unesco
Category 2 Centre under the auspices of UNESCO
RCECWA
Regional Education and Research Center on Earthquake Risk Management and Resilience for West and Central Asia
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

توسعه مدل تحلیلی و تجربی برای برآورد تلفات انسانی ناشی از فروریزش ساختمانهای غیرمهندسی در زلزله

مرتضی بسطامی
دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه m.bastami@iiees.ac.ir

اسعد موالی‌زاده، محمدرضا سقراط

در این تحقیق، فرایند فروریزش سازه‌های مصالح بنایی تحت زلزله توسط روش ترکیبی اجزاء محدود و اجزاء گسسته به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی می‌شود. روش اجزاء گسسته یک روش تحلیل عددی است که موقعیت و مکان هر جزء در هر لحظه توسط حل معادلات حرکت مشخص می‌شود. در این روش سازه توسط مجموعه‌ای از اجزای مجزا که توسط فنرها و میراگرهای مجازی به هم متصل شده‌اند، مدل می‌شود. ابتدا با مدلسازی نمونه آزمایشگاهی کاربرد این روش صحت‌سنجی می‌شود. سپس به مدلسازی یک ساختمان آجری تحت زلزله‌های مختلف می‌پردازیم و خرابی وارده به سازه توسط شاخص خرابی ارزیابی می‌شود. خرابی وارده به قسمت‌های داخلی توسط معیار w-score 1 و جراحات وارده به جسم انسان که از سقوط اجزای سازه‌ای ناشی می‌شود، توسط معیارهای تلفات ارائه شده در دانش بیومکانیک و مهندسی خودرو، بیان می‌گردد. در مرحله آخر از این روش، ارتباط بین شدت زلزله، خرابی سازه‌ای، خرابی قسمت‌های داخلی و تلفات را مشخص و با یکدیگر مقایسه می‌شوند. مراحل فوق در قالب فصل‌های زیر ارائه می‌شوند:

در فصل اول سازه‌های مصالح بنایی، مروری بر آمارهای گذشته در خصوص میزان تلفات ناشی از ساختمانهای مصالح بنایی می‌شود و در ادامه آسیب‌پذیری این ساختمان‌ها را در زلزله‌های گذشته کشور بررسی شده است و با توجه به بازدیدهای میدانی صورت گرفته، حالات مختلف آسیب این ساختمانها مورد بحث قرار گرفته است. در فصل دوم با عنوان تکنیک‌های موجود در مدلسازی سازه‌های مصالح بنایی، به مباحث زیر پرداخته می‌شود: ترفندهای مدلسازی سازه‌های بنایی، روش‌های آنالیز سازه‌های مصالح بنایی شامل روش‌های پیوسته و گسسته ازجمله روش جسم صلب و فنر، روش تغییر شکل ناپیوسته، روش برخورد دینامیکی غیر هموار، روش المان‌های مجزای اصلاح شده، روش ترکیبی اجزاء محدود و اجزاء گسسته، روش مدل‌های آنالیز محدود و روش المان کاربردی مورد بحث قرار می‌گیرند. در ادامه، نرم‌افزار LS-DYNA معرفی می‌شود و روش‌های تشکیل ترک شامل روش‌های ترک نامعین و روش‌های ترک از پیش تعیین شده در این نرم‌افزار مورد بحث قرار می‌گیرند. در فصل سوم، مراحل ساخت مدل و انتخاب پارامترهای مناسب و همچنین شیوه صحت‌سنجی نتایج بر اساس نتایج آزمایشگاهی بیان می‌شود. صحت‌سنجی‌ها با نتایج بارهای استاتیکی و دینامیکی انجام شده‌اند. در چهارمین فصل، عوامل تأثیرگذار بر میزان تلفات در زلزله شامل متغیرهای وابسته به افراد یا ساکنین، متغیرهای وابسته به ساختمان، متغیرهای لرزه‌ای، میزان آگاهی و آمادگی مردم و شرایط جستجوی افراد تحت ساختمان خراب شده در زلزله و نجات آنها و کمک‌های اولیه پزشکی بررسی می‌شوند. در ادامه، معیارهای سنجش خرابی ساختمان شامل ایندکس خرابی، خرابی وارده به به قسمت

Development of an Analytical and Experimental Model to Estimate Human Casualty Due to the Collapse of Non-Engineering Buildings in an Earthquake

Morteza Bastami
Associate Professor, Structural Engineering Research Center
m.bastami@iiees.ac.ir

Asad Mavalizadeh, Mohammadreza Soghrat

In this research, the collapse process of masonry structures under earthquake is simulated in three dimensions by the combined methods of finite elements and discrete elements. The discrete elements method is a numerical analysis method that determines the position and location of each element at any moment by solving the equations of motion. In this method, a masonry structure is modeled by a set of separate components (i.e. bricks) that are connected by virtual springs and dampers. First, the validity of this method is verified by results of experiment on a laboratory sample. Then, we modelled a masonry building under different earthquakes and evaluated the damage caused to the structure by a damage index.

We presented the damage caused to the internal parts by a score, named w-score 1 criterion and the injuries caused to the human body through falling of structural components by the casualty criteria provided in biomechanics and automotive engineering. In the last stage of this method, relationships between the intensity of the earthquake, structural damage, damage to internal parts and casualties are determined and compared. The above steps are presented in the form of following chapters:

In chapter 1, there is a review of the past statistics regarding the amount of casualties caused by masonry buildings, and then the vulnerability of these buildings in the country's past earthquakes has been examined, and according to the field visits, the different states of damage of this building has been discussed. In chapter 2, the following topics are discussed: tricks of modeling masonry structures, methods of analyzing structures of masonry buildings, including continuous and discrete methods that includes rigid body and spring method, discontinuous deformation method, non-smooth contact dynamics method, extended distinct element method, combined finite-discrete element method, method of limit analysis models and applied element method. In the following, LS-DYNA software is introduced and techniques of crack formation including undetermined crack techniques and predetermined crack techniques are discussed. In

chapter 3, steps of making a model for a masonry building is explained and choosing the appropriate parameters, as well as the method of verifying the results based on the laboratory results, are given in detail. Verifications have been done with the results of static and dynamic tests. Chapter 4 discusses the factors affecting the amount of casualties in an earthquake including variables related to residents, seismic variables, variables related to the building, the level of awareness and preparedness of the people, and conditions of searching for people under the destroyed building in the earthquake and rescuing them, as well as first medical aids. Then, the criteria for measuring building damage, including the damage index and the damage to the interior parts (i.e. infills) are discussed. In the next section, the criteria for measuring human injuries caused by structural damage due to an earthquake are stated, and the criteria for measuring injuries to the head area, the criteria for measuring skull fractures, casualties caused by a direct impact on the chest, casualties caused by chest compression, pelvic area injury criteria, abdominal area injuries and arm and leg area injury criteria, have been discussed. At the end of this chapter, a method is developed to establish a relationship between the collapse of masonry structures and losses caused by it is explained by presenting a numerical example. This method includes the following four steps:

First step: Choosing a building model and analyzing its collapse under earthquake load;

Second step: Calculate the amount and level of damage to the building;

Third step: Calculation of parameters related to casualties;

Fourth step: Calculating the probability of casualties due to failure and loss criteria.

For example, Figure (1) shows a correlation between probability of casualties due to skull fracture and W-Score.

In chapter 5, an empirical relationship based on data from the dual Ahar-Varzaqan earthquakes occurred on 11 August 2012 at 16:53 (Iran standard time) in East Azerbaijan province of Iran is developed. The two earthquakes measured 6.3 and 6.4 on the moment magnitude scale with the second quake occurring 11 minutes after the first. Local reports estimated at least 306 deaths, although official reports stated 229, with more than 3000 injured. Most casualties occurred in rural and mountainous areas. The fatalities from the Ahar-Varzaqan earthquakes have been analyzed and a model is proposed for estimation of fatalities. The model correlates the fatality count and intensity measures or distance parameters. The peak ground acceleration (PGA) in the village was selected as the intensity measure; thus, the recorded or predicted PGA

داخلی بحث می‌شوند. در بخش بعدی، معیارهای سنجش صدمات وارده به انسان ناشی از خرابی سازه ای در اثر زلزله بیان شده است و معیار سنجش صدمات ناحیه سر، معیار سنجش شکستگی جمجمه سر، تلفات ایجاد شده در اثر ضربه مستقیم وارده بر قفسه سینه، تلفات ایجاد شده در اثر فشرده شدن قفسه سینه، معیار سنجش صدمات ناحیه لگن، صدمات ناحیه شکمی و معیار سنجش صدمات ناحیه دست و پا بررسی شده‌اند. در انتهای این فصل، روش توسعه داده شده برای ایجاد ارتباط بین فروریزش سازه‌های بنایی و تلفات ناشی از آن با ارائه یک مثال عددی تشریح شده است. این روش شامل چهار مرحله زیر است:

گام اول: انتخاب یک مدل ساختمان و آنالیز فروریزش آن تحت بار زلزله؛

گام دوم :محاسبه مقدار خرابی وارده به ساختمان؛

گام سوم : محاسبه پارامترهای مرتبط با تلفات؛

گام چهارم: محاسبه احتمال تلفات بر اثر معیارهای خرابی و تلفات.

به عنوان مثال شکل (۱)، ارتباط بین احتمال تلفات بر اثر شکستگی جمجمه و W-Score را نشان می‌دهد.

در ادامه و در فصل پنجم، به ارائه یک روش تجربی برای تخمین تعداد تلفات در اثر زلزله پرداخته شده است. روش ارائه شده برای زلزله سال ۱۳۹۱ اهر-ورزقان اعمال گردید و بر اساس نتایج بدست آمده یک مدل برای برآورد تلفات انسانی ارائه گردید. زلزله‌های دوگانه با بزرگای گشتاوری ۶/۴ و ۶/۳ رخ داد که زلزله دوم یازده دقیقه بعد از زلزله اول رخ داده است. گزارش‌های محلی در حدود ۳۰۶ کشته و بیش از ۳۰۰۰ مجروح را مخابره کردند (اگرچه گزارش‌های رسمی ۲۲۹ نفر کشته را گزارش کرده‌اند). تعداد کشته شده‌های اهر-ورزقان در این مطالعه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند و یک مدل برای تخمین تعداد کشته شده‌ها پیشنهاد می‌شود. مدل پیشنهادی به بررسی ارتباط بین تعداد تلفات و سنجه شدت (در این مطالعه بیشینه شتاب) و یا فاصله می‌پردازند. بنابراین، نیاز به بیشینه شتاب ثبت شده و تخمین زده شده در موقعیت‌هایی که تلفات داریم، می‌باشد. برای تخمین بیشینه شتاب ابتدا از روابط کاهندگی موجود برای تخمین شتاب استفاده می‌شود و نتایج نشان می‌دهد که روابط موجود از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد و بنابراین، یک رابطه ساده در این مطالعه برای تخمین بیشینه شتاب توسعه داده می‌شود. رابطه بین تعداد کشته شده‌ها و بیشینه شتاب یا فاصله با توجه به جنسیت افراد ارزیابی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهد که تعداد کشته شده‌ها دارای ارتباط بهتری با بیشینه شتاب نسبت به فاصله می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خراب سازه‌ای، خرابی قسمت‌های داخلی، تخمین تلفات انسانی، روش اجزاء گسسته، شبیه‌سازی فرایند فروریزش، دانش بیومکانیک، زلزله اهر-ورزقان

in the locations suffering fatalities was required. Available ground motion prediction equations (GMPEs) were first used. Because the GMPEs did not fit the recorded data, a simple GMPE was developed using the equation best fitted to the recorded data. The correlations between the number of fatalities and the PGA or distance from epicenter to village were assessed by gender. The results show that the number of fatalities has a stronger relationship with PGA than distance.

Keywords: Analytical model, Human casualty, Collapse, masonry buildings, Experimental relationship, Earthquake

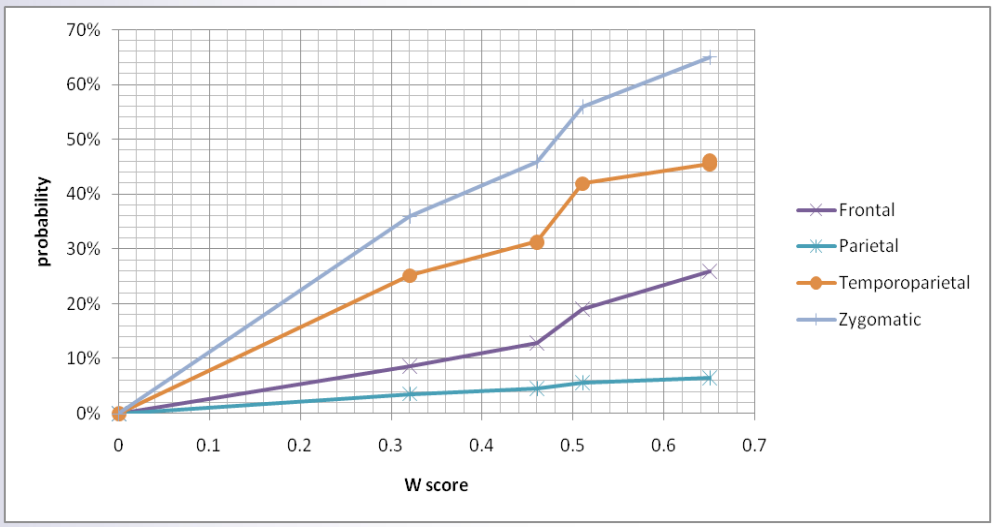

Figure 1: Correlation between probability of casualties due to skull fracture and W-Score