فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران/ دورهٔ هفتم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۱۳۹۶
Disaster Prevention and Management Knowledge (DPMK)
Quarterly, Vol. 7, No. 4 (Winter 2018)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

بررسی روش‌های مدیریت ریسک لرزه‌ای سرمایه‌گذاری بخش ساختمان در شهرهای لرزه‌خیز با استفاده از رویکرد قابلیت اطمینان در مهندسی زلزله عملکردی

محبوبه پیری‌زاده

استادیار، دانشکده فنی ومهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران (نویسنده مسئول)pirizadeh.m@wtiau.ac.ir

چکیده

زمینه و هدف: مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای با تبدیل آسیب ناشی از زلزله، به مقادیر کمّی خسارات، ضمن ارائه برآورد مناسب از شرایط خطرپذیری موجود، به ارائه راهبردهای مناسب برای کاهش خسارات برای بخش تصمیم‌گیر، اعم از کارفرمای یک پروژه مشخص یا برنامه‌ریزان شهری در سطح کلان می‌پردازد. در مقاله حاضر، کاربرد مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای به عنوان ابزاری برای تسهیل تصمیم‌سازی در مدیریت خطرپذیری سرمایه‌گذاری بخش ساختمان در شهرهای لرزه‌خیز بررسی شده است.

روش: برای این منظور عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان اداری دوازده طبقه فولادی، به عنوان یک نمونه موردی با استفاده از تحلیل قابلیت اطمینان لرزه‌ای، مورد ارزیابی قرار گرفته و سه راهبرد مدیریت خطرپذیری شامل کاهش، انتقال و تلفیق کاهش و انتقال خطرپذیری لرزه‌ای با هدف کاهش خسارات محتمل در طول عمر بهره‌برداری ساختمان و حفظ سرمایه-گذاری بررسی شده است. برای این منظور شاخص درصد اطمینان از تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی در زلزله‌های محتمل در طول عمر بهره‌برداری ساختمان موردنظر به عنوان شاخص مشترکی بین بخش تصمیم‌ساز و تصمیم‌گیر پروژه تعریف شده و تأثیر ارتقای این شاخص از میزان ۴۹٪ در حالت طراحی آیین‌نامه‌ای به میزان ۸۰٪ در حالت اعمال راهبردهای مدیریت خطرپذیری، بر روی کاهش میزان احتمال وقوع خسارات برای سرمایه‌گذار ساختمان سنجیده شده است.

یافته ها: در ساختمان موردبررسی با اعمال شرط دستیابی به درصد اطمینان هشتاد درصدی، برای تأمین هدف عملکردی مورد انتظار از سازه، مطابق آیین‌نامه لرزه‌ای کشور (ایمنی جانی)، میزان خطرپذیری سرمایه کارفرما بین ۲ تا ۲۰ درصد برای سطوح مختلف خسارات محتمل، کاهش یافته است. همچنین استفاده همزمان از دو راهبرد کاهش و انتقال خطرپذیری هم به کاهش پنج تا بیست درصدی احتمال به خطر افتادن سرمایه در سطوح مختلف خسارات و هم به کاهش دوره زمانی توقف در فعالیت اقتصادی ساختمان مورد نظر در زمان بروز زلزله محتمل کمک نموده است.

نتیجه گیری: نتایج مطالعه نشان داده است که پیشنهاد استفاده از شاخص کمّی درصد اطمینان از تامین هدف عملکردی، به تسهیل تصمیم‌سازی، هم برای کارفرما و هم برای بخش سیاستگذار متولی ساخت‌وساز جهت استفاده از راهبردهای مدیریت خطرپذیری با هدف کاهش خسارت و حفظ سرمایه، در بخش ساختمان و مسکن کمک می‌نماید.

واژگان کلیدی: قابلیت اطمینان، مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، مهندسی زلزله عملکردی، خسارت، بیمه زلزله

◀**استناد فارسی (شیوه APA، ویرایش ششم ۲۰۱۰)**: پیری‌زاده، محبوبه (زمستان، ۱۳۹۶)، بررسی روش‌های مدیریت ریسک لرزه‌ای سرمایه‌گذاری بخش ساختمان در شهرهای لرزه‌خیز با استفاده از رویکرد قابلیت اطمینان در مهندسی زلزله عملکردی. *فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۷* (۴)، ۳۴۰-۳۵۱.

The investigation of the Seismic Risk Management Methods of Building Financial Sector in the Seismic Prone Areas by using the Reliability-Based Approach in the Performance Based Seismic Engineering

Mahboobeh Pirizadeh

.Assistant Professor, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, West Tehran Branch, Tehran, Iran

ABSTRACT

Background and objective: Seismic risk management which convert earthquake damages to amounts of damages, providing proper estimation of existing risk conditions while provides appropriate strategies to reduce damages for the decision-making sector, whether employer of a specific project or urban planners At macro level. In this paper, the application of seismic earthquake engineering with seismic reliability approach as a tool for facilitating decision making in risk management of investment in construction sector in seismic cities has been studied.

Method: the seismic performance of a 12-storey steel office building considered as a case study by using seismic reliability analysis; three risk management strategies including reduction, transfer and integration of reduction and transfer seismic risk in order to reduce possible losses in the lifetime of building utilization and investment preservation has been studied. Therefore, the confidence index of providing the level of immune function in the probable earthquakes over the lifetime of the building in question is defined as a common indicator between the decision making and decision maker department of the project and the effect of the improvement of this index from 49% In the design model, an 80% regulatory code has been used to assess the risk of damage to the building investor in the application of risk management strategies.

Findings: In the surveyed building, subject to the requirement of an 80% confidence level, in order to meet the expected performance targets of the structure, according to the seismic regulations of the country (vital security), the risk level of the employer›s capital is dropped between 2% and 20% for the different levels of possible damages. Simultaneous use of both risks of reduction and transfer strategies has also contributed to reducing the probability of a risk to the loss of capital by 5 to 20 percent at different levels of damage and helped to reduce the suspension period in the economic activity of the building at the time of the possible earthquake.

Results: The study results show that the quantitative index of the confidence level of performance objective supply, help to facilitate decision making for both employer and policy makers in construction sector in order to apply the risk management strategies for reducing damages and capital protection in construction sector.

Keywords: Reliability, seismic risk management, performance-based earthquake engineering, loss, earthquake insurance

▶**Citation (APA 6th ed.):** Pirizadeh M. (2018, Winter). The investigation of the Seismic Risk Management Methods of Building Financial Sector in the Seismic Prone Areas by using the Reliability-Based Approach in the Performance Based Seismic Engineering. *Disaster Prevention and Management Knowledge Quarterly (DPMK), 7*(4), 340-351.

مقدمه

از جمله الزامات توسعه پایدار در شهرهای لرزه‌خیز، عملیاتی شدن مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای[1] در برنامه‌ریزی‌های شهری بخش سیاستگذار و دولتی کشور و همچنین در برنامه‌ریزی اقتصادی بخش خصوصی و کارفرمایان در پروژه‌های عمرانی شهری می‌باشد. مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای شهری عبارت از شناسایی و تحلیل امکان وقوع آسیب و خسارت به کلیه المان‌های یک شهر، اعم از شهروندان، ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و شریان‌های حیاتی، قبل از وقوع حوادث طبیعی نظیر زلزله و تصمیم‌سازی برای اجرای سیاست‌های کاهش خطرپذیری، حفظ یا انتقال خطرپذیری و یا گردش خطرپذیری لرزه‌ای می‌باشد (هوشیا و تاکاآکی، ۱۳۹۰). مدیریت خطرپذیری، با کمّیت بخشیدن به خطرپذیری ناشی از زلزله، به صورت خسارت مالی و وضعیت آسیب، باعث می‌شود که تصور شرایط محتمل برای بخش تصمیم‌گیر، اعم از کارفرمای یک پروژه مشخص یا برنامه‌ریزان و مدیران شهری در سطح کلان تسهیل شود. در حال حاضر در بخش کلان سیاستگذاری مدیریت شهری کشور، از استراتژی مدیریت و کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، برای تدوین طرح‌های کلان مانند برنامه جامع کاهش خطرپذیری لرزه‌ای شهری برای کلان‌شهرهایی مانند تهران استفاده شده است و با در نظر گرفتن میزان خطرپذیری لرزه‌ای شهر، راهبردهای کاهش خطرپذیری المان‌های شهری جدیدالاحداث (توسعه آتی شهر)، المان‌های شهری موجود و ارتقاء آگاهی همگانی ارائه می‌شود (شکیب، دردایی و پیری زاده، ۲۰۰۲). لکن عملیاتی شدن این سیاستگذاری‌ها، مستلزم توسعه کاربردی موضوع در سطوح مختلف اجرایی و استفاده از ابزارهای مهندسی مناسب برای تسهیل تصمیم‌سازی اجرای این سیاست‌ها به‌خصوص در مرحله پدیدآوری پروژه‌های عمرانی می‌باشد.

سرمایه‌گذاری در صنعت ساختمان، سالانه حدود ۳۵ درصد سرمایه‌گذاری ملی کشور را تشکیل می‌دهد و عمده این سرمایه‌گذاری در مناطق شهرهای با خطر نسبی لرزه‌خیزی بالای کشور صورت می‌گیرد به‌طوری‌که براساس گزارش اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران (۱۳۹۵)، حدود ۲۵٪ از سرمایه‌گذاری ۲۲۶۶ هزارمیلیارد ریالی انجام شده در سه سال گذشته در بخش مسکن کشور، در شهر تهران به عنوان یکی از لرزه‌خیزترین شهرهای کشور متمرکز بوده است، لذا کاهش خطرپذیری سرمایه‌گذاری در این بخش، وابستگی زیادی به عملیاتی شدن سیاست‌های مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای دارد. برای این منظور، توسعه ادبیات فنی مشترک بین مهندسی زلزله، مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای و مدیریت خطرپذیری سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان، ضروری می‌باشد. با توجه به عدم‌قطعیت‌های فنی موجود در ماهیت نیروی زلزله و فرآیند طراحی ساختمان‌ها، لازم است از ابزارهایی در مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان استفاده شود که قابلیت بیان این عوامل نامعین و غیرقطعی را در طول عمر بهره‌برداری از ساختمان به زبان مشترکی بین مهندسی زلزله و مهندسی خطرپذیری سرمایه (اعم از سرمایه مالی یا انسانی) داشته باشد. برای رفع نیازهای این حوزه، سیر تغییرات علم مهندسی زلزله در دهه‌های اخیر، از قضاوت مهندسی به سمت کمّی کردن تعریف اهداف عملکرد لرزه‌ای مناسب و استفاده کاربردی از علم احتمالات در مهندسی زلزله عملکردی به صورت چشمگیری پیشرفت کرده و استفاده از رویکرد مهندسی قابلیت اطمینان در این علم، به ارزیابی خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها و قضاوت در خصوص برآورده شدن هدف عملکردی لرزه‌ای[2] تعیین شده برای آن‌ها، کمک قابل توجهی نموده است. لکن علیرغم پیشرفت‌های صورت گرفته در حوزه مهندسی زلزله، استفاده از مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای[3] به عنوان یکی از ابزارهایی که امکان تصمیم‌سازی برای مدیریت خطرپذیری را تسهیل می‌نماید، هنوز در ادبیات فنی پروژه‌های شهری به صورت کاربردی شناخته نشده است.

در این مقاله، با هدف بررسی کاربرد مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای در مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای سازه ها، عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان دوازده طبقه با استفاده از روش مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای موردارزیابی قرار گرفته و نحوه کاربرد نتایج در مدیریت خطرپذیری ساختمان موردنظر، با هدف کاهش خسارات آتی و حفظ سرمایه از منظر کارفرما و سرمایه‌گذار پروژه و نیز از منظر بخش کلان سیاستگذار مسکن کشور مورد بحث قرار گرفته است

1. Seismic risk management

2. Seismic performance objectives

3. Reliability-oriented performance-based earthquake engineering

و پیشنهاد استفاده از شاخص درصد اطمینان تأمین هدف عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار به عنوان شاخصی برای تسهیل تصمیم‌سازی برای کاهش خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان یا انتقال خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان موردنظر مورد بررسی قرار گرفته است.

مروری بر مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای

بعد از زلزله سال ۱۹۹۴ میلادی نورثریج، تلاش‌های زیادی برای تغییر رویکرد آیین‌نامه‌های لرزه‌ای از رویکرد مبتنی بر قضاوت مهندسی به رویکرد مبتنی بر تعریف کمّی و احتمالاتی از عملکرد ساختمان‌ها در کلیه زلزله‌های ممکن در طول عمر بهره‌برداری از آن‌ها انجام شده است. با توجه به ماهیت نیروی زلزله که پدیده‌ای با احتمال وقوع بسیار پایین ولی با شدت وقوع بسیار بالا در ساختگاه ساختمان می‌باشد لذا علیرغم اینکه محاسبه احتمال عبور ساختمان از سطوح عملکردی مورد انتظار تحت رخداد زلزله محتمل، امکان درک مناسبی از پتانسیل خسارات و آسیب‌های ممکن در طول عمر سازه را به مهندسان ارائه نموده است، لکن برای بسیاری از تصمیمات مربوط به مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، این اطلاعات کافی نمی‌باشد. به همین جهت، محققانی مانند ون (۲۰۰۱) و جلایر و کرنل (۲۰۰۳)، از مفاهیم مهندسی قابلیت اطمینان برای محاسبه بازه اطمینانی که احتمال عبور سازه از سطح عملکرد مورد نظر کمتر از حد مجاز قرار دارد، استفاده نمودند و برمبنای این بازه اطمینان، روش محاسبه درصد اطمینان از تأمین هدف عملکرد لرزه‌ای مورد انتظار در طول بهره‌برداری ساختمان را با درنظر گرفتن کلیه عدم‌قطعیت‌های موجود در برآورد نیروی زلزله و برآورد نیاز و ظرفیت سازه به دلایل مختلفی مانند تصادفی بودن نیروی زلزله، تغییرات رکورد به رکورد، عدم‌قطعیت‌ها و ساده‌سازی‌های روش‌های تحلیل، فرضیات در برآورد ظرفیت اعضای سازه‌ای و غیره ارائه نمودند. در این روش، احتمال عبور سازه از سطوح عملکرد مشخص تحت کلیه سطوح شدت لرزه‌ای[1] محتمل در ساختگاه سازه، از طریق روش‌های تحلیل سازه‌ای مناسب مانند روش تحلیل دینامیکی فزاینده[2] محاسبه می‌گردد و با در نظر گرفتن کلیه عدم‌قطعیت‌های موجود، درصد اطمینان از عدم ایجاد آسیب مورد نظر و عدم تجاوز ریسک لرزه‌ای از ریسک مجاز مشخص می‌گردد. مراحل روش محاسبه درصد اطمینان از تأمین هدف عملکردی مورد انتظار برای ساختمان‌ها در برابر نیروی زلزله، به شرح ذیل خلاصه گردیده است (جلایر و کرنل، ۲۰۰۳ (ص ۸۴ تا ۸۵) و فما[3]، ۲۰۰۰):

هدف عملکردی مورد انتظار که به معنی برآورده شدن سطح عملکرد لرزه‌ای مشخص در سازه موردنظر در برابر رخداد زلزله با احتمال وقوع معینی است، انتخاب می‌شود و انتظار بر این است که احتمال عبور سازه، از این سطح عملکرد در طول عمر بهره‌برداری از ساختمان موردنظر، کمتر از میزان مشخص شده در هدف عملکردی موردنظر باشد.

شدت لرزه‌ای متناظر با سطح خطر لرزه‌ای مشخص شده در مرحله قبل، از منحنی خطر لرزه‌ای ساختگاه ساختمان مورد نظر که خروجی مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای ساختگاه سازه[4] می‌باشد، خوانده می‌شود.

بر روی سازه مورد نظر، تحلیل دینامیکی فزاینده تحت شتابنگاشت‌های لرزه‌ای سازگار با شرایط ساختگاه سازه، انجام می‌گردد و محدوده کامل پاسخ سازه تحت کلیه سطوح شدت لرزه‌ای ممکن به‌صورت منحنی شدت-پاسخ لرزه‌ای[5] سازه تحت اثر کلیه شتابنگاشت‌های اعمالی استخراج و میانگین‌گیری می‌شود. کلیه سطوح عملکرد لرزه‌ای سازه اعم از سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه[6]، ایمنی جانی[7]، آستانه فروریزش[8] و ناپایداری دینامیکی[9] بر اساس ضوابط فما (۲۰۰۰) بر روی منحنی مشخص می‌گردد و ظرفیت لرزه‌ای متناظر با هر سطح عملکرد برای سازه مورد نظر استخراج می‌گردد. احتمال عبور از هریک از این سطوح عملکرد بر اساس روابط ارائه شده توسط جلایر وکرنل (۲۰۰۳) محاسبه می‌گردد.

پاسخ لرزه‌ای متناظر با شدت لرزه‌ای برآورد شده در بند ۱، از روی منحنی میانه شدت-پاسخ لرزه‌ای سازه خوانده می‌شود و بعد از اعمال ضرایب عدم قطعیت مربوط به پیش‌بینی ظرفیت و

1. Intensity measure (IM)
2. Incremental dynamic analysis (IDA)
3. Federal Emergency Management Agency (FEMA)
4. Probabilistic seismic hazard analysis
5. IDA50% curve
6. Immediate operation (IO) performance level
7. Life safety (LS) performance level
8. Collapse prevention (CP) performance level
9. Global instability (GI) performance level

نیاز لرزه‌ای (UTβ)، و همچنین اثرات تصادفی بودن نیروی زلزله و تغییرات رکورد به رکورد (RCβ، RDβ)، نسبت نیاز لرزه‌ای ضریب‌دار (RDγ) به ظرفیت لرزه‌ای ضریب‌دار (RCφ) سازه مورد نظر محاسبه می‌گردد (Xλ) و مطابق با رابطه ۱، متغیر استاندارد گوسی KX استخراج می‌شود. به این ترتیب با فرض یک توزیع لوگ‌نرمال (گوسی) برای احتمال عبور سازه از سطح عملکرد معین، بازه اطمینانی که احتمال عبور سازه از سطح عملکرد موردنظر کمتر از حد مجاز قرار دارد، تعیین می‌گردد و درصد اطمینان متناظر با تأمین هدف عملکردی موردنظر برای سازه به‌دست می‌آید (X).

رابطه ۱:

$$EXP\left(-\beta_{UT}K_X\right)=\frac{\gamma_R D}{\varphi_R C}=\lambda_X \ \underline{normal\ table}\ X=\Phi(K_X)$$

روش

مهندسی زلزله عملکردی با ترکیب نمودن اطلاعات تحلیل خطر لرزه‌ای ساختگاه ساختمان با اطلاعات تحلیل ظرفیت-نیاز لرزه‌ای ساختمان، امکان ارائه تصویر مناسبی از احتمال شکست یا آسیب در سیستم سازه‌ای و غیرسازه‌ای ساختمان را فراهم نموده است، لکن از این اطلاعات در مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای، معمولاً به صورت احتمال وقوع خسارات در سطوح مختلف عملکردی استفاده می‌شود. برای این منظور، با انجام مطالعات اقتصادی و معادل‌سازی آسیب‌های هر سطح عملکرد با خسارات مالی متناظر، احتمال وقوع سطوح مختلف خسارات لرزه‌ای در طول بهره‌برداری از ساختمان به‌صورت منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان به عنوان خروجی مهندسی زلزله عملکردی استخراج می‌شود (مطابق با روند شکل ۱). براساس این اطلاعات، تصویر کمّی از میزان آسیب‌ها و احتمال وقوع آن‌ها در طول بهره‌برداری از ساختمان مورد نظر برای بخش تصمیم‌ساز، اعم از کارفرما یا سرمایه‌گذار پروژه ساختمانی یا برنامه‌ریزان شهری حوزه شهرسازی فراهم می‌شود و بر حسب میزان ریسک قابل قبول برای بخش تصمیم‌ساز، سیاست کاهش، حفظ یا انتقال خطرپذیری اتخاذ می‌گردد. در اجرای عملیاتی این روند، معمولاً این ابهام برای بخش تصمیم‌ساز مطرح می‌شود که اگر ساختمان مورد نظر شرایط آیین‌نامه‌ای لرزه‌ای کشور را ارضا نماید، آیا می‌توان اطمینان صددرصدی از تأمین هدف عملکردی مورد انتظار آیین‌نامه را ملاک عمل تصمیم‌گیری قرار داد.

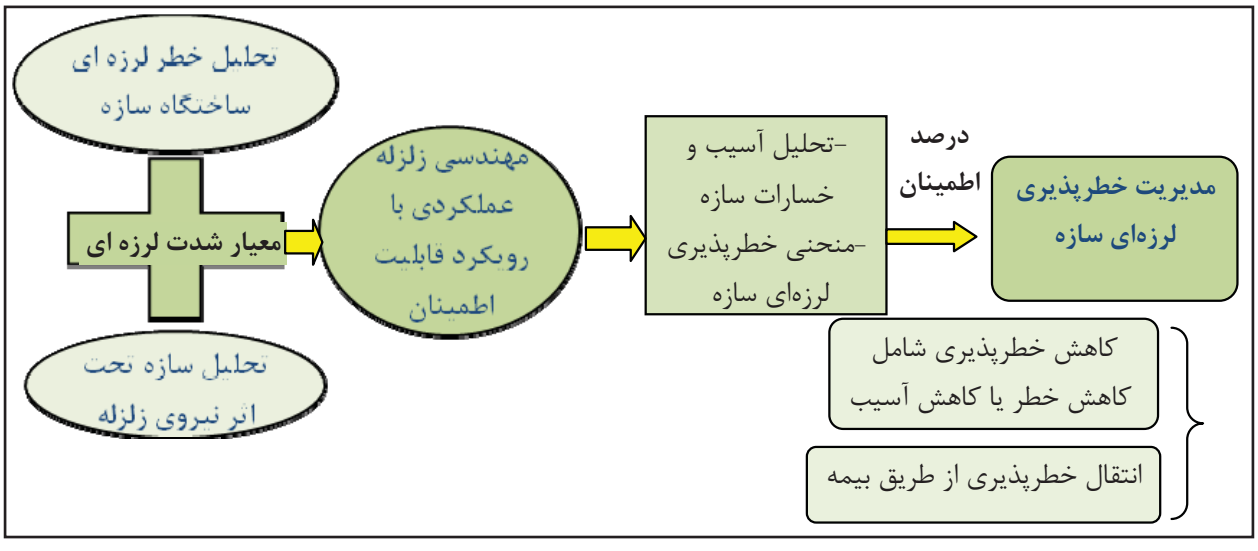
با توجه به اینکه اکثر آیین‌نامه‌های لرزه‌ای موجود مثل استاندارد ۲۸۰۰ ایران (۱۳۹۳) بر حسب دسته‌بندی میزان اهمیت کاربری ساختمان‌های مختلف، الزام به تأمین سطح عملکرد مشخصی مانند سطح عملکرد ایمنی جانی تحت زلزله‌ای با سطح خطر مشخص، مانند زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ سال (با احتمال وقوع ۱۰ درصد در ۵۰ سال) را به عنوان هدف مطرح می‌کنند و با استفاده از روش‌های تحلیلی مبتنی بر نیرو، کنترل‌های لازم برای این موضوع را به عنوان کفایت طراحی سازه تعریف می‌نمایند لذا در طراحی بر طبق آیین‌نامه‌های موجود، به صورت مشخص نمی‌توان اعلام نمود که با درنظر گرفتن کلیه سطوح شدت لرزه‌ای ممکن در طول بهره‌برداری از ساختمان موردنظر، چه میزان بازه اطمینان از تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی در ساختمان مورد نظر وجود خواهد داشت. به همین لحاظ با توجه به توضیحات بخش قبلی، استفاده از رویکرد قابلیت اطمینان، در مهندسی زلزله عملکردی می‌تواند به اندازه‌گیری درصد اطمینان از برآورده شدن اهداف تعیین شده در طراحی و عدم وقوع خرابی در کلیه شرایط لرزه‌ای محتمل در دوره بهره‌برداری ساختمان کمک کند. نحوه استفاده از شاخص درصد اطمینان در روند مدیریت ریسک ساختمان‌ها در قالب یک نمونه موردی در بخش بعدی ارائه می‌گردد.

بررسی مدیریت خطرپذیری یک نمونه موردی با استفاده از رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای

در این بخش، کاربرد مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای در مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای سازه‌ها، در یک نمونه موردی مورد بررسی قرار گرفته است.

برای این منظور، عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان فولادی دوازده طبقه با کاربری اداری واقع در پهنه تجاری-اداری[1] مطابق طرح تفصیلی شهر تهران، براساس روش مهندسی زلزله عملکردی احتمالاتی، مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور رعایت ضوابط معماری ساختمان‌های میان‌مرتبه، مطابق مراجع مصوب شورایعالی شهرسازی و معماری (۱۳۷۷ و ۱۳۸۴)، ساختمان مورد نظر به صورت یک ساختمان دارای عقب رفتگی در ارتفاع[2] مطابق شکل

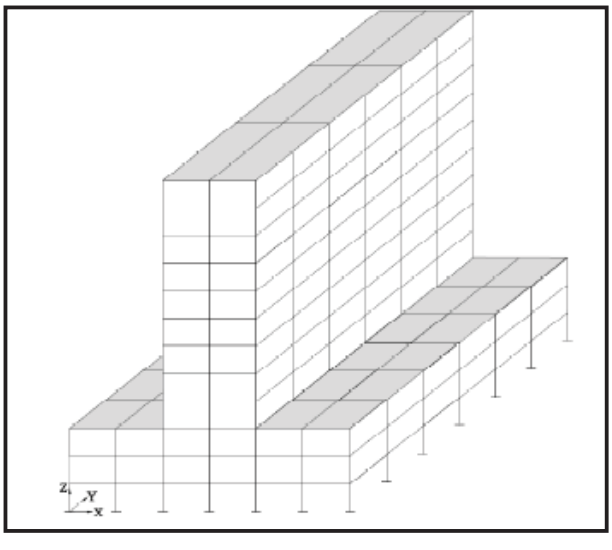
1. S121 zone
2. Setback building



شکل ۱. ارتباط بین مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان با مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای

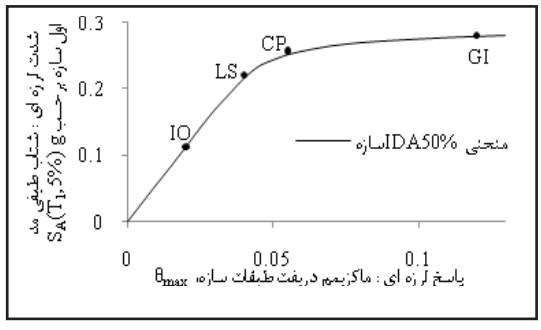
۲ در سال ۱۳۹۲ طراحی شده است. سازه مورد نظر مطابق با ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴)، برای منطقه با خطر نسبی لرزه‌ای بسیار بالا و ساختگاه با خاک نوع II، با اعمال روش تحلیل دینامیکی خطی طراحی شده است. به همین لحاظ با توجه به درجه اهمیت متوسط ساختمان موردنظر، هدف عملکردی مورد انتظار تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی برای زلزله با احتمال وقوع ۱۰٪ در ۵۰ سال (دوره بازگشت ۴۷۵ سال) می‌باشد (هدف عملکردی ایمنی جانی). سیستم باربر جانبی در هر دو جهت سازه، سیستم قاب خمشی فولادی ویژه و سیستم سقف از نوع دال بتنی دوطرفه با دیافراگم صلب می‌باشد. مقاطع ستون‌های طبقات سازه از نوع مقاطع فلزی جعبه‌ای و برای تیرهای طبقات نیز از مقاطع آی پی ای[1] استفاده شده است. زمان تناوب مد اول و مد دوم سازه مورد نظر به ترتیب برابر با ۲/۳ و ۲/۲۸ ثانیه می‌باشد.

در این مطالعه، میزان خطرپذیری لرزه‌ای سازه مورد نظر که به لحاظ ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴) معتبر در زمان احداث آن شرایط قابل قبولی داشته است، مطابق روش ارائه شده در بخش قبلی ارزیابی شده است. برای این منظور، ساختمان مورد نظر در نرم افزار پرفرم[2] (۲۰۰۶) با لحاظ رفتار غیرالاستیک و غیرخطی اعضای سازه‌ای (شامل خمش اتصال گیردار تیر به ستون با ورق بالا و پایین، خمش ستون و چشمه اتصال) مدل‌سازی شده است و سپس، بر روی سازه مورد نظر تحلیل دینامیکی فزاینده تحت بیست شتابنگاشت لرزه‌ای (مطابق جدول ۱) انجام شده است. با انجام میانگین‌گیری بر روی اطلاعات تحلیلی تمام شتابنگاشت‌ها، منحنی میانه شدت لرزه‌ای-پاسخ لرزه‌ای سازه استخراج شده و سطوح عملکرد لرزه‌ای سازه شامل سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه (IO)، ایمنی جانی (LS)، آستانه فروریزش (CP) و ناپایداری دینامیکی (GI) بر روی آن مطابق شکل ۳ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در این تحقیق، از معیار شتاب طیفی مد اول سازه به عنوان معیار شدت لرزه‌ای استفاده شده است تا اثرات تغییرات رکورد به رکورد در روند نتایج ارزیابی به حداقل ممکن برسد.



شکل ۲. نمای سه بعدی از سازه دوازده طبقه

1. IPE sections
2. PERFORM3D

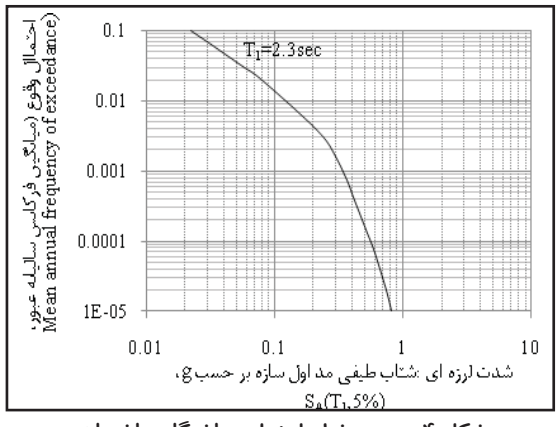


شکل ۳. منحنی میانه شدت لرزه‌ای-پاسخ لرزه‌ای سازه دوازده طبقه

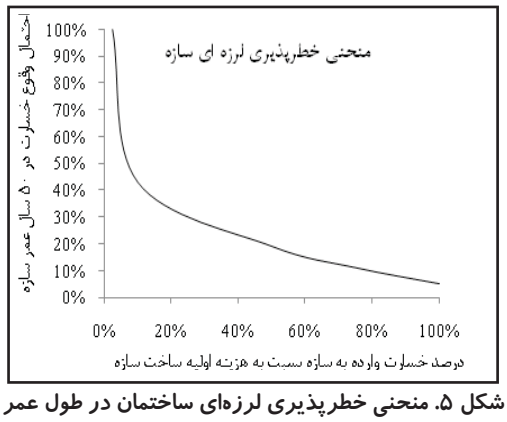
در ادامه با ترکیب نمودن اطلاعات حاصل شده از تحلیل غیرخطی سازه تحت نیروی زلزله با اطلاعات منحنی خطر لرزه‌ای ساختگاه سازه (شکل ۴ مطابق مطالعات تحلیل خطر لرزه‌ای شهر تهران)، احتمال عبور از سطوح مختلف عملکردی در ساختمان مورد نظر در طول عمر بهره‌برداری پنجاه ساله ساختمان مورد نظر محاسبه شده است (براساس روابط ارائه شده توسط جلایر وکرنل (۲۰۰۳). سپس با درنظر گرفتن درصد خسارت متناظر با هریک از سطوح عملکرد مورد نظر، میزان احتمال متناظر با وقوع سطوح مختلف خسارات برای ساختمان مورد نظر به‌دست آمده است. به این ترتیب، منحنی خطرپذیری لرزه‌ای (میزان خسارت-احتمال وقوع خسارت) ساختمان مورد نظر، مطابق شکل ۵ ترسیم شده است. در محور افقی این منحنی، میزان خسارات وارده به ساختمان در اثر کلیه زلزله‌های محتمل در محل سازه نسبت به هزینه ساخت اولیه ساختمان مشخص شده و در محور عمودی نیز احتمال وقوع هر میزان خسارت در طول عمر پنجاه ساله ساختمان ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات شتابنگاشت‌های مورد استفاده در تحلیل دینامیکی فزاینده

شماره رکورد	نام زلزله مربوطه	بزرگا	فاصله تا گسل	شتاب پیک PGA(g)	شماره رکورد	نام زلزله مربوطه	بزرگا	فاصله تا گسل	شتاب پیک PGA(g)
۱	Loma Prieta 1989 (SAGO South-Surface)	(۶,۹) M	۳۴/۷	۰/۰۶۷	۱۱	Loma Prieta 1989 Hollister))	(۶,۹) M	۳۰/۶	۰/۰۶
۲	Northridge 1994 (Baldwin Hills)	(۶,۷) M	۳۱/۳	۰/۱۶۸	۱۲	Northridge 1994 Littlerock))	(۶,۷) M	۴۶/۹	۰/۰۷۲
۳	Northridge 1994 (Leona Valley)	(۶,۷) M	۳۷/۸	۰/۱۰۶	۱۳	Avag, Iran,2002 (Darsejin)	(۶,۵)M	۴۰/۰	۰/۰۸
۴	Duzce, Turkey 1999 (Sakarya)	(۷,۱) M	۴۹/۹	۰/۰۱۶	۱۴	Duzce, Turkey 1999 Lamont))	(۷,۱) M	۲۷/۴	۰/۰۴۲
۵	Duzce, Turkey 1999 (Mecidiyekoy)	(۷,۴) M	۶۲/۳	۰/۰۶۵	۱۵	Northridge 1994 Castaic))	(۶,۷) M	۲۲/۶	۰/۴۷۶
۶	Loma Prieta 1989 (Fremont-Mission)	(۶,۹) M	۴۳/۱	۰/۱۲۴	۱۶	Landers 1992 (River-side Airport)	(۷,۳) M	۹۶/۴	۰/۰۴۳
۷	Loma Prieta 1989 Woodside))	(۶,۹) M	۳۹/۹	۰/۰۸۲	۱۷	San Fernando 1971 (Lake Hughes)	(۶,۶) M	۲۰/۳	۰/۲۸۳
۸	Avag, Iran,2002 (Abegarm)	(۶,۵)M	۳۳/۳	۰/۱۵۲	۱۸	San Fernando 1971 (Castaic)	(۶,۶) M	۲۴/۲	۰/۲۶۸
۹	Northridge 1994 Duarte))	(۶,۷) M	۵۱/۶	۰/۰۷۹	۱۹	Northridge 1994 Lake Hughes))	(۶,۷) M	۳۲/۳	۰/۰۶۳
۱۰	Morgan Hill 1984 (Corralitos)	(۶,۲)M	۲۲/۷	۰/۱۱۵	۲۰	Northridge 1994 Pacific Palisades))	(۶,۷) M	۳۲/۳	۰/۱۹۷



شکل ۴. منحنی خطر لرزه‌ای ساختگاه ساختمان



شکل ۵. منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان در طول عمر بهره‌برداری

مطابق اطلاعات منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان مورد نظر، میزان ریسک خسارت پیش‌بینی شده برای سرمایه‌گذار پروژه با توجه به خطر لرزه‌ای محتمل در محل ساختگاه سازه و میزان ظرفیت لرزه‌ای تأمین شده در سازه مورد نظر برآورد شده است. برای نمونه، در طول عمر پنجاه ساله ساختمان با احتمال نزدیک به ۲۰٪ پیش‌بینی شده است که خسارت ۵۰ درصدی در ساختمان مورد نظر رخ داده و در نتیجه نصف سرمایه‌گذاری انجام شده برای ساخت سازه از دست برود. حال با فرض اینکه سرمایه‌گذار پروژه، مدیریت بهره‌برداری کاربری اداری ساختمان مورد نظر را نیز بر عهده داشته باشد، لذا وی علاقه‌مند خواهد بود که تا حد امکان، سرمایه‌گذاری اولیه و فعالیت اقتصادی مورد استفاده در ساختمان را حفظ نماید، لذا از دیدگاه وی، حداقل شدن خسارات محتمل در طول عمر سازه، از طریق راهکارهایی که به لحاظ منفعت اقتصادی نیز بهینه باشد، اولویت دارد (مدیریت خطرپذیری سازه). برای این منظور علاوه بر تبدیل نتایج فنی ارزیابی لرزه‌ای به مفاهیم ریسک سرمایه‌گذاری، نیازمند استفاده از ابزارهایی هستیم که به تسهیل تصمیم‌سازی منجر شود که در این تحقیق، از ابزار درصد اطمینان استفاده می‌شود. برای این منظور، با کمک اطلاعات حاصل شده در تحلیل دینامیکی فزاینده بر روی سازه، روش تحلیل قابلیت اطمینان لرزه‌ای (مطابق توضیحات بخش قبلی-رابطه‌ی ۱) پیاده‌سازی شده است. نتیجه تحلیل، حاکی از این است که درصد اطمینان از تأمین هدف عملکردی ایمنی جانی برای این سازه مطابق با رابطه‌ی ۲ برابر با ۴۹٪ به‌دست آمده است.

رابطه ۲:

$$EXP\left(-0.28\times K_X\right)=\frac{\gamma_R D}{\varphi_R C}=1.01\Rightarrow K_X=$$

$$-0.03\underline{normal\ table}\ X=\Phi(-0.03)=49\%$$

یافته‌ها

علیرغم قابل قبول بودن طراحی لرزه‌ای سازه مورد نظر از نظر ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴) معتبر در زمان احداث، لکن اطمینان صددرصدی از تأمین هدف عملکردی ایمنی جانی برای کارفرما با توجه به عدم قطعیت‌های موجود در روش طراحی، تحلیل و اجرای سازه و تصادفی بودن ماهیت زلزله فراهم نمی‌باشد. به این ترتیب به صورت متناظر در خصوص اطلاعات منحنی خطرپذیری لرزه‌ای (میزان خسارت-احتمال وقوع خسارت) سازه نیز به میزان ۴۹٪ می‌توان اطمینان یافت که میزان خسارات پیش‌بینی شده و احتمال رخداد هر خسارت فراتر از اعداد پیش‌بینی شده در منحنی خطرپذیری لرزه‌ای نخواهد بود. حال مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای سازه مورد نظر از منظر کارفرما، زمانی به اهداف خود خواهد رسید که هم اطلاعات منحنی خطرپذیری لرزه‌ای نشان‌دهنده به حداقل رسیدن ریسک سرمایه‌گذاری اولیه و حداکثر بهره‌برداری بدون وقفه در طول عمر پروژه باشد و هم اینکه درصد اطمینان عدم تجاوز از این اطلاعات به حداکثر ممکن برسد. برای این منظور، راهبردهای مختلف مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان مورد نظر به شرح ذیل مورد بررسی قرار گرفته است:

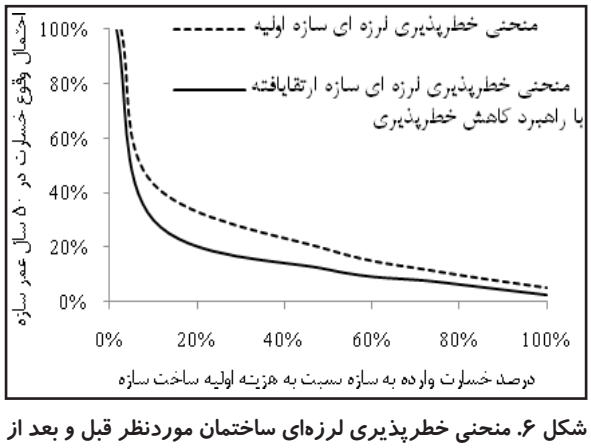
الف) راهبرد کاهش خطرپذیری لرزه‌ای سازه:

در راهبرد کاهش خطرپذیری لرزه‌ای عمدتاً از دو راهکار کاهش خطر لرزه‌ای و کاهش آسیب لرزه‌ای استفاده می‌شود. راهکار کاهش خطر لرزه‌ای معمولاً به دلیل محدودیت‌های موجود، یک راهکار عملیاتی برای کارفرما و سرمایه‌گذار پروژه نیست لکن در صورتی که این راهکار در برنامه‌ریزی‌های مدیریت شهری و بخش سیاست‌گذار متولی ساخت‌وساز مورد توجه قرار بگیرد می‌تواند به صورت غیرمستقیم منجر به کاهش خطر لرزه‌ای در مرحله پدیدآوری ساختمان‌ها و سایر المان‌های شهری گردد (مانند سیاست تناسب بین الزامات کاربری و ضوابط معماری با سطح خطر لرزه‌ای شهر، الزام به رعایت محدودیت‌های ویژه در پهنه‌های گسلی شهر، تدقیق نقشه‌های ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهر و توسعه نقشه‌های خطر ریسک محور و غیره) (شکیب، دردایی و پیری زاده، ۲۰۰۲. لکن در راهکار دوم که راهکار کاهش آسیب لرزه‌ای ساختمان است، هم کارفرما و سرمایه‌گذار و هم بخش سیاست‌گذار می‌توانند تاثیرگذار باشند. این راهکار از منظر کارفرما و سرمایه‌گذار، با هدف کاهش میزان خسارت اقتصادی و خسارت ناشی از توقف فعالیت وارده و همچنین کاهش احتمال وقوع میزان معینی از خسارت به وی مورد توجه قرار می‌گیرد. لکن ادبیات فنی موضوع در بخش مهندسی زلزله عملکردی، عبارت از کاهش آسیب در سطوح عملکردی مختلف تحت زلزله‌های محتمل در ساختگاه سازه می‌باشد که از طریق

راهکارهایی مانند مطالعات ویژه در طراحی و ارتقای روش اجرای سازه و یا مقاوم‌سازی اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای ساختمان موجود و بستر آن عملیاتی می‌گردد. در این تحقیق، پیشنهاد استفاده از یک مبنای کمّی مشترک بین بخش تصمیم‌ساز (تیم تخصصی طراحی و اجرا) و بخش تصمیم‌گیر (سرمایه‌گذار و کارفرما) برای کاهش آسیب لرزه‌ای و دستیابی به کاهش خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور، از راهکار ارتقای درصد اطمینان تأمین هدف عملکردی پیش‌بینی شده برای سازه، به عنوان مبنای کمّی برای تصمیم‌گیری کارفرما یا سرمایه‌گذار پروژه برای کاهش خطرپذیری ساختمان مورد نظر استفاده می‌شود.

با توجه به اینکه بر اساس نتایج تحلیل، قابلیت اطمینان لرزه‌ای بر روی ساختمان مورد نظر مطابق توضیحات بخش قبلی، درصد اطمینان از تأمین هدف عملکردی ایمنی جانی برای این سازه برابر با ۴۹٪ به‌دست آمده است و میزان خسارات پیش‌بینی شده و احتمال رخداد هر خسارت در طول عمر بهره‌برداری از ساختمان مطابق منحنی خطرپذیری لرزه‌ای در اختیار بخش تصمیم‌گیر (کارفرما و سرمایه‌گذار) قرار گرفته است لذا در ادامه، دستیابی به درصد اطمینان هشتاد درصدی برای تأمین هدف عملکردی مورد انتظار از سازه مطابق آیین‌نامه لرزه‌ای کشور (ایمنی جانی) به عنوان یک شرط جدید مشترک بین بخش تصمیم‌ساز و تصمیم‌گیر پروژه مورد توافق قرار می‌گیرد و بر این اساس مرحله طراحی ساختمان مورد نظر مورد بازنگری قرار می‌گیرد. با اعمال این شرط جدید و اعمال تغییرات در طراحی ساختمان مورد نظر، میزان هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای ساخت سازه حدود ۵ درصد نسبت به حالت قبلی افزایش می‌یابد لکن درمقابل، اعمال این راهکار باعث جابه‌جا شدن منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان به سمت پایین و راست در سازهٔ مقاوم‌شده جدید نسبت به حالت قبلی می‌گردد (مطابق شکل ۶). بررسی منحنی خطرپذیری لرزه‌ای سازه در شرایط جدید حاکی از این است که میزان احتمال وقوع خسارات بیش از ده درصدی به سرمایه‌گذاری اولیه پروژه در طول عمر بهره‌برداری پنجاه ساله از پروژه بین ۱۰ تا ۲۰ درصد نسبت به شرایط قبلی کاهش یافته است. همچنین به ازای یک احتمال وقوع مشخص رخداد خسارت، میزان خسارات وارده به سرمایه‌گذاری اولیه پروژه در حالت جدید بین ۲ تا ۲۵ درصد نسبت به حالت قبلی کاهش یافته است که بیشترین میزان کاهش در رخداد خسارات غیرمحتمل‌تر (خسارات ناشی از زلزله‌های بزرگ) رخ داده است. به این ترتیب علیرغم اینکه هر دو سازه به لحاظ شرایط آیین‌نامه‌ای شرایط قابل قبولی دارند لکن با کمک رویکرد قابلیت اطمینان و استفاده از شاخص کمّی درصد اطمینان از تأمین هدف عملکردی، راهبرد کاهش خطرپذیری سرمایه‌گذاری پروژه و کاهش خسارت و کاهش احتمال وقوع خسارات برای کارفرما قابل تحقق است.

لازم به ذکر است که استفاده از رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای می‌تواند در تصمیم‌سازی بخش سیاست‌گذار متولی ساخت‌وساز نیز برای راهبرد کاهش خطرپذیری لرزه‌ای در مقیاس شهری کاربرد داشته باشد. برای مثال در نمونهٔ مورد بررسی، ضوابط معماری و شهرسازی میان‌مرتبه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی باعث سوق دادن طراح به شکل‌گیری سازه دارای نامنظمی هندسی در ارتفاع شده است و این موضوع زمینه افت درصد اطمینان تأمین هدف عملکردی ایمنی جانی در این سازه نسبت به سازه منظم متناظر را فراهم است (شکیب و پیری زاده، ۱۳۹۴ و ۲۰۱۴) به همین لحاظ، در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری مراجع کنترل ساختمان، می‌توان از رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای برای الزامی نمودن ضوابط و محدودیت‌های ویژه برای ساختمان‌های با شرایط خاص (به لحاظ فرم، ارتفاع، نوع کاربری و غیره) استفاده نمود و به راهبرد کاهش خطرپذیری لرزه‌ای شهر کمک نمود.



شکل ۶. منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان موردنظر قبل و بعد از اعمال راهبرد کاهش خطرپذیری

ب) راهبرد انتقال خطرپذیری لرزه‌ای سازه:

در راهبرد انتقال خطرپذیری، خسارات محتمل توسط بیمه یا دولت

پوشش داده می‌شود. در این راهبرد، آسیب رخ می‌دهد اما خسارات به جای اینکه به کارفرما تحمیل شود، از طریق راهکارهایی مانند بیمه زلزله، از وی منتقل می‌شود. تجارب بیمه زلزله در کشور ژاپن حاکی از این است که اصلاحات مکرری در پنجاه سال گذشته در قانون بیمه این کشور با توجه به تجربیات خسارات زلزله‌های مختلف مانند کوبه در سال ۱۹۹۵ و نیگاتا در سال ۲۰۰۴ میلادی و همچنین پیشرفت علم مهندسی زلزله و مهندسی ریسک اعمال شده است به نحوی که در آخرین اصلاحات اعمال شده در سال ۲۰۰۹ میلادی، تعیین نرخ حق بیمه بر مبنای مطالعات ارزیابی فنی آسیب‌پذیری و خطرپذیری سازه انجام شده و با توجه به هدف عملکردی و میزان مقاومت سازه و نوع تکنولوژی ساخت، تخفیفات بر نرخ حق بیمه اعمال می‌شود. سیر اصلاحی سازوکار بیمه زلزله به سمت حصول اهدافی مانند ارتقاء کیفیت ساخت‌وساز، افزایش انگیزه مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، شفاف‌سازی نحوه تعیین خسارات، ذخیره سرمایه‌گذاری حق بیمه برای جبران خسارت سال‌های آتی و اخذ پوشش بیمه اتکایی بین‌المللی در حال تکمیل است (بسطامی، ۱۳۸۹). در کشور ایران بیمه‌نامه مستقل زلزله وجود نداشته بلکه بیمه زلزله جزو پوشش تبعی بیمه آتش‌سوزی می‌باشد. نرخ حق بیمه زلزله در کشور نیز به دو عامل محل ساختمان و نوع ساختمان بستگی دارد. در مورد محل سازه، کشور به دو ناحیه با خطر نسبی لرزه‌ای متفاوت تقسیم شده و از لحاظ نوع سازه نیز ساختمان‌ها به سه نوع سازه شامل بتنی و فولادی، مصالح بنایی و ساختمان‌های مطابق با آیین‌نامه ۲۸۰۰ (۱۳۹۳) تقسیم شده است. به این ترتیب برای نمونه حق بیمه دو ساختمان، که هر دو مطابق ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ (۱۳۹۳) طراحی و اجرا شده‌اند اما بر اساس ارزیابی خطرپذیری، درصد اطمینان متفاوتی جهت تأمین هدف عملکردی مورد انتظار داشته باشند، به صورت یکسان محاسبه می‌شود. البته در حال حاضر امکان پوشش‌های خاص با توجه به مطالعات ریسک در شرکت‌های بیمه خصوصی فراهم شده است، لکن به صورت عمومی نیاز به استفاده از تجربیات کشورهای لرزه‌خیز مانند ژاپن و اصلاح قوانین بیمه زلزله جهت توجه شرکت بیمه و بیمه‌گذار به منحنی خطرپذیری لرزه‌ای سازه و میزان خسارت و احتمال وقوع آن به منظور تأمین منافع و جبران خسارات آتی وجود دارد.

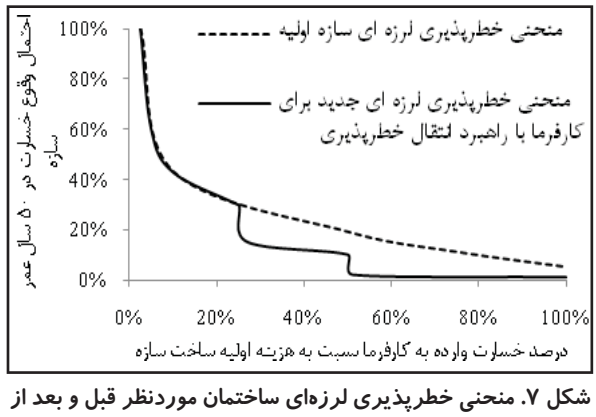
راهبرد انتقال خطرپذیری در صورتی می‌تواند به کاهش ریسک سرمایه‌گذاری در بخش ساختمان کمک کند که بتواند منافع سرمایه‌گذاری هر دو طرف بیمه‌گذار وبیمه‌گر را تأمین کند. بنابراین روش صحیح استفاده از این راهبرد عبارت از انجام مطالعات خطرپذیری و برآورد خطرپذیری موجود و سپس تدوین یک مدل مالی برای انتقال خطرپذیری بین بیمه‌گذار و بیمه‌گر می‌باشد. در صورتی که این فرآیند به صورت کامل طی شود معمولاً زمانی استفاده از بیمه و هزینه‌های مترتب برآن توجیه‌پذیر است که میزان خسارات محتمل در طول عمر پروژه خارج از توان مالی بیمه‌گذار باشد. به همین لحاظ معمولاً این برآورد منجر به تعیین حد پایینی برای حفظ خسارات متحمل برای کارفرما و تعیین حد بالایی از خسارات جهت انتقال آن به بیمه می‌شود.

به این ترتیب در ساختمان مورد بررسی، یک مدل انتقال خسارت پیشنهادی که هم منافع کارفرما و هم منافع بیمه را تأمین می‌کند به شرح ذیل تعیین شده است:

- خسارات تا ۲۵٪ ارزش ساختمان توسط کارفرما حفظ می‌گردد.
- خسارات بین ۲۵٪ تا ۵۰٪ ارزش ساختمان بیمه شده به صورت مساوی بین کارفرما وشرکت بیمه تقسیم شده و لذا ۵۰٪ این خسارات به شرکت بیمه منتقل می‌شود.
- خسارات بالای ۵۰ درصد به طور کامل به شرکت بیمه منتقل می‌شود.

به این ترتیب با اجرای این مدل برای راهبرد انتقال خطرپذیری، منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان مطابق شکل ۷ استخراج شده است. مطابق این منحنی، میزان احتمال وقوع رخداد خسارات شدید در طول عمر ساختمان مورد نظر و به خطر افتادن سرمایه‌گذاری اولیه پروژه، کاهش ۵۰ تا ۱۰۰ درصدی نسبت به حالت اولیه خواهد داشت لکن دو مسأله همچنان می‌تواند ریسک سرمایه‌گذاری پروژه را تحت تأثیر قرار دهد. مسأله اول این است که در این راهبرد، علیرغم اینکه ریسک سرمایه‌گذاری ساخت ساختمان از طریق بیمه از سرمایه‌گذار پروژه به شرکت بیمه منتقل شده است لکن به دلیل اینکه این کاهش ریسک منجر به کاهش آسیب به سازه در زلزله‌های شدید نشده است لذا ریسک خسارات ناشی از توقف بهره‌برداری از ساختمان مورد نظر به‌خصوص در خصوص

کاربری‌های تجاری و اداری همچنان وجود دارد. مسأله دوم نیز در خصوص درصد اطمینان عدم تجاوز از اطلاعات منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان می‌باشد که در حالت اعمال راهبرد انتقال خطرپذیری، همچنان درصد اطمینان برابر ۴۹٪ برای ساختمان مورد نظر باقی مانده است. درحالیکه مشابه راهبرد کاهش خطر که در بند قبل مورد بحث قرار گرفت در این راهبرد نیز کسب اطمینان حداکثری از عدم تجاوز خسارات و احتمال وقوع خسارات از میزان پیش‌بینی شده هم از منظر کارفرما و هم از منظر بیمه‌گر، حایز اهمیت جهت تصمیم‌گیری مدل مالی انتقال خسارت است و عدم توجه به این موضوع می‌تواند فرآیند جبران خسارت و منافع اقتصادی بیمه‌گذار و بیمه‌گر را تحت تأثیر قرار دهد.



شکل ۷. منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان موردنظر قبل و بعد از اعمال راهبرد انتقال خطرپذیری

ج) تلفیق راهبرد کاهش و انتقال خطرپذیری لرزه‌ای سازه:

در بند قبل در راهبرد انتقال خطرپذیری لرزه‌ای، مشاهده شد که علیرغم اینکه با استفاده از این راهبرد، میزان خطرپذیری مالی سرمایه‌گذاری اولیه کارفرما کاهش می‌یابد ولی به‌دلیل اینکه این راهبرد به کاهش آسیب سازه‌ای محتمل برای ساختمان و حفظ عملکرد و کاربری ساختمان در زمان وقوع زلزله منجر نمی‌شود، لذا خسارات ثانویه ناشی از توقف فعالیت اقتصادی و از دست دادن بازار سرمایه می‌تواند همچنان برای کارفرما قابل توجه باشد. ضمن اینکه دوره بازگشت به وضعیت قبل از وقوع زلزله و احیای فعالیت اقتصادی برای کارفرما طولانی خواهد بود. به همین لحاظ، تلفیق دو راهبرد قبلی شامل راهبرد کاهش خطرپذیری و راهبرد انتقال خطرپذیری به صورت همزمان می‌تواند هم به حفظ سرمایه کارفرما و هم به کاهش دوره زمانی توقف در فعالیت اقتصادی وی در زمان بروز حوادث طبیعی محتمل در طول عمر سرمایه‌گذاری منجر شود. به همین لحاظ، تلفیق دو راهبرد قبلی برای مدیریت خطرپذیری ساختمان مورد بررسی استفاده شده است و ضمن ارتقای درصد اطمینان تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی از ۴۹٪ به ۸۰٪، مدل انتقال ۵۰ درصدی خسارات متوسط و انتقال کامل خسارات شدید به شرکت بیمه نیز اعمال شده است. منحنی خطرپذیری لرزه‌ای سازه در حالت تلفیق دو راهبرد نسبت به حالت سازه اولیه در شکل ۷ نشان داده شده است. مطابق این منحنی، احتمال به خطر افتادن سرمایه در کلیه سطوح خسارات و به خصوص در خسارات بالای پنجاه درصد برای کارفرما کاهش قابل توجهی یافته است. برای نمونه، میزان احتمال وقوع خسارت ۵۰ درصدی در سازه مورد نظر با استفاده از راهبرد تلفیقی، کاهش حدود ۱۵ درصدی نسبت به حالت اولیه نشان می‌دهد. درحالیکه میزان کاهش مورد نظر در راهبرد کاهش و انتقال خطرپذیری به ترتیب برابر ۷ و ۹ درصد بوده است. علاوه بر این، میزان خسارات وارده به کارفرما در زمان وقوع زلزله‌های بسیار شدید (بیشینه محتمل) به میزان قابل توجهی (بین ۲۰ تا ۵۰ درصد) نسبت به سازه اولیه کاهش یافته است. لازم به ذکر است که با استفاده از راهبرد تلفیقی، میزان هزینه‌های مترتب برای حق بیمه نیز کاهش حدود پنجاه درصدی نسبت به حالت راهبرد انتقال خطرپذیری بند قبل داشته است زیرا منحنی خطرپذیری لرزه‌ای سازه ارتقاء یافته با راهبرد کاهش خطرپذیری حاکی از ریسک پایین‌تری از وقوع سطوح مختلف خسارات برای شرکت بیمه نسبت به منحنی سازه اولیه بوده است.

شکل ۸. منحنی خطرپذیری لرزه‌ای ساختمان موردنظر قبل و بعد از اعمال راهبرد تلفیقی کاهش و انتقال خطرپذیری

نتیجه‌گیری

در این مقاله، کاربرد مهندسی زلزله عملکردی با رویکرد قابلیت اطمینان لرزه‌ای در مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای سرمایه‌گذاری بخش ساختمان مورد بررسی قرار گرفت و نحوه استفاده از ابزارهای مشترک بین مهندسی زلزله و مدیریت سرمایه‌گذاری جهت تسهیل تصمیم‌سازی مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای پروژه‌های ساختمانی مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور، پیشنهاد استفاده از شاخص درصد اطمینان تأمین هدف عملکردی لرزه‌ای مورد انتظار به عنوان شاخص کمّی برای مدیریت کاهش احتمال وقوع خسارات در طول عمر بهره‌برداری از یک ساختمان دوازده طبقه به عنوان یک نمونه موردی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحلیل قابلیت اطمینان لرزه‌ای بر روی ساختمان مورد بررسی نشان داد که علیرغم اینکه این ساختمان از نظر آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (۱۳۸۴) معتبر در زمان احداث خود، طراحی لرزه‌ای قابل قبولی داشته است لکن با توجه به مسائلی مانند فرم سازه (نامنظمی در ارتفاع) و با درنظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های موجود در روش طراحی، تحلیل و اجرای سازه و تصادفی بودن ماهیت زلزله، میزان اطمینان از تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی در زلزله محتمل با دوره بازگشت ۴۷۵ سال در طول دوره عمر بهره‌برداری از این ساختمان، در حدود ۴۹٪ می‌باشد. همچنین با بررسی کلیه آسیب‌های سازه‌ای محتمل در اثر کلیه سطوح زلزله‌های محتمل در طول عمر ساختمان مورد نظر، میزان خطرپذیری سرمایه و منافع کارفرما و سرمایه‌گذار پروژه در طول دوره بهره‌برداری و استفاده از کاربری اقتصادی ساختمان مورد نظر قابل توجه برآورد گردید. به همین لحاظ برای مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای سازه مورد نظر سه راهبرد کاهش خطرپذیری، انتقال خطرپذیری و تلفیق کاهش و انتقال خطرپذیری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله به شرح ذیل خلاصه شده است:

رویکرد قابلیت اطمینان و استفاده از شاخص کمّی درصد اطمینان از تأمین هدف عملکردی، منجر به تسهیل تصمیم‌سازی هم برای کارفرما و هم برای بخش سیاست‌گذار متولی ساخت‌وساز جهت استفاده از راهبردهای مدیریت خطرپذیری و کاهش خسارت گردید. در ساختمان مورد بررسی با اعمال شرط دستیابی به درصد اطمینان هشتاد درصدی برای تأمین هدف عملکردی مورد انتظار از سازه مطابق آیین‌نامه لرزه‌ای کشور (ایمنی جانی)، منحنی خطرپذیری لرزه‌ای سازه اولیه به سمت کاهش میزان خسارت و کاهش احتمال وقوع خسارات جابه‌جا گردیده و میزان خطرپذیری سرمایه کارفرما بین ۲ تا ۲۰ درصد برای سطوح مختلف خسارات محتمل کاهش یافته است. استفاده از این روش در سطح کلان، برای دسته‌بندی مشخصی از ساختمان‌ها می‌تواند به راهبرد کاهش خطرپذیری لرزه‌ای شهر از منظر مدیریت سیاست‌گذار شهری منجر شود.

استفاده از راهبرد انتقال خطرپذیری لرزه‌ای در سازه مورد نظر از طریق ابزار بیمه، نشان داد که این راهبرد به کاهش میزان خطرپذیری مالی سرمایه‌گذاری اولیه کارفرما (بین ۲ تا ۲۰ درصد برای سطوح خسارات بالای ۲۵٪ ارزش سازه) کمک نموده است. لکن با توجه به اینکه این راهبرد به کاهش آسیب سازه‌ای محتمل برای ساختمان و حفظ عملکرد و کاربری ساختمان در زمان وقوع زلزله منجر نگردیده، لذا خسارات ثانویه ناشی از توقف فعالیت اقتصادی و طولانی شدن دوره بازگشت به وضعیت قبل از وقوع زلزله و احیای فعالیت اقتصادی همچنان برای کارفرما باقی خواهد ماند.

استفاده از دو راهبرد کاهش خطرپذیری و راهبرد انتقال خطرپذیری به صورت همزمان، مزیت حفظ سرمایه کارفرما و مزیت کاهش دوره زمانی توقف، در فعالیت اقتصادی وی در زمان بروز زلزله محتمل در طول عمر سازه را نشان داده و احتمال به خطر افتادن سرمایه در این راهبرد، برای کلیه سطوح خسارات و به‌خصوص در خسارات بالای پنجاه درصد، کاهش بین ۵ تا ۲۰ درصدی را در پی داشت و میزان خسارات وارده به کارفرما در زمان وقوع زلزله‌های بسیار شدید به میزان قابل توجهی (بین ۲۰ تا ۵۰ درصد) نسبت به سازه اولیه کاهش یافته است.

منابع

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی تهران (۱۳۹۵). وضعیت برخی متغیرهای بخش ساختمان به نقل از نماگرهای بانک مرکزی، بازیابی از: .http://www.tccim.ir/images/Docs/TCCIMirBizReport_144.pdf

بسطامی، مرتضی (۱۳۸۹). مروری بر توسعه بیمه زلزله در ژاپن برای بخش ساختمان و مسکن، تهران: پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال سیزدهم، شماره سوم و چهارم.

پیری‌زاده، محبوبه؛ شکیب، حمزه (۱۳۹۴). بررسی ضوابط میان‌مرتبه سازی و بلندمرتبه‌سازی از منظر مدیریت کاهش خطرپذیری لرزه‌ای، تهران: هفتمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. بازیابی از: http://www.iiees.ac.ir/fa/wp-content/uploads/2011/.../aut_win_89_6.pdf

شورایعالی شهرسازی و معماری ایران. (۱۳۷۷). ضوابط احداث ساختمان‌های شش طبقه و بیشتر، تهران: انتشارات پردازش و برنامه‌ریزی شهری.

شورایعالی شهرسازی و معماری ایران. (۱۳۸۶). سند اصلی طرح راهبردی- ساختاری توسعه و عمران شهری- طرح جامع شهر تهران، تهران: انتشارات وزارت راه وشهرسازی.

کمیته دایمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله. (۱۳۸۴). آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ـ استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش سوم، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

کمیته دایمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان در برابر زلزله. (۱۳۹۳). آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ـ استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم، تهران: انتشارات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

هوشیا، ماسارو؛ تاکاآکی، ناکامورا (۱۳۹۰). مدیریت خطرپذیری لرزه‌ای در سازه‌ها (افشین کلانتری، مترجم)، انتشارات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (نشر اثر اصلی ۱۹۹۰).

Computers and Structures Inc. (CSI) (2006). Nonlinear analysis and performance assessment of structures- user guide. PERFORM-3D (Version 4.0.3), Berkeley, CA: Computers and Structures Inc.

Federal Emergency Management Agency. (2000). Recommended seismic design criteria for new steel moment-frame buildings. FEMA 350, Washington, DC: U.S. Federal Emergency Management Agency.

Jalayer, F., and Cornell, C. A. (2003). A technical framework for probability-based demand and capacity factor design (DCFD) seismic formats. PEER Rep. No. 2003/08, Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering Center. Retrieved from: https://peer.berkeley.edu/publications/peer_reports/reports_2003/0308.pdf

Shakib, H., Dardaei, S., & Pirizadeh, M. (2011). A proposed seismic risk reduction program for the mega city of Tehran, Iran. Journal of Natural Hazards Review, 12(3): 140-145. Retrieved from: http://dx.doi.org/ 10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000042

Shakib, H., & Pirizadeh, M. (2014). Probabilistic Seismic Performance Assessment of Setback Buildings under Bidirectional Excitation, Journal of Structural Engineering, 140(2): 140-145. Retrieved from: http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000835

Wen, Y. K. (2001). Reliability and performance-based design. Structural Safety, 23: 407–428. Retrieved from: https://doi.org/10.1016/S0167-4730(02)00011-5