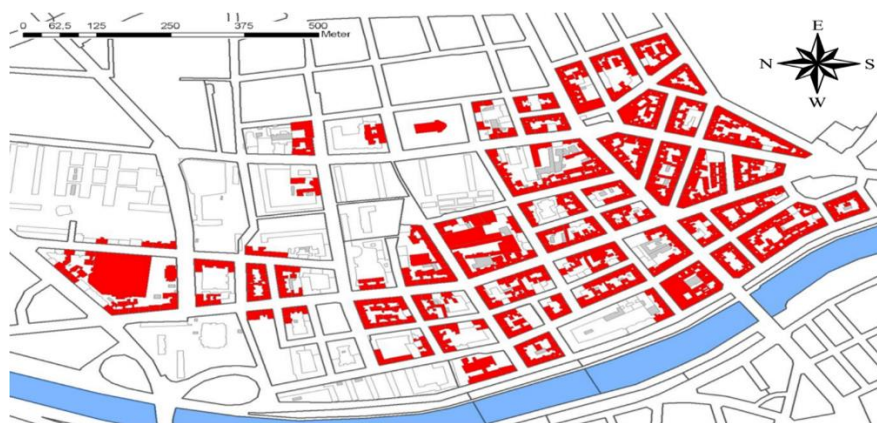
## ۲- پیشینه پژوهش

### ۲-۱- روش‌های رایج جهت ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای و نمونه‌ای از آنها

در سال ۲۰۱۱، در شورای فناوری کاربردی (ATC)<sup>۱</sup> با کمک مالی آژانس فدرال مدیریت اضطراری (FEMA) ایالت متحده آمریکا قراردادی برای به‌روزرسانی غربالگری بصری سریع ساختمان‌ها (RVS)<sup>۲</sup> از لحاظ خطرات بالقوه لرزه‌ای بسته شد. پروژه اولیه در سال ۱۹۸۸ توسط ATC با همکاری FEMA انجام گرفت. این پروژه از ارائه روشی برای ارزیابی سریع و ارزان ایمنی لرزه‌ای برای تعداد زیادی از ساختمان‌ها با حداقل دسترسی به ساختمان‌های موجود و همچنین پیش‌بینی عملکردشان بود که متدولوژی آن بر اساس نمره‌دهی است [۲]. استاندارد جامعه مهندسان و معماران سوئیس<sup>۳</sup> (SIA 2018) در سال ۲۰۰۴ روشی شامل سه مرحله برای ارزیابی خطر لرزه‌ای ارائه داده است [۳]:

مرحله اول: ارزیابی بر اساس بازرسی بصری طرح ساختمان‌ها و مهم‌ترین المان‌های مربوط به ساختمان و خطر مربوط به زمین‌لرزه؛  
مرحله دوم: مطالعه جزئیات مربوط به خطر لرزه‌ای برخی نمونه‌های انتخابی؛ و مرحله سوم: اقدامات تقویت و بهسازی برای تعداد محدودی از ساختمان‌های آسیب‌پذیر.  
در تحقیقی در شهر وین در سال ۲۰۱۱ [۴]، ۳۷۵ ساختمان از منطقه ۲۱ شهر در سال ۲۰۱۱ با روش RVS مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفت (شکل ۱).

و بهسازی به‌طور کامل و در جمیع جهات میسر نیست. با اولویت‌بندی بهسازی ساختمان‌های موجود، بر اساس درجه اهمیت و به حداقل رساندن هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی بعد از زلزله، می‌توان در راستای اقدامات اصلاحی قدم برداشت و به تبع آن بهترین و مؤثرترین مدیریت واکنش اضطراری را شاهد بود. در این مقاله، پس از مروری اجمالی بر پیشینه روش‌های ارزیابی سریع و برآورد خسارت ساختمانی و تلفات شهری، نتایج مطالعه صورت گرفته در محدوده جمعیتی محله چیذر [۱] در منطقه یک کلان‌شهر تهران بر اساس یک روش جدید پیشنهادی ارائه می‌گردد. در این مطالعه، ابتدا ساختمان‌ها از لحاظ میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای اولویت‌بندی شدند. همچنین تعداد تلفات احتمالی بعد از زلزله با دو نوع طبقه‌بندی ساختمان‌ها به دو روش معمول و پیشنهادی مشخص و مقایسه شد. با تخمین هزینه بهسازی ساختمان‌ها، برآورد تلفات قبل و بعد از بهسازی با روشی که ملاک طبقه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای است، می‌توان به‌خوبی تعداد افرادی که پس از بهسازی جانشان نجات یابد را تخمین زد و اولویت تخصیص بودجه به مناطقی که با کمترین هزینه جان افراد بیشتری نجات پیدا می‌کند، معطوف شود. با توجه به دستورالعمل‌هایی مانند نشریه ۳۶۴، قبل از زلزله می‌توان غربالگری مناسبی جهت شناسایی ساختمان‌هایی که نیاز به بهسازی دارند، انجام داد و ساختمان‌ها را از لحاظ آسیب‌پذیری لرزه‌ای اولویت‌بندی کرد. جزئیات مطالعه در بخش‌های بعدی مقاله ارائه شده است.



شکل (۱): بررسی ساختمان‌های مسکونی و تاریخی با مصالح بنایی منطقه ۲۱ شهر وین [۴].

به امتیاز دریافت شده در برابر زلزله احتمالاً ناپایدارند. علت ناپایداری در دو سازه اخیر، مسکونی بودن کاربری آنها در بدو امر و تغییر کاربری به درمانی در سال‌های اخیر بوده است. از این رو لازم است درمانگاه‌های مذکور در اسرع وقت توسط متخصصین سازه مورد بازبینی قرار گرفته و مقاوم‌سازی شوند و یا مکان آنها تغییر یابد.

در مطالعه‌ای توسط بهنام‌فر و شاهقلیان [۱۱] پیشنهادهایی برای بهبود دقت ارزیابی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی ارائه شد. در این مطالعه میزان آسیب‌پذیری ۷۱ ساختمان مدرسه با پر کردن فرم ارزیابی کیفی به دو روش نشریه ۳۷۶ و FEMA154 مشخص شد.

بر اساس بند ۱۴ مصوبه بیست و یکمین جلسه نظارت ستادی سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران در بهمن ماه ۱۳۹۴ مقرر گردید ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری مکان‌های امدادی و ساختمان‌های درون مجموعه شهرداری طی برنامه زمان‌بندی مشخص در دستور کار برنامه سال ۱۳۹۵ این سازمان قرار گرفته و گزارش مدون نیز جهت بهره‌برداری در داشبورد مدیریتی در اختیار سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات قرار گیرد. با توجه به تعداد بالای ساختمان‌های هدف تعیین و انتخاب روش مناسب جهت ارزیابی ضرورتی، به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات کلی و احصاء ضرورت ارزیابی تفصیلی لرزه‌ای ساختمان‌ها شهرداری تهران روش ارزیابی سریع چشمی با امکان غربال‌گری ساختمان‌ها در دستور کار این سازمان قرار گرفت. این روش یکی از کامل‌ترین مراجع ارزیابی عینی سریع آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها در جهان است که در دستورالعمل FEMA-154 ارائه شده است. تا سال ۲۰۰۲ میلادی بیش از ۷۰۰۰۰ ساختمان در آمریکا با استفاده از این دستورالعمل مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل به‌تدریج کالیبره شده است [۱۲].

## ۲-۲- پیشینه مربوط به آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها و برآورد خسارات و تلفات

در ارزیابی ساختمان‌های شهری پس از زلزله سال ۱۹۸۵

در آن پژوهش، روشی برای ارزیابی سریع ساختمان‌ها که متناسب با توپولوژی منطقه وین با پارامترهای خاص مربوط به ساختمان‌های مسکونی و تاریخی است، ارائه شد که با مطالعه اسناد و مدارک تاریخی مانند (آیین‌نامه ساختمانی وین سال ۱۸۵۹، آیین‌نامه وین ساختمانی سال ۱۸۶۹، آیین‌نامه وین ساختمانی سال ۱۸۹۲) و همچنین با در نظر گرفتن تحقیقات اخیر فلش و همکاران [۵] در سال ۲۰۰۵ و اوپبی [۶] در سال ۲۰۰۹ و روسو [۷] سال ۲۰۰۶ تنظیم شد.

مؤسسه تحقیقات ساختمانی شورای ملی کانادا برای کمک به صاحبان ساختمان‌ها در برآورد کاستی‌های لرزه‌ای، روش ارزیابی سریع ساختمان‌های موجود را ابداع نمود که بر اساس ملاحظات FEMA 154 و ATC-21 استوار است. عوامل اصلی که در این روش مورد توجه قرار گرفته‌اند عبارتند از: لرزه‌خیزی در محل سازه، شرایط خاک، نوع سازه، نامنظمی‌های ساختمان، اهمیت ساختمان و خطرات مربوط به اجزای غیرسازه‌ای [۸].

از اواسط دهه هفتاد شمسی در ایران نیز پروژه‌های مقاوم‌سازی و بهسازی ساختمان‌های مهم، تأسیسات زیربنایی و شریان‌های حیاتی کشور در دستور بخش‌های مختلف دولت قرار گرفت. از جمله بازخوردهای مهم این اقدام، لزوم توجه به امر اولویت‌بندی و ارزیابی سریع لرزه‌ای ساختمان‌های موجود هست تا از پرداختن به ساختمان‌هایی که ارزیابی لرزه‌ای آنها توجیه فنی و اقتصادی ندارد، جلوگیری گردد. با توجه به اهمیت موضوع، دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری بر آن شد تا زمینه تدوین دستورالعملی ملی جهت ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌های موجود را فراهم نماید [۹].

مطالعه‌ای توسط جهانگیری و خردمند [۱۰] در سال ۲۰۱۵ جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای (به روش دستورالعمل فم‌ا ۱۵۴) در مراکز درمانی محله فردوس منطقه ۵ شهر تهران انجام پذیرفت. نتیجه به‌دست آمده از بررسی انجام شده به‌وسیله فرم ارزیابی سریع نشان داد که بیمارستان تخصصی ابن‌سینا، درمانگاه‌های ابوطالب و فاطمه‌الزهرا از مقاومت لازم در برابر زلزله برخوردارند. درمانگاه‌های التیام و شریعت رضوی با توجه

محتمل نیاوران نیستند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ۱۷ درصد از ساختمان‌های بیمارستان وارد فاز خرابی کامل، ۲۴ درصد خرابی گسترده، ۳۴ درصد خرابی متوسط و ۲۷ درصد باقی‌مانده خسارت نمی‌بینند و یا خسارت ناچیزی متحمل می‌گردند.

اخیراً منصوری و همکاران [۲۰] نیز مدلی را برای ارزیابی خسارات جانی ارائه داده‌اند. در تحقیق انجام گرفته، آنها ضمن بررسی عوامل تأثیرگذار در میزان آسیب‌پذیری جمعیت (تعداد کشته‌شدگان، مصدومان سرپایی و مصدومان بیمارستانی)، مدل‌های تجربی و نیمه تجربی برای برآورد اشغال جمعیت در ساختمان‌های مسکونی شهری در ساعات مختلف شبانه‌روز ارائه داده‌اند.

### ۳- معرفی محله مورد مطالعه

اجرای این پژوهش به صورت پایلوت در محله چیدر، منطقه یک شهر تهران انجام شده که از شمال به خیابان شهید لواسانی و دزاشیب، از جنوب به اتوبان صدر، بلوار قیطریه و میدان پیروز، از شرق به خیابان پاشا ظهیری، کامرانیه و فرمانیه، از غرب به محله حکمت، خیابان‌های براتی، نعمتی و لاله محدود شده است. دلیل انتخاب محله دارا بودن تمامی ویژگی‌های شهر تهران جهت واقع‌بینانه‌تر شدن کار بوده است. در قسمت مرکزی، شرق و جنوب شرقی منطقه بافت بسیار قدیمی با کوچه‌های باریک و افراد مسن وجود دارد. در قسمت جنوب و جنوب غربی کنار بافت قدیمی معمولاً ساختمان‌های بلند به چشم می‌خورد و در قسمت غربی و شمالی محله باغ و ساختمان‌های نوساز بیشتری مشاهده می‌شود. به لحاظ آماری نیز، این محله دارای مساحتی بالغ بر ۱۸۷۰۶۱۵ کیلومتر مربع است و بر اساس آمار سال ۱۹۰ [۱]، این محله ۱۷۴۶۲ نفر جمعیت دارد. جمعیت مردان محله ۸۴۹۸ و زنان آن ۸۹۶۴ نفر می‌باشد؛ اما به دلیل نوساز بودن برخی ساختمان‌ها و نبود آمار جمعیتی، تعداد افراد بر اساس متوسط بعد خانوار تخمین زده شد و جمعیت کل ۱۷۶۳۸ نفر محاسبه شد. همچنین در این پژوهش از تعداد ۱۷۲۵ پارس‌ل، ۱۶۶۳ ساختمان موجود می‌باشد.

مکزیکوسیتی مشخص گردید که پنج بیمارستان ویران، ۲۲ بیمارستان دچار آسیب جدی و حداقل ۱۱ باب از آنها تخلیه شدند [۱۳]. در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۰۴ توسط ناطقی‌الهی و ایزدخواه [۱۴] در ۱۱۰ بیمارستان تهران انجام پذیرفت، نشان داده شد که فقط ۲۰ درصد بیمارستان‌های شهر تهران در برابر زلزله مقاوم هستند و درصد بالایی از آنها از مصالح ضعیف ساخته شده‌اند.

در سال ۱۳۷۸ مطالعاتی با عنوان «ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران بزرگ» با همکاری مطالعات زلزله و محیط‌زیست شهر تهران و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) ۴، ارزیابی تعداد تلفات زلزله در انواع گونه ساختمان‌های فروریخته ناشی از وقوع زلزله در شب و روز در شرایط مختلف امدادسانی (با استفاده از روش کورن و همکاران [۱۵] در سال ۱۹۹۲ و تعیین پارامترهای مدل با در نظر گرفتن داده‌های زلزله‌های پیشین در ایران) صورت پذیرفت [۱۶].

یکی از جدیدترین و جامع‌ترین مطالعات بین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ انجام شده زیر نظر پروفیسور پیتلاکیس با عنوان (syner-G) می‌باشد. در این مطالعه علاوه بر ارزیابی مناسب خرابی‌ها و خسارت‌های فیزیکی در انواع المان‌های شهری (نظیر ساختمان‌ها، شریان‌ها، راه‌ها...)، تلفات، مصدومیت‌ها و پناه‌جویان، مسائل اجتماعی و اقتصادی، اندرکنش درون سیستمی و اندرکنش بین سیستم‌ها و شریان‌های مختلف شهری نیز در نظر گرفته شده است. روش‌های ارائه شده در این مدل پیچیده بوده و برای برآورد پارامترهای مدل نیاز به تحقیقات گسترده و وجود اطلاعات و داده‌های جامع و بروز می‌باشد [۱۷].

در مطالعه‌ای دیگر، کشانی و امامی [۱۸] برای ارزیابی آسیب‌پذیری و تخمین خسارت بیمارستان‌های شهر تهران، از روش HAZUS [۱۹] استفاده کردند. در این مطالعه، احتمال خسارت بیمارستان‌های شهر تهران در سطوح مختلف برای یک زلزله خاص (گسل نیاوران) به عنوان زلزله سناریو معرفی و محاسبه گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد ۴۱ درصد از بیمارستان‌های موجود ۴۱ درصد که به لحاظ کیفیت ساخت در رده ضعیف طبقه‌بندی می‌شوند، دارای عملکرد مناسبی در زلزله سناریوی

#### ۴- روش تحقیق

این پژوهش به لحاظ ماهیت مطالعه از نوع موردی و به لحاظ هدف از انواع پژوهش‌های کاربردی است که در سه مرحله انجام شده است. در مرحله اول به صورت مطالعه مروری (مرور مقالات)، در مرحله دوم مطالعه کیفی (برداشت میدانی) و در مرحله سوم به صورت مطالعه کمی (استفاده از فرم‌های آماری و نرم‌افزارها) انجام شده است. جامعه پژوهش در بخش مروری پژوهش شامل منابع علمی و مستندات موجود در شهرداری منطقه یک، مرکز آمار ایران، ستاد مدیریت بحران و دستورالعمل ۳۶۴ ارزیابی سریع ساختمان‌ها، روش برآورد تلفات کوبرن [۱۵] و منحنی شکنندگی‌های خسارت جایکا و همکاران [۱۶] بوده است.

در بخش کیفی مطالعه شامل برداشت میدانی تمامی ویژگی‌های محله، ساختمان‌ها، مراکز درمانی، آموزشی، مذهبی، تاریخی، فضاها و باز برداشت شد و در بخش کمی مطالعه شامل تحلیل اطلاعات به دست آمده به وسیله نرم‌افزارهای متلب، اکسل و ArcGis و تکمیل فرم‌های ارزیابی سریع ساختمان به وسیله کد نوشته شده در نرم‌افزار متلب می‌باشد.

#### ۵- ارزیابی سریع لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و نتایج

##### این ارزیابی

هدف اصلی از ارزیابی لرزه‌ای سریع ساختمان‌ها، بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای آنها با توجه به ویژگی‌های مهم و مؤثر بر عملکرد لرزه‌ای، بدون صرف هزینه‌های ناشی از ارزیابی‌های تفصیلی بر اساس دستورالعمل‌های معتبر نظیر نشریه ۳۶۰ است. مواردی که شامل این دستور عمل نمی‌باشند:

۱- ساختمان‌های آسیب‌دیده پس از زلزله، ۲- ساختمان‌هایی که بر اساس آخرین ویرایش استاندارد ۲۸۰۰ ایران طراحی و اجرا شده‌اند و کاربری فعلی آنها منطبق بر کاربری در نظر گرفته شده در طراحی اولیه است، ۳- ساختمان‌های بنایی مسلح یا غیرمسلح (فصل سوم نشریه ۳۷۶ [۲۱])، ۴- ساختمان‌های قاب سبک فولادی، ۵- ساختمان‌های چوبی، و ۶- ساختمان‌هایی که توانایی تحمل بارهای جانبی ناشی از زلزله را ندارند.

روش ارزیابی به این صورت است:

الف- تعیین کرانه‌های بالا ( $S_U$ ) و پایین ( $S_L$ ) شاخص‌های ارزیابی لرزه‌ای ( $S$ );

ب- تعیین شاخص ارزیابی لرزه‌ای پایه ( $S_B$ );

پ- تعیین نوع ساختمان که در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

جدول (۱): گروه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس شاخص ارزیابی لرزه‌ای و روند انجام مطالعات بهسازی [۹].

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

\* بر اساس پیشنهاد، دستورالعمل  $S_L = 0$   $S_B = 2$   $S_U = 3$  در نظر گرفته شده است.



شکل (۲): وضعیت آسیب پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود از نظر اولویت بهسازی.

در جدول (۲)، تعداد ساختمان‌ها بر اساس کاربری و آسیب‌پذیری لرزه‌ای ارائه شده است. ساختمان‌ها بر اساس فرم ارزیابی سریع لرزه‌ای امتیازبندی شدند. امتیازدهی ساختمان‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGis و متلب کدی بر اساس فرم ارزیابی و اطلاعات برداشت شده از منطقه انجام شد که نتایج و نمونه‌ای از امتیازدهی ساختمان در شکل (۲) و جدول (۳) نمایش داده شده است. در جدول (۳)، تعداد ساختمان‌های بررسی شده ۱۶۵۳ باب بوده که ۴۸۳ باب از آنها مصالح بنایی و تعداد ۳۷۲، با رعایت استاندارد و ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشند. ۱۱۰ ساختمان دارای آسیب‌پذیری لرزه‌ای متوسط و ۵۴۱ ساختمان دارای آسیب‌پذیری لرزه‌ای زیاد تشخیص داده شدند. پیشنهاد می‌شود ساختمان‌های دارای آسیب‌پذیری متوسط از شمول بهسازی خارج شوند. نمونه‌ای از فرم‌های ارزیابی تکمیل شده در جدول (۳)، نوع سازه‌ها در شکل (۳) و نتایج وضعیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های موجود از نظر اولویت بهسازی در شکل‌های (۲) و (۴) نشان داده شده است. نکته قابل تأمل این است که ۶۶ درصد ساختمان‌های با کاربری آموزشی و ۴۴ درصد ساختمان‌های با کاربری دارویی بهداشتی از مصالح بنایی استفاده شده‌اند و یا دارای آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند.

جدول (۲): تعداد ساختمان‌ها بر اساس کاربری و آسیب‌پذیری لرزه‌ای.

کاربری	مجموع	نوساز	$S_U < S$	$S_B < S < S_U$	$S_L < S < S_B$	$S < S_L$	مصالح بنایی
اداری	۱۶	۵	۱	۰	۴	۰	۶
دیپلماتیک	۴	۰	۰	۱	۳	۰	۰
تجاری	۲۵	۹	۲	۱	۷	۰	۶
مسکونی، مسکونی مختلط، خانه باغ	۱۴۹۳	۳۴۰	۱۳۷	۹۶	۴۸۹	۰	۴۳۱
بانک و اداری	۱۶	۳	۲	۳	۷	۱	۰
تأسیسات	۳۲	۰	۰	۰	۶	۰	۲۶
خدمات عمومی	۷	۱	۰	۱	۳	۰	۲
آموزشی	۲۱	۶	۰	۱	۸	۰	۶
ورزشی	۱۴	۲	۱	۱	۹	۰	۱
دارویی بهداشتی	۲۵	۶	۳	۵	۶	۰	۵
<b>مجموع</b>	<b>۱۶۵۳</b>	<b>۳۷۲</b>	<b>۱۴۶</b>	<b>۱۱۰</b>	<b>۵۴۱</b>	<b>۱</b>	<b>۴۸۳</b>

جدول (۳): نمونه‌ای از ارزیابی لرزه‌ای ساختمان بر اساس دستورالعمل ۳۶۴.

	نام ساختمان و بهره‌بردار: ساختمان شماره ۴۰۷ آدرس: چیدر - خیابان علوی - انتهای کوچه ۴ کد پستی (پلاک ثبتی): افراد ساکن در ساختمان ۸ نفر سال طراحی: ۱۳۷۵ سال ساخت: ۱۳۷۵ تعداد طبقات زیرزمین - تعداد طبقات کل: ۳ کاربری طراحی: مسکونی کاربری فعلی: مسکونی مساحت کل (مترمربع): ۴۱۴ مترمربع اضافه بنا الحاقی (مترمربع): ۲۰۰ مترمربع وضعیت وجود نقشه‌ها: موجود نیست تاریخ بازدید: ۹۵/۲/۲۵ نام و مشخصات ارزیاب: محمدحسین شوقی کلخوران دانشجوی پژوهشگاه زلزله							
توضیحات:								
نوع سقف								
طاق ضربی	تیرچه بلوک سایر							
خطر سقوط اجزای غیر سازه‌ای	نوع خاک بر اساس استاندارد ۲۸۰۰	اهمیت ساختمان بر اساس استاندارد ۲۸۰۰						
نماسازی دست‌انداز تجهیزات الحاقی غیره	۱ ۲ ۳ ۴	گروه ۱ گروه ۲ گروه ۳ گروه ۴						
سیستم‌های بتنی	سیستم‌های فولادی							نوع سیستم سازه
C4	C3	C2	C1	S4	S3	S2	S1	امتیاز
قاب پیش ساخته	قاب با میانقاب	قاب خمشی با دیوار برشی	قاب خمشی	قاب ساده با میانقاب	قاب ساده با دیوار برشی	قاب ساده با مهاربندی	قاب خمشی	
۲/۴	۱/۶	۲/۸	۲/۵	۲	۲/۸	۳	۲/۸	
۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۲	
۰/۴	۰/۳	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۶	
-۱	-۱/۳	-۱	-۱/۵	-۱	-۱	-۱/۵	-۱	
-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۵	
-۰/۲	-۰/۲	-۱	-۱/۲	-۰/۲	-۰/۸	-۰/۸	-۱	
۰/۱	۰/۱	۰/۷	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۳	۰/۲	
۰/۲	۰/۲	۲/۴	۱/۴	۰/۲	۱/۶	۱/۴	۱/۴	
-۰/۶	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۴	-۰/۴	
-۰/۶	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۶	-۰/۶	
۱,۲-	-۰/۸	-۰/۸	-۱/۲	-۰/۸	-۱/۲	-۱/۲	-۱/۲	
-۰/۴	-۰/۴	-۰/۶	-۰/۸	-۰/۴	-۰/۵	-۰/۵	-۰/۷	
شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (S), ۱/۷								
شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای پایه (S <sub>n</sub> ): ۲			کرانه بالای آسیب‌پذیری لرزه‌ای (S <sub>U</sub> ): ۳			کرانه پایین شاخص آسیب‌پذیری لرزه‌ای (S <sub>L</sub> ): صفر		
ارزیابی کیفی نیاز دارد؟			ملاحظات: S <sub>L</sub> < S < S <sub>B</sub>					
بله خیر								

## ۶- برآورد خسارات ساختمانی و تلفات انسانی ساختمان‌های محله چیدر

### ۱-۶- برآورد خسارات ساختمانی

#### ۱-۱-۶- برآورد بیشینه شتاب سطح زمین در محله

بیشینه شتاب (PGA) در هر پهنه با استفاده از نقشه جایکا تعیین شد (شکل ۵).

در این مقاله، برای معادل‌سازی شدت با پارامترهای جنبش زمین از جدول ارائه شده هیسادا و مگورو در گزارش منصوری و همکاران [۲۰] استفاده شده است. بدین ترتیب بیشینه شتاب منطقه معادل شدت زلزله ۹ مرکالی می‌باشد.

#### ۲-۱-۶- تیپ‌بندی ساختمان‌ها بر اساس روش جایکا

۱. آجری و فلزی یا سنگی و فلزی

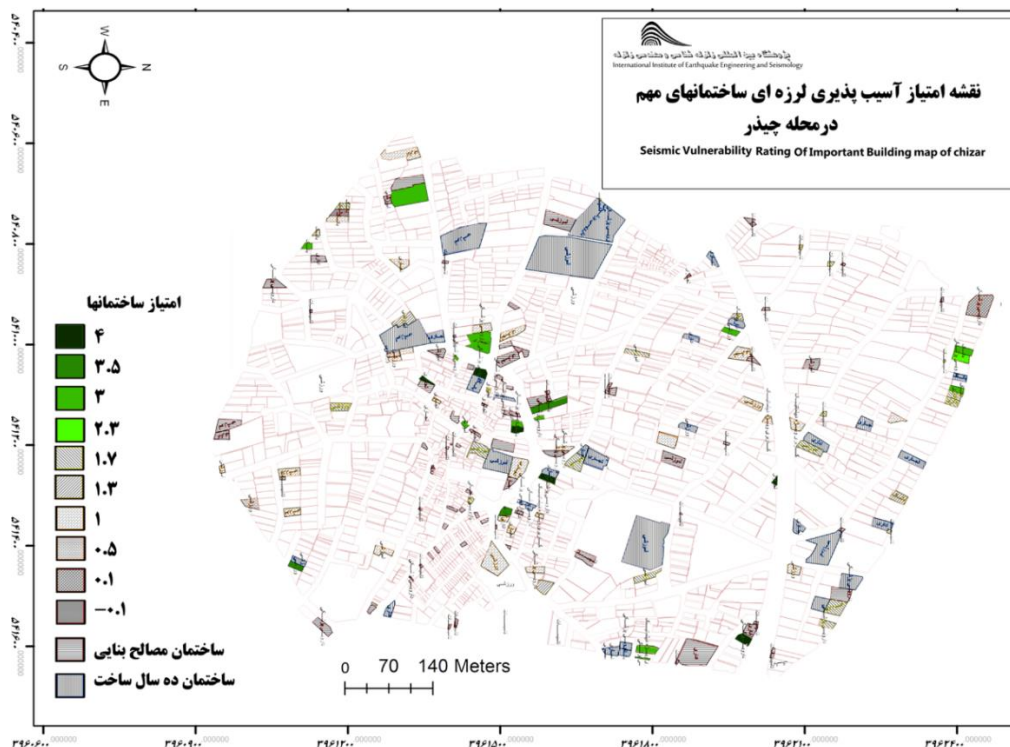
۲. Steel-1 (سازه فولادی، ساخته شده بعد از ۱۳۷۱، با یک تا ۳ طبقه)

۳. Steel-2 (سازه فولادی، ساخته شده قبل از ۱۳۷۰ یا با بیش از چهار طبقه)

۴. RC-0 (سازه بتن مسلح با بیش از شش طبقه)

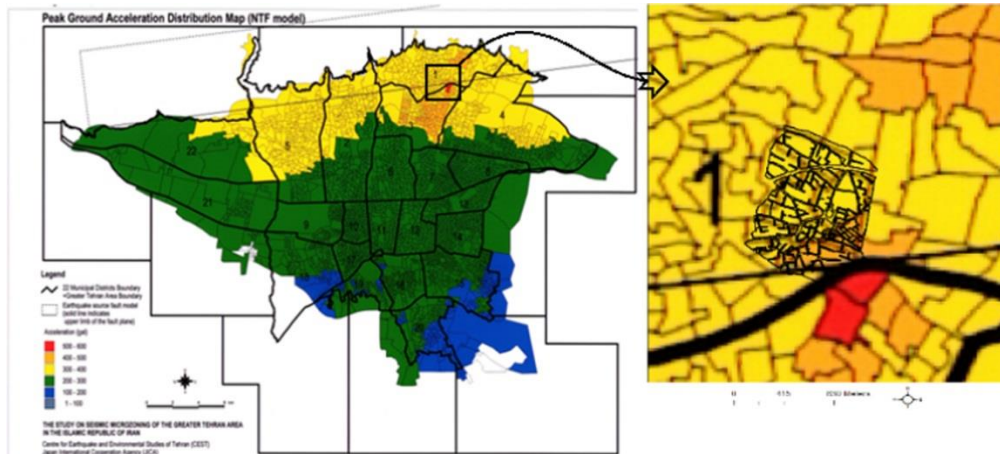


شکل (۳): وضعیت نوع سازه‌ها.



شکل (۴): وضعیت آسیب پذیری لرزه‌ای ساختمان‌های مهم.





شکل (۵): نقشه پراکندگی بیشینه شتاب زمین بر اساس مدل گسل شمال تهران [۱۶].

عوامل، می‌توان ساختمان‌ها را از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای دسته‌بندی کرد. در این مطالعه، طبقه‌بندی ساختمان‌ها طبق جدول (۴) بر اساس «میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای» صورت گرفته است.

جدول (۴): پیشنهاد طبقه‌بندی ساختمان‌ها، بر اساس میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای.

توضیحات	آسیب‌پذیری لرزه‌ای	تیپ ساختمان
فولادی کیفیت خوب	کم $S > S_U$	فولادی ۱
فولادی کیفیت متوسط	متوسط $S_B < S < S_U$	فولادی ۲
فولادی کیفیت بد	زیاد و بسیار زیاد $S < S_B$	فولادی ۳
بتنی کیفیت خوب	کم $S > S_U$	بتن مسلح ۰
بتنی کیفیت متوسط	متوسط $S_B < S < S_U$	بتن مسلح ۱
بتنی کیفیت بد	زیاد و بسیار زیاد $S < S_B$	بتن مسلح ۲
مصالح بنایی	زیاد و بسیار زیاد	بلوک سیمانی

در شکل (۶)، توابع آسیب به کار رفته در جایکا که در این پژوهش از آنها استفاده شده، ارائه گردیده است.

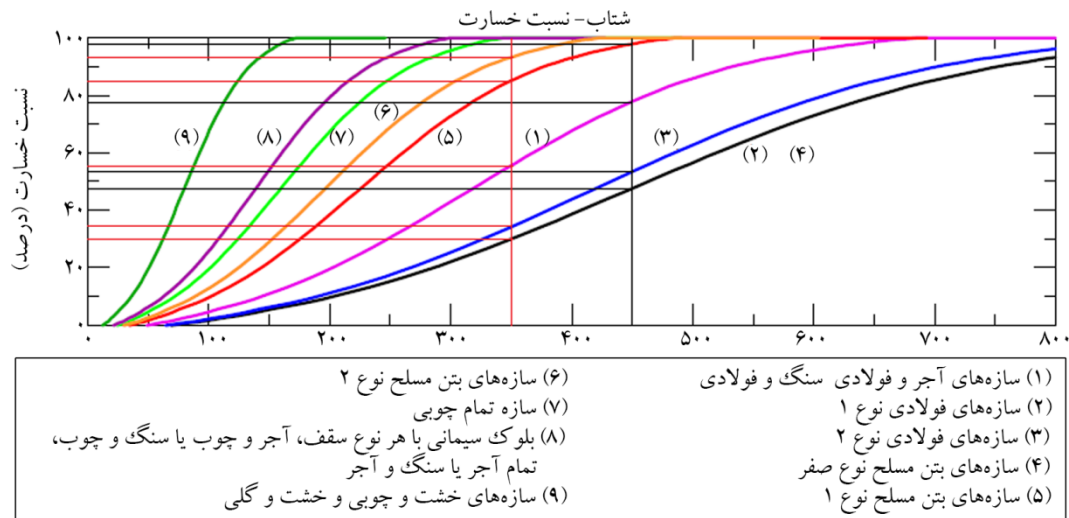
پس از طبقه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس منحنی شکنندگی جایکا [۱۶]، میزان آسیب‌پذیری آنها بررسی شد که نتایج آن در جدول (۵) نشان داده شده است. این جدول میزان خسارت مربوط به ساختمان‌های محله چیندر در جنوب منطقه با  $PGA = 450$  گال، شمال و مرکز محله با  $PGA = 350$  گال را بر اساس تابع آسیب‌پذیری جایکا نشان می‌دهد.

۵. RC-1 (سازه بتن مسلح ساخته شده بعد از ۱۳۷۰ و با یک یا دو طبقه)
۶. RC-2 (سازه بتن مسلح ساخته شده قبل از ۱۳۷۰ یا با بیش از سه طبقه)
۷. سازه تمام چوبی
۸. بلوک سیمانی<sup>۵</sup> با هر نوع سقف آجر و چوب یا سنگ و چوب، تمام آجر یا سنگ و آجر
۹. سازه‌های خشت و چوبی و خشت و گلی [۱۶].

#### ۳-۱-۶- روش پیشنهادی جهت طبقه‌بندی ساختمان‌ها و برآورد تلفات

به‌منظور برآورد خسارت ساختمانی و تلفات، معمولاً طبقه‌بندی ساختمان‌ها بر اساس نوع سازه، تعداد طبقات و سن بنا به انجام می‌رسد. با توجه به زلزله‌های گذشته، علاوه بر این سه عامل، شاخص‌های دیگری نیز در آسیب‌پذیری ساختمان و خسارت ناشی از آن دخیل است، بهتر است در تیپ‌بندی ساختمان‌ها این عوامل نیز در نظر گرفته شود تا دقت نتایج به‌دست آمده افزایش یابد و تخمین مناسبی از هزینه‌های ناشی از بهسازی مشخص شود. اگر برآورد مناسب از تلفات انسانی در یک زلزله وجود داشته باشد، می‌توان به‌طور مؤثرتر زیان‌های آن را کاهش داد [۲۲].

با استفاده از دستورالعمل ۳۶۴ ارزیابی سریع ساختمان‌های موجود، بر اساس برگه ارزیابی با در نظر گرفتن تمامی



شکل (۶): تابع خسارت اعمال شده در مطالعه جایکا، برای انواع ساختمان‌ها [۱۶].

جدول (۵): میزان آسیب‌پذیری تیپ ساختمان‌ها بر اساس تابع آسیب‌پذیری جایکا.

PGA= 350 cm/s <sup>2</sup>	Steel-1: 0.30	Steel-2: 0.35	Steel3: 0.55	Rc-0: 0.30	RC-1: 0.85	RC-2: 0.93	Cement-Block: 1
PGA= 450 cm/s <sup>2</sup>	Steel-1: 0.44	Steel-2: 0.53	Steel3: 0.78	Rc-0: 0.44	RC-1: 0.973	RC-2: 1	Cement-Block: 1

## ۶-۲- برآورد تلفات انسانی در محله مورد مطالعه

در مطالعات جایکا برای به دست آوردن تلفات انسانی از روش بنیادی برآورد تلفات کوبرن و همکاران [۱۵] بر اساس رابطه زیر استفاده شد. از آنجاکه این روش برگرفته از ملاحظات آماری خسارت زلزله در سراسر جهان و از جمله ایران است، برای تهران نیز کاربرد دارد اما پارامترهای استفاده شده برای برآورد الزاماً مناسب خصوصیات شهر تهران نیست، بنابراین موارد خسارات ناشی از زلزله‌هایی که در سال‌های اخیر در ایران روی داده است با جزئیات توسط جایکا بررسی شده تا پارامترهای اصلی به دست آید. نتایج این بررسی‌ها برای MMI9 در جدول (۶) از گزارش جایکا استخراج شده است. همچنین تنظیم پارامترهای  $M_3$ ،  $M_4$  و  $M_5$  در جدول فوق ارائه گردیده است. دلیل استفاده از روش جایکا در این مقاله این است که این روش به‌عنوان اولین و جامع‌ترین روش می‌باشد که با همکاری شهرداری تهران اجرایی شده است. با توجه به اینکه پس از زلزله‌های اخیر دقت منحنی‌های خسارت و توابع شکنندگی افزایش یافته است می‌توان روش طبقه‌بندی ساختمان‌ها در این مقاله را در تمامی توابع شکنندگی توسعه یافته استفاده کرد که باعث ارتقاء روش‌های ارزیابی شود.

در رابطه با مقایسه روش پیشنهادی با روش جایکا به افزایش دقت در نتایج اشاره می‌شود. همچنین در قسمت طبقه‌بندی نوع سازه به تفاوت اصلی روش پیشنهادی با روش جایکا اشاره شده است (در روش جایکا تنها نوع سازه (بتنی، فولادی، بنایی) تعداد طبقات و سن سازه ملاک طبقه‌بندی ساختمان‌ها از لحاظ آسیب‌پذیری سازه‌هاست. در روش پیشنهادی علاوه بر این سه آیم، عوامل دیگر بر اساس دستورالعمل ۳۶۴ لحاظ شده است که عبارتند از:

- نامنظمی در ارتفاع
  - نامنظمی در پلان
  - عدم رعایت ویرایش اول ۲۸۰۰
  - رعایت ویرایش اول ۲۸۰۰
  - رعایت ویرایش دوم یا بالاتر ۲۸۰۰
  - نوع خاک از لحاظ تیپ‌بندی آیین‌نامه
  - عدم وجود مشاور ناظر.
- توجه به این موارد موجب دقت بیشتر در طبقه‌بندی ساختمان‌ها و در نتیجه موجب افزایش دقت در برآورد تلفات و خسارات می‌گردد. جدول (۵) از نمودار شکل (۶) برآورد شده و در نتیجه به تلفات انسانی ربط داده می‌شود.

**جدول (۶): تنظیم پارامترهای  $M_3$ ،  $M_4$  و  $M_5$  بر اساس جداول جایکا با شدت مرکالی ۹ به دست آمده [۱۶].**

Steel-1	Steel-2	Steel-3	RC-0	RC-1	RC-2	ساختمان‌های بنایی	
۳	۸	۱۲	۳	۱۵	۱۵	۶۰	$M_3$
۵	۳۰	۵۰	۵	۳۰	۴۰	۲۰	$M_4$
۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	۹۵	بدون امداد
۸۰	۷۰	۶۰	۸۰	۷۰	۶۰	۶۰	امداد مردمی
۳۵	۵۰	۵۰	۳۵	۵۰	۵۰	۵۰	امدادرسانان
۱۵	۳۰	۴۵	۱۵	۳۵	۴۵	۴۵	امداد پیشرفته

و جمعیت هلال احمر صورت می‌گیرد، نسبت امداد در سازه‌های بتن مسلح نوع صفر، نوع یک و فولادی نوع یک زیاد است.

$M_{5d}$ : تلفات پس از فروریزی با امدادرسانی مردمی و

گروه‌های امداد و نیروهای امدادی با تجهیزات پیشرفته؛

فعالیت‌های گروه‌های اضطراری امدادرسانی (شامل فعالیت‌های کشورهای خارجی) با توجه به استفاده از ابزار خاص و سگ‌های امدادرسان متمرکز بر امدادرسانی افرادی است که در ساختمان‌های بزرگ محبوس شده‌اند. این فعالیت‌های امدادرسانی در مورد سازه‌های فلزی نوع یک و بتن مسلح نوع صفر مؤثرند، اما نسبت امدادرسانی آنها در سایر سازه‌ها بسیار کم است. ضرایب  $M_3$ ،  $M_{4d}$  و  $M_5$  با توجه به شدت زلزله ۹ مرکالی و جداول مربوط به جایکا انتخاب می‌شود [۱۸].

### ۳-۶- تنظیم پارامترهای $M_1$ ، $M_2$ ، $M_3$ ، $M_4$ و $M_5$

تعداد جمعیت داخل هر ساختمان برابر با  $M_1 \times M_2$  است، روابط (۲) و (۳) محاسبه جمعیت هر ساختمان را در شب و روز نشان می‌دهد.

$$(۲) \quad (\text{تعداد واحدهای مسکونی ساختمان}) \times (\text{متوسط تعداد افراد خانوار در هر بلوک}) = \text{تعداد افراد داخل ساختمان شب}$$

در رابطه (۲)، متوسط تعداد افراد خانوار در هر بلوک بر اساس اطلاعات آمار سال ۹۰ و بررسی میدانی محاسبه شد.

$$(۳) \quad (\text{جمعیت واحدهای غیرمتعارف}) + (\text{تعداد واحدهای مسکونی ساختمان}) \times (۱) = \text{تعداد افراد داخل ساختمان روز}$$

در رابطه (۳)، در ظهر جمعیت هر واحد ساختمانی یک نفر

تلفات در تعریف عبارت است از افرادی که فقط در نتیجه فروریزی ساختمان کشته می‌شوند:

$$K_s = D_5 \times M_1 \times M_2 \times M_3 \times [M_{1d} + (1 - M_{4d}) \times M_5] \quad (۱)$$

$K_s$ : تلفات انسانی؛  $D_5$ : تعداد ساختمان‌های فروریخته؛  $M_1$ : تعداد افراد داخل ساختمان؛  $M_2$ : درصد حضور افراد در ساختمان در هنگام وقوع زلزله؛  $M_3$ : تعداد ساکنان محبوس در ساختمان‌های فروریخته؛  $M_{4d}$ : نسبت تلفات بلافاصله پس از فروریختن ساختمان‌ها؛  $M_5$ : تلفات پس از فروریختن (نسبت مجروحانی که پس از فروریختن و قبل از امدادرسانی می‌میرند).

تعداد جمعیت داخل هر ساختمان برابر با  $M_1 \times M_2$  است. ضریب  $M_5$ ، با توجه به فعالیت‌های امدادرسانی اضطراری نیز در چهار حالت زیر تعریف می‌شوند:

-  $M_{5a}$ : تلفات بدون هیچ‌گونه امدادرسانی؛

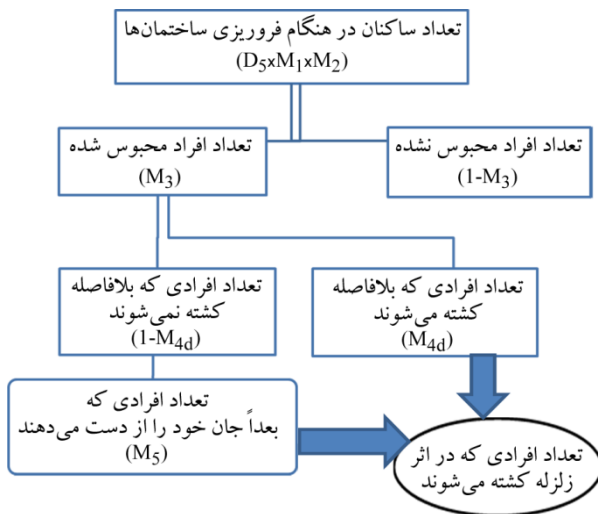
در صورتی که امدادرسانی وجود نداشته باشد، ۹۵ درصد محبوس شدگان به تدریج می‌میرند.

-  $M_{5b}$ : تلفات پس از فروریزی با وجود امدادرسانی مردمی؛

عملیات امدادرسانی توسط ساکنان اغلب فقط با کمک دست انجام می‌شود. این نوع امدادرسانی در سازه‌های چوبی که جابه‌جایی قطعات راحت است، روند امدادرسانی بسیار بالایی است، اما این روند در سازه‌های بلوک و آجری، فولادی و بتن مسلح نوع ۲ به تدریج کاهش می‌یابد.

-  $M_{5c}$ : تلفات پس از فروریزی با عملیات امدادرسانی مردمی و گروه‌های امداد؛

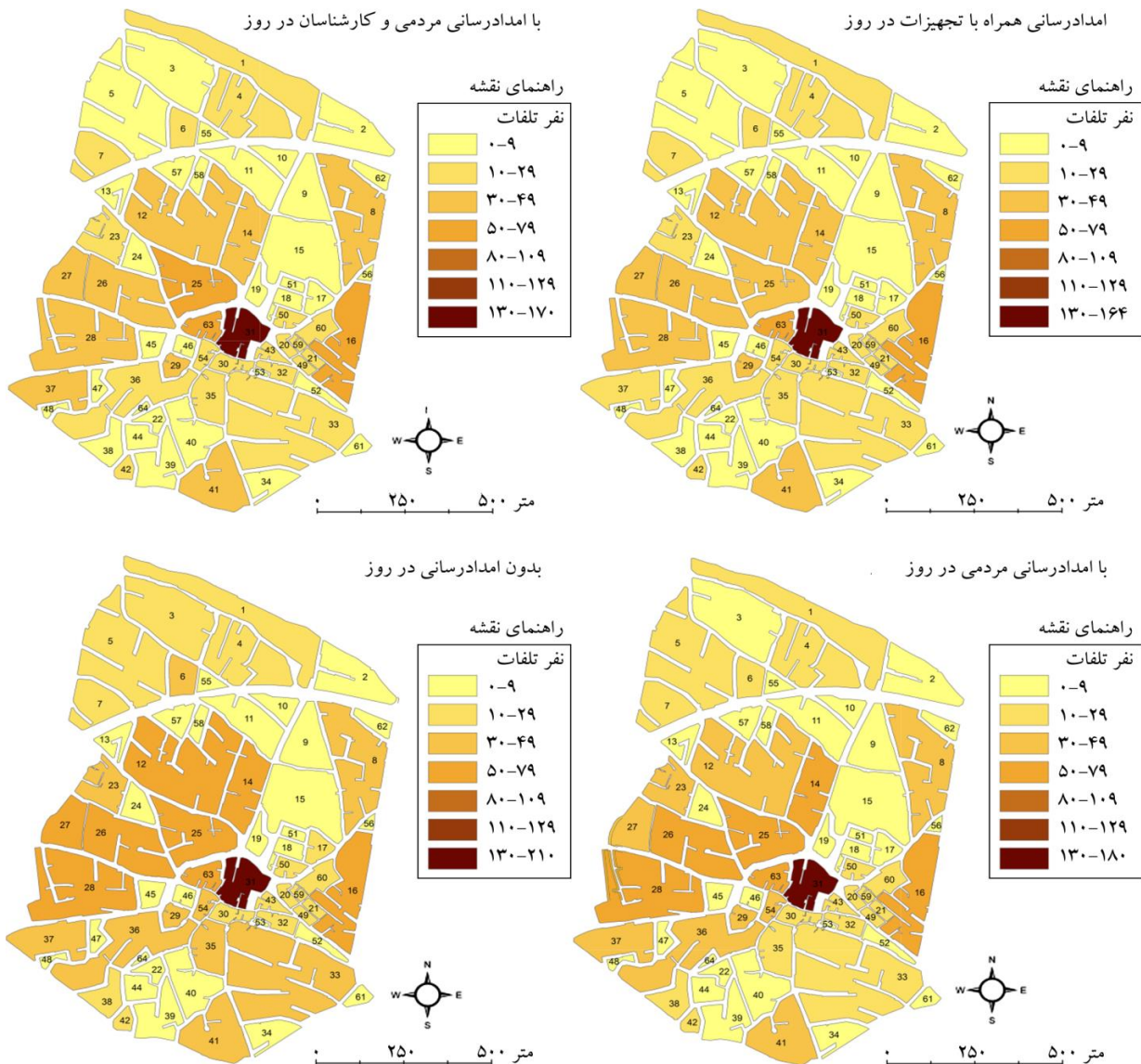
از آنجا که عملیات امدادرسانی توسط گروه‌های آتش‌نشانی



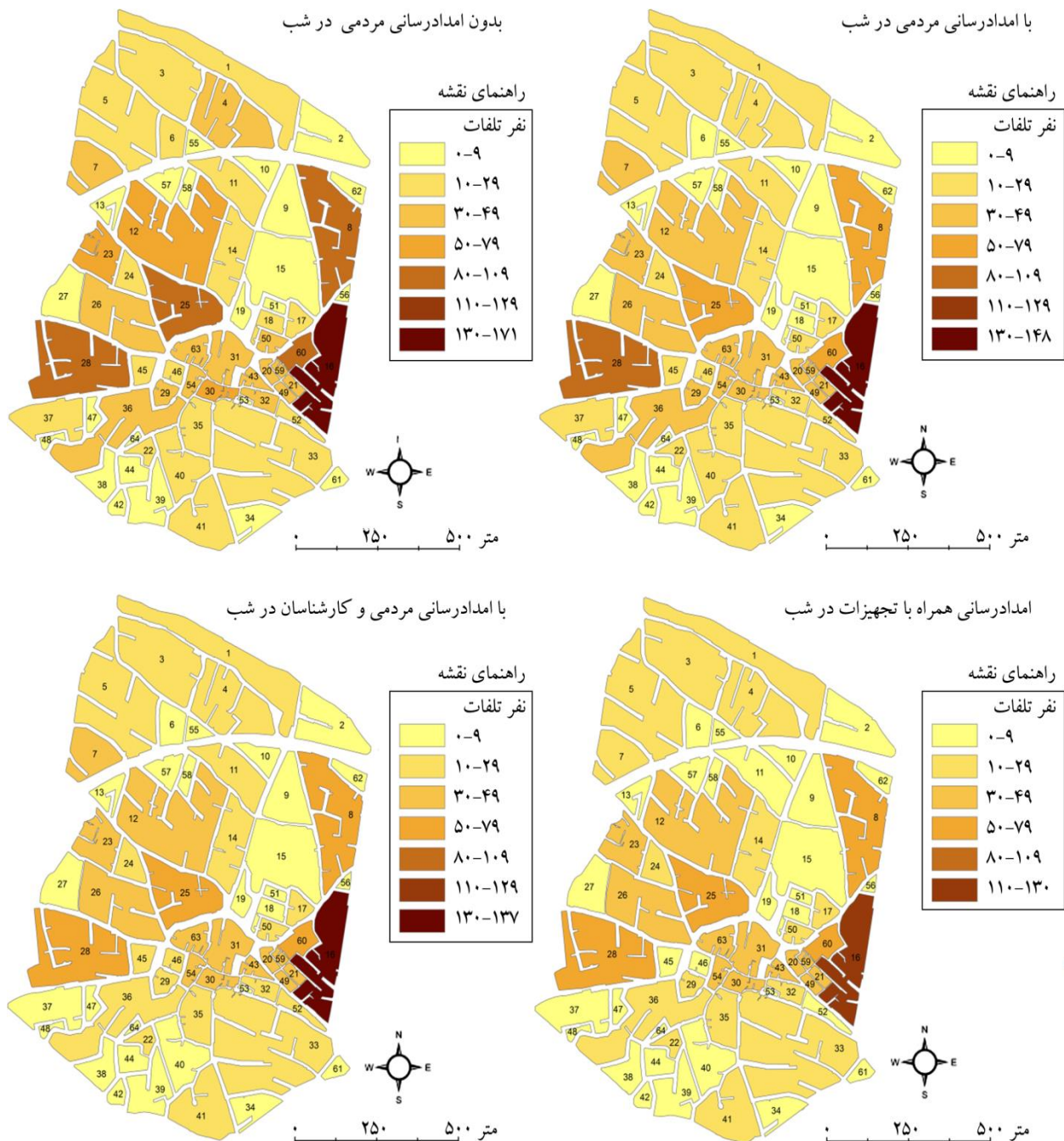
شکل (۷): نمودار برآورد تلفات انسانی.

فرض شده و از جمعیت ساختمان‌های غیر متعارف (مدارس، داروخانه، مساجد و...) برداشت میدانی صورت گرفته است. شکل (۷) نمودار گردشی، روش برآورد تلفات انسانی، برگرفته از ایده کوبرن (۱۹۹۲) می‌باشد. پس از به‌دست آوردن پارامترهای مذکور و با استفاده از رابطه (۱) تعداد تلفات  $K_s$  برای هر بلوک محاسبه شد، شکل‌های (۸) و (۹).

برآورد تعداد تلفات انسانی در محله چیدر در جدول (۷) آمده است. نتایج حاصل از برآورد خسارت ساختمانی و تلفات انسانی به دو روش جایکا و پیشنهادی بر اساس سناریوهای گسل شمال تهران برای ظهر و نیمه‌شب را نشان می‌دهد.



شکل (۸): تعداد کشته‌شدگان هر بلوک، ساعت ۱۲ ظهر در محدوده مورد مطالعه [۲۳].



شکل (۹): تعداد کشته‌شدگان هر بلوک، ساعت ۲ بامداد در محدوده مورد مطالعه [۲۳].

امداد رسانی تلف می‌شوند. با اجرای صحیح امداد رسانی در روش جایکا می‌توان جان ۴۷۵ نفر در شب و ۴۱۵ نفر در روز را نجات داد. بر اساس جدول (۶)، در روش پیشنهادی این نجات جان افراد در روز ۴۳۷ و در شب ۵۰۰ نفر محاسبه می‌گردد که اهمیت امداد و نجات را در شرایط پس از وقوع زلزله نشان می‌دهد.

مقایسه خوبی می‌توان از این دو روش انجام داد. برای مثال، نتایج نسبت تلفات حاصل از روش‌های جایکا و پیشنهادی در بدترین شرایط بدون امداد رسانی، ۲/۸ درصد برای هر دو سناریوی ظهر و شب اختلاف دارند. بر اساس نتایج جایکا، شب و روز به ترتیب حداکثر ۱۶۶۲ و ۱۴۸۲ نفر و برای روش پیشنهادی به ترتیب ۱۷۰۱ و ۱۵۲۵ بدون

جدول (۷): برآورد تعداد تلفات انسانی محدوده مورد مطالعه و درصد آن نسبت به جمعیت محله با شرایط امداد رسانی متفاوت [۲۳].

ساعت ۱۲ ظهر (جمعیت تحت تأثیر ۱۵۱۰۸ نفر)		
شرایط امداد رسانی	منحنی شکنندگی خسارت	
	منحنی جایکا	منحنی پیشنهادی
بدون هیچ گونه امداد رسانی	۱۴۸۲	۱۵۲۵
	٪۹/۸	٪۱۰
امداد رسانی مردمی	۱۲۶۱	۱۲۹۶
	٪۸/۳	٪۸/۵
امداد رسانی مردمی و گروه‌های امداد	۱۱۴۱	۱۱۶۸
	٪۷/۵	٪۷/۷
امداد رسانی مردمی و گروه‌های امداد و نیروهای امدادی با تجهیزات پیشرفته	۱۰۶۷	۱۰۸۸
	٪۷/۱	٪۷/۲
ساعت ۲ بامداد (جمعیت تحت تأثیر ۱۷۶۳۸ نفر)		
شرایط امداد رسانی	منحنی شکنندگی خسارت	
	منحنی جایکا	منحنی پیشنهادی
بدون هیچ گونه امداد رسانی	۱۶۶۲	۱۷۰۱
	٪۹/۴	٪۹/۶
امداد رسانی مردمی	۱۴۱۲	۱۴۴۴
	٪۸	٪۸/۲
امداد رسانی مردمی و گروه‌های امداد	۱۲۷۲	۱۲۹۵
	٪۷/۲	٪۷/۳
امداد رسانی مردمی و گروه‌های امداد و نیروهای امدادی با تجهیزات پیشرفته	۱۱۸۷	۱۲۰۱
	٪۶/۷	٪۶/۸

میزان آسیب پذیری (نسبت تلفات) برآورد شده آنها را تا حدود ۳ درصد تغییر می‌دهد. نتایج همچنین حاکی از آن است که میزان تلفات بدون امداد رسانی در هر دو سناریوی روز و شب به طور متوسط حدود ۳۰ درصد افزایش می‌یابد و امداد رسانی مردمی به تنهایی می‌تواند میزان تلفات را تا حدود ۱۵ درصد کاهش دهد. در ضمن، چنانچه امداد رسانی توسط مردم و گروه‌های امداد سازمانی صورت گیرد، میزان تلفات حدود ۲۴ درصد کاهش می‌یابد و استفاده از تجهیزات پیشرفته در امداد رسانی نیز می‌تواند به میزان حدود ۳۰ درصد به کاهش تلفات منجر شود.

در انتها پیشنهادهایی جهت کاهش ریسک زلزله و بهبود واکنش اضطراری در محله بر اساس اولویت ساختمان‌های تأثیرگذار ارائه می‌گردد [۲۳].

#### ۷-۱- اقدامات کوتاه مدت

- بهبودی ساختمان‌های تأثیرگذار مانند مدارس، درمانگاه‌ها بر اساس اولویت آسیب پذیری لرزه‌ای با توجه به شکل (۴)، یا انتقال تجهیزات به ساختمان‌های دارای سازه مناسب؛
- عقب نشینی بعضی از ساختمان‌ها بر اساس اولویت بهسازی که باعث باریک شدن مقطعی خیابان‌های اصلی می‌گردد؛
- جلوگیری از ساخت و ساز غیرمجاز در قسمت جنوب و شرق محله.

#### ۷-۲- اقدامات میان مدت

- بستن قرارداد با فروشگاه مرکزی و داروخانه شبانه‌روزی چیدر تا در هنگام بحران اقلام را به مکان‌های طراحی شده برسانند. این پیشنهاد دو جنبه مثبت دارد: (۱) هزینه انبار کاهش می‌یابد، (۲) اقلام فاسد نمی‌شوند و همیشه در حال به روز رسانی است؛
- بهبودی و تقویت لرزه‌ای داروخانه شبانه‌روزی و فروشگاه مرکزی چیدر؛
- عدم صدور مجوز کار برای برخی از مدارس و پیش دبستانی کوچک غیرانتفاعی که به شدت آسیب پذیرند؛

#### ۷- نتیجه گیری

واکنش اضطراری پس از زلزله در شهرها از یک سو به میزان آسیب‌های ساختمان‌های بحران‌زا از سوی دیگر به عملکرد مناسب ساختمان‌های خدمات‌رسان بستگی دارد. بر این اساس، با توجه به تأثیرگذاری نقش ساختمان‌ها در مدیریت واکنش اضطراری پس از زلزله ضروری است آنها را شناسایی کرده و مورد ارزیابی دقیق قرار داد. در این مطالعه، تأثیر افزایش دقت برآورد آسیب پذیری ساختمان‌ها در برآورد تلفات انسانی نشان داده شده است. نتایج به دست آمده از این مطالعه به کارگیری روش پیشنهادی برای برآورد آسیب پذیری ساختمان‌های تأثیرگذار در واکنش اضطراری در محله چیدر واقع در منطقه یک تهران نشان می‌دهد که ارتقاء روش ارزیابی ساختمان‌ها

برای برآورد دقیق‌تر میزان خسارات و تلفات احتمالی زلزله از روش پیشنهاد شده در این نوع مطالعات استفاده شود. در واقع، هرچه ساختمان‌های بتنی و فولادی در منطقه مورد مطالعه بیشتر باشد، اختلاف نسبت تلفات بیشتر خود را نشان می‌دهد.

### سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول با عنوان «ارتقای مدیریت واکنش اضطراری در سطح محله با در نظر گرفتن ساختمان‌های تأثیرگذار در شرایط بحرانی» به راهنمایی نویسندگان دوم و سوم است که در رشته مهندسی عمران- مهندسی زلزله/گرایش مدیریت بحران و خطرپذیری در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه و دفاع شده که بدین وسیله از حمایت‌های پژوهشگاه سپاسگزاری می‌گردد.

### مراجع

1. *Detailed Public Census 2011* (2012) Amar Center of Iran.
2. FEMA 154 (2002) *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook*. 2<sup>nd</sup> Ed. The Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.
3. SIA 2018 (2004) *Assessment of Existing Buildings with Respect to Earthquakes (In German)*. Technical Note 2018. Swiss Society of Civil Engineers and Architects, Zurich, Switzerland.
4. VCE Holding GmbH, Austria (2012) A rapid-visual-screening methodology for the seismic vulnerability assessment of historic brick-masonry buildings in Vienna". *15 WCEE*. LISBOA.
5. Flesch, R. Lenhardt, W., and Geier, R. (2005) Earthquake induced damages in Austria - assessment of existing buildings (In German). *Bautechnik*, **82**, 533-538.
6. ÖIBI (2009) Special seminar "Structural assessment for building renovations, (in German) (Spezialseminar "Ingenieurbefund"). Course Material. Vienna University of Technology.
7. Rusnov, B. (2006) *Analysis of Buildings Vulnerable to Earthquakes with Emphasis on Old and Historic*

4. عقب‌نشینی و تعریض برخی از معابر اصلی؛
5. انتقال کاربری‌های تجاری و بازارها که در مرکز محله با بافت فرسوده قرار دارند، به پیرامون محله؛
6. آموزش مدیران و امدادگران و برگزاری مانور با توجه به نقشه‌های به‌دست‌آمده و تقسیم وظایف هر یک از آنها؛
7. آموزش مردم و برگزاری مانورها جهت شناخت مسیرهای ایمن و دسترسی به پایگاه‌ها؛
8. تقویت هلال‌احمر و آموزش افراد داوطلب مردمی.

### ۲-۳- اقدامات بلندمدت

1. انتقال مردم از قسمت مرکز و شرق محله که بافت به‌شدت فرسوده است به ساختمان‌های با استحکام مناسب، پیشنهاد می‌شود بخشی از هزینه این پروژه از طریق جذب توریسم تأمین شود؛ با توجه به قدمت و تاریخی بودن مرکز و شرق محله و وجود جاذبه‌های گردشگری مانند وجود قنات‌ها، خانه‌های تاریخی، امام‌زاده اسماعیل که طراحی متفاوتی و قدمت هزارساله دارد، مسجد محمدیه، راه‌های زیرزمینی موجود از امام‌زاده اسماعیل به امام‌زاده علی‌اکبر و ...؛
  2. بهسازی ساختمان‌های با آسیب‌پذیری زیاد با ارائه وام‌های بدون بهره (شکل ۲)؛
  3. انجام ضوابط سخت‌گیرانه‌تر شهرداری جهت جلوگیری از تغییر کاربری الزامی. در این محله اکثر پارک‌ها تغییر کاربری و جای خود را به برج‌های چندین طبقه داده‌اند، با توجه به باغات بسیار زیاد، به دلیل سودجویی بعضی از افراد احتمال تغییر کاربری وجود دارد؛
  4. تخمین هزینه بهسازی ساختمان‌ها، برآورد تلفات قبل و بعد از بهسازی به روش جدید که ملاک طبقه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای است و می‌توان به‌خوبی تعداد افرادی که پس از بهسازی جانشان نجات پیدا می‌کند، تخمین زده شود. همچنین اولویت‌بخشی تخصیص بودجه به مناطقی که با کمترین هزینه جان افراد بیشتری نجات پیدا می‌کند.
- در انتها، بر اساس نتایج این پژوهش می‌توان توصیه نمود که

- Management Knowledge Quarterly*, 2(2).
19. HAZUS99 (1999) *The Earthquake Loss Estimation Program*. National Institute of Building Sciences (NIBS), Retrieved from <http://gcmd.nasa.gov/records/01-HAZUS-99.html>.
  20. Mansouri, B., Ghaemaghamian, M.R., Amini Hosseini, K., and Govahi, N. (2011) *Developing Seismic Human Loss Model-Case Study: A District of Tehran (Report No. 8006)*. IIEES Publication, Iran.
  21. Supervision Office of Technical and Administration (2007) *Guidelines on Seismic Retrofitting of Existing Unreinforced Buildings*. Magazine No. 376 available on <http://www.omransoft.ir/3125>.
  22. Aghamohammadi, H., Mansourian, A., Mesgari, M.S., and Molaei, D. (2013) Seismic human loss estimation for an earthquake disaster using neural network. *Int. J. Environ. Sci. Technology*, 10, 931-939, DOI 10.1007/s13762-013-0281-5.
  23. Shoghi Kalkhoran, M.H. (2016) *Upgrading the Disaster Emergency Response in the Neighborhood Level Considering the Influential Buildings in Disastrous Situations*. Civil Engr. Disaster Management Dissertation, IIEES, 149p.
  8. *National Research Council of Canada, Institute for Research in Construction (NRCC/IRC) (1992) Manual for screening of buildings for seismic investigation*, Ottawa, Ontario.
  9. Guidelines on quick seismic assessment of existing buildings, Magazine Number 364, Available on <http://tec.mpor.ir>.
  10. Jahangiri, K. and Kheradmand, M. (2015) Assessing the seismic vulnerability and analysis of Ferdos district 5 of Tehran performance in earthquakes. *Sixth International Conference on Integrated Disaster Management*, Tehran.
  11. Behnamfar F. and Shahgholian R. (2015). A comparative study and proposal for enhancement of rapid seismic evaluation of masonry buildings. *Sharif Civil Engineering*, 31-2(3.1), 93-103.
  12. [tdmmo.tehran.ir](http://tdmmo.tehran.ir), Related information on website.
  13. PAHO/WHO (2000) *Principles of Disaster Mitigation in Health Facilities*. DC: Pan American Health Organization and World Health Organization. Washington.
  14. Nateghi-Allahi, F. and Izadkhan, Y.O. (2004) Earthquake mitigation in health facilities in megacity of Tehran. *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*. B.C. Paper No: 3116. Vancouver, Canada.
  15. Coburn A.W., Spence R.J., and Pomonis S.A. (1992) Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse. *Proceedings of the First International Forum on Earthquake-Related Casualties*, Madrid, Spain.
  16. JICA (2000) *The Study on seismic microzoning of the greater Tehran area in the Islamic Republic of Iran*. Centre for Earthquake and Environmental Studies of Tehran (CEST) Tehran Municipality.
  17. Haji Babaie, M. (2014) *A new model for seismic risk assessment in urban fabrics (A case study: Tehran city)*, Ph.D. Dissertation, IIEES.
  18. Keshani, S. and Emami, A.H. (2012) Estimation of seismic damage of Tehran hospitals using HAZUS methodology. *Disaster Prevention and*

#### واژه‌نامه

- 1- شورای فناوری کاربردی (ATC) Applied Technology Council  
 2- غربالگری بصری سریع (RVS) Rapid Visual Screening  
 ساختمان‌ها  
 3- استاندارد جامعه مهندسان و معماران سوئیس Swiss Society of Engineers and Architects (SIA 2018)  
 4- آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) Japan International Cooperation Agency  
 5- بلوک سیمانی Cement block



## Upgrading the Evaluation Methods of Influential Buildings for Post-Earthquake Emergency Response

Mohammad Hossein Shoghi Kalkhoran<sup>1</sup>, Yasamin O. Izadkhah<sup>2\*</sup>, and Mahmood Hosseini<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduate, Risk Management Research Centre, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Risk Management Research Centre, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, \*Corresponding Author, email: izad@iiees.ac.ir
3. Associate Professor, Structural Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran

In the aftermath of a large earthquake many buildings can have either disaster-mitigation or disaster-creation roles depending on the extent of their damage and performance conditions. The success of the emergency response in cities depends on the damage extent of the disaster-creative buildings, on the one hand, and the appropriate performance of the disaster-mitigative buildings, on the other. On this basis, with regard to the effective role of buildings in disaster response management after earthquakes, it is important to recognize and evaluate their roles. In order to evaluate the building damage and casualties, the classification of buildings are done based on the type of the building, number of stories and the age of the building. With regard to the previous earthquakes, in addition to these three factors, some other factors should also be considered in the classification of buildings in order to reach more reliable results. This study was conducted with the aim of upgrading the evaluation method of influential buildings by contributing more factors. A case study was done in selected Chizar neighborhood located in the eighth section of district 1 in capital city of Tehran. For structural vulnerability, guidelines No. 364 (Rapid Visual Screening for potential seismic hazard), was used. JICA and Coburn & Spence methods were utilized for risk assessment and evaluating losses and damages. Based on the results of structural vulnerability, 9% of the buildings had low vulnerability, 6% had medium vulnerability and 33% had relatively high vulnerability. The rest of the buildings were out of the scope of the mentioned guidelines. Victims for night and day in the worst scenario (without emergency assistance) are estimated 9.6% death for night scenario, and 10% death for day scenario. The results showed that in main streets due to the existence of tall buildings and the narrowness of the pathways, there is a threat of route blockage. In case of appropriate emergency disaster response and provisions, 437 people can be saved in day scenario, and 500 in night scenario, respectively.

**Keywords:** Influential Buildings, Emergency Response, Post-Earthquake, Disaster Mitigation, Disaster Creation.