# توسعه مدل تجربی برای برآورد تلفات و خسارات مستقیم اقتصادی ناشی از زلزله به منظور استفاده در سامانه‌های برآورد سریع خسارات

**کامبد امینی حسینی**
*دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران kamini@iiees.ac.ir*

**انوشیروان انصاری، عرفان فیروزی کرمانشاهی**

از جمله نیازهای اصلی مدیران بحران در کشور در پاسخ به تبعات ناشی از زلزله، تخمین اثرات جانی و خسارات اقتصادی ناشی از آن در ساعات اولیه بعد وقوع سانحه می‌باشد. در بسیاری از زلزله‌های رخداده در ایران و جهان، تلفات و خسارات ناشی از سانحه، بخاطر تعلل در ارائه پاسخ به موقع افزایش یافته است. به منظور برآورد اثرات و تبعات زلزله‌های احتمالی، لازم است مدل‌های بومی مبتنی بر شرایط کشور و الگوریتم‌های مناسب محاسباتی برای برآورد تلفات، صدمات، خسارات و پیامدهای زلزله توسعه داده شوند تا در سامانه‌های ارزیابی سریع خسارات و تلفات ناشی از زلزله (نظیر RAISE) مورد استفاده قرار گیرند. بدین منظور در این پروژه، تلاش شده است تا با بررسی ادبیات فنی در این حوزه و بکارگیری روش‌های محاسباتی، مدل‌هایی مناسب و کاربردی برای برآورد تلفات و خسارات ناشی از زلزله ارائه گردد.

با توجه به سطح اطلاعات موجود و نیازهای سامانه (مهم‌ترین نیاز سامانه برآورد مناسبی از تلفات در کوتاهترین زمان ممکن بعد از وقوع حادثه می‌باشد)، در این مطالعه، سه مدل تجربی برای برآورد تلفات انسانی ارائه شده است. در توسعه نخستین مدل تنها از داده‌های زلزله‌هایی استفاده گردید که تؤام با تلفات بوده‌اند. این موضوع سبب گردید که مدل اول توأم با یک خطای سیستماتیک ناشی از کنار گذاشتن داده‌های مربوط به زلزله‌های بدون تلفات باشد. بر این اساس در دومین مدل تجربی علاوه بر در نظر گرفتن زلزله‌های توأم با تلفات، زلزله‌های بدون تلفات نیز در توسعه مدل نهایی مد نظر گرفت. لحاظ نمودن این پارامتر دقت مدل نهایی را تا حدود بسیاری افزایش داد، ولی در نظر نگرفتن عدم قطعیت مربوط به پارامترهای ورودی مسأله مانند تعداد تلفات در زلزله‌های گذشته، مهم‌ترین ایراد وارده به دومین مدل تلفات انسانی بوده است. غالباً تعداد تلفات ناشی از زلزله در حوادث گذشته تؤام با عدم قطعیت می‌باشند و نمی‌توان از یک عدد مطلق به عنوان تعداد تلفات برای یک حادثه (بخصوص حوادث بزرگ) نام برد. بنابراین در توسعه سومین تلفات انسانی، عدم قطعیت مربوط به تلفات انسانی با استفاده از رگرسیون فازی و روش شبیه‌سازی مونته کارلو در محاسبات لحاظ گردید. در شکل (۱)، الگوریتم مد نظر برای رگرسیون فازی ارائه شده است. مدل نهایی در مقایسه با سایر مدل‌های موجود در ادبیات فنی، نرخ تلفات کمتری را ارائه می‌دهد. مدل نهایی برای برخی از زلزله‌های گذشته مانند زلزله بم و اهر–ورزقان مورد راستی آزمایی قرار گرفت. نتایج بیانگر عملکرد مناسب این مدل می‌باشد.

البته باید اذعان نمود که مدل نهایی ارائه شده در این مطالعه نیز به دلیل عدم در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر در تعداد تلفات مانند سن قربانیان، تعداد ساختمانهای تخریبی و غیره دارای عدم قطعیت‌هایی است. با این وجود این مدل نسبت به سایر مدل‌هایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند از کارآیی بهتری برخوردار است و می‌توان از آن برای تخمینی اولیه از تعداد تلفات در

# Development of Empirical Fatality and Economic Loss Model for Implementing in Earthquake Rapid Loss Estimation System

**Kambod Amini Hosseini**
*Associate Professor, Risk Management Research Center*
*kamini@iiees.ac.ir*

**Anooshirvan Ansari, Erfan Firuzi Kermanshahi**

Providing a reliable estimation of fatalities and economic loss after a major earthquake is of great importance for effective emergency response and disaster management. This is a valuable information for decision makers to allocate available resources and facilities in proportion to spatial distribution of casualties and severity of damage. There are several examples of destructive earthquakes in the world and Iran that lack of appropriate emergency response caused further damages and casualties. This shows the importance of developing Earthquake Rapid Loss Estimation systems. One of the most important steps for developing such systems is adopting appropriate algorithms for estimation of fatalities and economic loss. Thus, this project focuses on developing appropriate empirical models to estimate the number of fatalities and economic loss based on seismic characteristic of Iran.

With respect to the lack of necessary information about the types and vulnerability of structures and the basic concept of the rapid loss estimation systems (providing a reliable estimation of fatalities in the first hour aftermath of event), in this study three empirical models for estimating the fatalities were developed. To this end, two reliable databases encompasses the number of fatalities and the affected population in the past earthquakes were compiled (for the events occurred after 1962). In the first fatality model, only the data of fatal earthquakes was used. This issue imposed a systematic bias to the results. The second fatality model was developed based on data of fatal and non-fatal earthquakes of Iran. This procedure significantly improved the results. However, the uncertainties of input parameters were not considered in the second model. In fact, the number of fatalities in strong earthquakes is an unknown parameter. Thus, this uncertainty should be properly considered in the analysis. For considering such uncertainty, the third model was developed using the fuzzy regression and Monte Carlo simulation approach. The general procedure of fuzzy regression using Monte Carlo simulation approach is illustrated in Figure (1). The final model shows the lower value of fatality rate in comparison to available fatality model in literature. The final model has also good compatibility with real data of Bam (2003) and Ahar-Varzaghan (212), Iran earthquakes.

It should be noted that the estimation of fatality is a

سامانه‌های برآورد سریع خسارت استفاده نمود و خروجی‌های آن توسط مدیران بحران قبل از رسیدن گزارش‌های میدانی مورد استفاده قرار گیرد. البته استفاده از این مدل‌ها در بافت شهری تؤام با عدم قطعیت‌های بیشتری است و شاید برای انجام مطالعات مربوط به ارزیابی ریسک لرزه‌ای برای یک منطقه شهری استفاده از مدل‌هایی بر پایه تخریب سازه مناسب‌تر باشد.

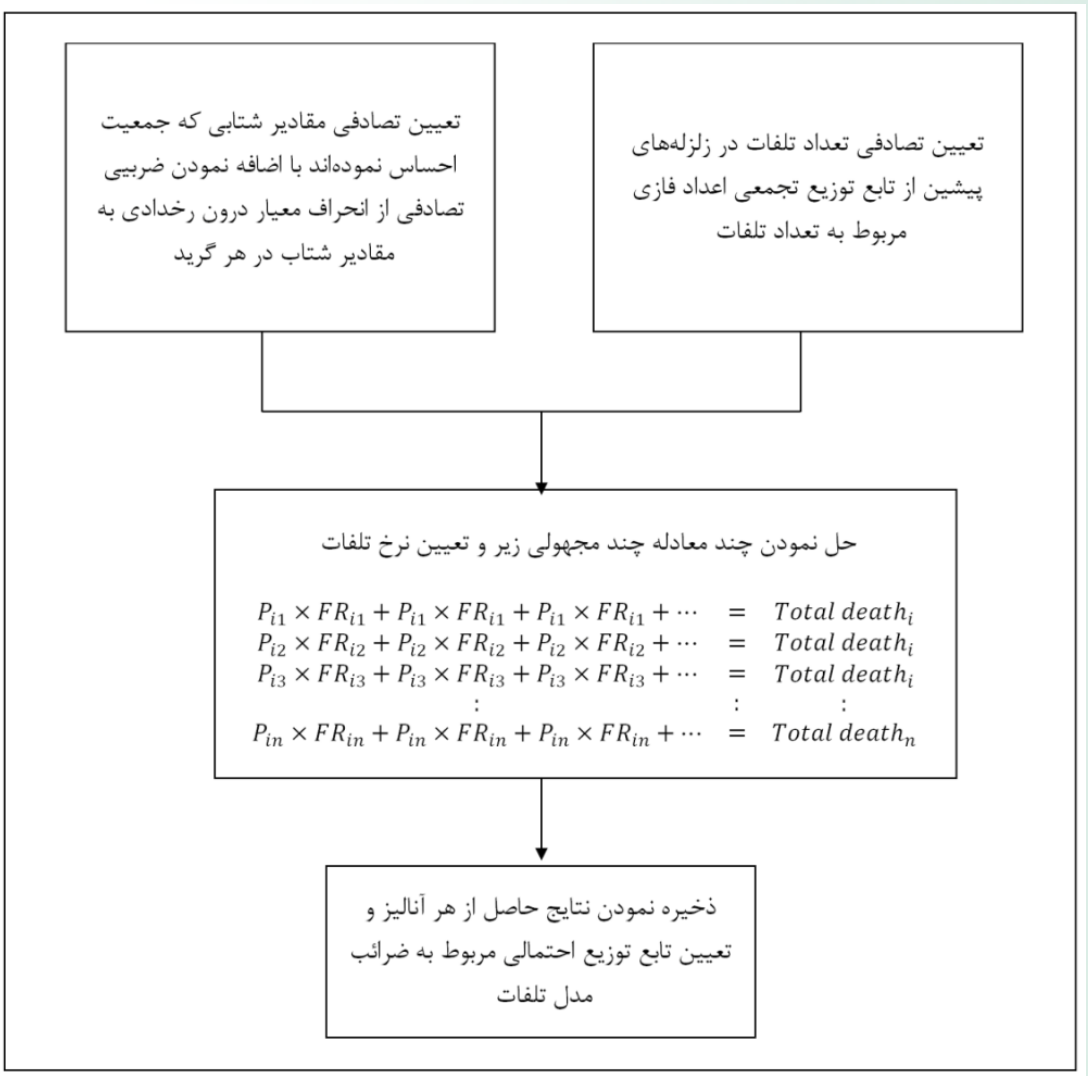
در این پژوهش، همچنین دو مدل برای برآورد زیان‌های اقتصادی ناشی از زلزله نیز ارائه شده است. در مدل نخست که با عنوان روش مستقیم در ادبیات فنی شناخته می‌شود، با تهیه بانک داده قابل اعتمادی از سرمایه در معرض ریسک (داده‌های ساختمانی) و توسعه منحنی‌های شکنندگی و یا آسیب‌پذیری مناسب برای هر دسته، مقدار ریالی خسارت اقتصادی تعیین می‌شود. در این مطالعه، گونه‌های ساختمانی بر اساس مصالح، کیفیت ساخت و ارتفاع به ۱۹ تیپ مختلف تقسیم گردیدند. این تقسیم‌بندی بر اساس سطح اطلاعات موجود از ساختمانها در مقیاس کشوری انجام شده است. از دیگر گامهای اجرایی نمودن این بخش، تهیه بانک داده‌های ساختمانی در شبکه‌های مربعی با ابعاد یک کیلومتر در یک کیلومتر برای کل ایران بود. برای تهیه چنین بانکی، از داده‌های مرکز آمار با تفکیک مکانی در سطح شهر و داده‌های جمعیتی LandScan استفاده شده است. از این مدل به عنوان مطالعه موردی برای برآورد نرخ خسارت سالانه شهر تهران بر اساس روش شبیه‌سازی مونته کارلو استفاده گردید و نتایج حاصله با سایر مطالعات موجود در این زمینه مقایسه گردید. در روش دوم که به عنوان روش غیرمستقیم در ادبیات فنی شناخته می شود، از پارامترهای کلان اقتصادی (تولید ناخالص داخلی) برای برآورد خسارت اقتصادی استفاده شد. فرض اساسی در این روش وجود رابطه مستقیم بین میزان خسارت و اقتصاد یک منطقه می‌باشد. برای توسعه این مدلی بانک داده قابل اعتمادی از خسارت و سرمایه در معرض ریسک از حوادث گذشته تهیه شد. سپس با برازش منحنی با شکل تابعی مناسب، مدلی تجربی برای برآورد خسارت ارائه گردید. البته با توجه به کمبود اطلاعات مربوط به زیان اقتصادی زلزله‌های پیشین، استفاده از این روش تؤام با عدم قطعیت می‌باشد. این عدم قطعیت برای زلزله‌های شهری بیشتر نیز می‌باشد. بنابراین برای زلزله‌های شهری توصیه می گردد که از روش مستقیم برای برآورد خسارت اقتصادی استفاده شود.

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت بحران، سامانه برآورد سریع خسارات، مدل تلفات انسانی، مدل خسارات اقتصادی

complex procedure, and many interdependent factors affect it that should be identified and properly modeled. Therefore, the fatality models are generally associated with lots of uncertainties. Similarly, the proposed fatality model in the present study provides a rough estimation of deaths. However, it is believed that the model can provide an initial number of deaths after strong earthquakes before ground data or information is received.

Also, two models for estimating the economic losses were developed in this study. In the first model, known as direct approach in literature, the economic losses was determined by providing a reliable database of structures and developing appropriate fragility/vulnerability curves. Based on the available information, buildings were categorized into 19 different types based on construction material, quality and height. This classification was done based on the available information about the buildings in national scale. The most reliable information in this regard was provided by Statistical Center of Iran. One of the main challenges of performing this approach was compiling a reliable database on building in grid cells of 1x1 km. For this purpose, the data of Statistical Center of Iran with resolution of city level and the population information of LandScan were used for compiling the building database. The aforementioned model was used for estimating of annual earthquake loss of building in Tehran based on the Monte Carlo simulation Method. In the second approach, known as indirect method in literature, the economic loss was determined based on macro-economic parameters such as GDP. The basic premise of this method is the existence of a direct relationship between losses and the economy of the region. For developing the model, a reliable database of economic losses in past earthquakes was compiled. Then, by assessing the appropriateness of different fictional forms, an empirical model for estimating of economic loss was developed. It should be emphasized that due to lack of information regarding the past seismic events, this model is associated with uncertainties. This issue is more complicated for urban earthquakes. Therefore, using direct approach for quantifying the economic loss in urban region can be recommended.

**Keywords:** Disaster management; Rapid loss estimation systems; Fatality models, Loss models




شکل (۱): فلوچارت محاسباتی برای تعیین ضرائب رگرسیون بر اساس شبیه‌سازی مونته‌کارلو