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

ارزیابی لرزه‌ای شبکه‌های شریان حیاتی بر مبنای نظریه مقادیر کرانگین

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

افشین فلاح، شاهین برزو

شبکه‌های شریان حیاتی سامانه‌هایی با سطح خدمت‌رسانی گسترده هستند که عملکرد مطلوب آنها در بحران‌های شدید، متضمن کاهش خسارات مستقیم و غیرمستقیم در کل جامعه است. ارزیابی لرزه‌ای شبکه‌های شریانی مبتنی بر دو روش، سناریوهای انتخابی توسط کاربر یا سناریوهای تولیدشده با روش مونت‌کارلو است. بزرگترین مشکل روش سناریوهای انتخابی توسط کاربر، انتخاب تعداد سناریوها و بزرگای آن با توجه به مشخصات شبکه موردنظر است. به این نحو که در مواجهه با شبکه جدید، تأثیر انتخاب تعداد و بزرگای سناریوها بر نتایج تحلیل شبکه موردنظر نامشخص است و کاربر از پیامدهای انتخاب خود آگاهی کافی ندارد.

در تولید سناریوهای لرزه‌ای با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی هم‌چون مونت‌کارلو، تعداد زیادی سناریو برای تحلیل شبکه تولید می‌شود که هزینه محاسباتی زیادی به همراه دارد و علاوه بر آن بسیاری از سناریوهای تولیدی دارای شدت اثر کمی هستند. از این‌رو به جای استفاده از همه سناریوها، می‌بایست برای تحلیل شبکه از سناریوهایی استفاده نمود که دارای درجه اهمیت بیشتری در تحلیل شبکه هستند. این سناریوهای لرزه‌ای که از آنها به‌عنوان سناریوهای بحرانی یاد می‌شود، اصولاً سناریوهایی هستند که دارای احتمال وقوع پایین‌تر و دارای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر هستند. به همین منظور در این پژوهش، برای انتخاب سناریوهای بحرانی، استفاده از نظریه مقادیر کرانگین پیشنهاد شده است. این نظریه به تحلیل مجموعه مشاهدات با احتمال رخداد پایین و دوره بازگشت طولانی می‌پردازد. در خانواده مقادیر کرانگین از دو توزیع رایج مقادیر کرانگین تعمیم‌یافته (GEV)، برای ماکسیمم‌های انتخاب‌شده از دسته‌های با بازه زمانی یکسان و توزیع پارتو تعمیم‌یافته (GPD)، برای مقادیر بالاتر از یک آستانه خاص، می‌توان نام برد.

در پژوهش حاضر، با استفاده از توزیع GPD، یک روش انتخاب سناریوهای بحرانی در تحلیل لرزه‌ای شبکه‌های شریانی ارائه شده است. این روش با انتخاب سناریوهای بحرانی، هزینه‌های محاسباتی در تحلیل شبکه‌های شریانی را کاهش داده است. روش ارائه شده بر روی یک شبکه فرضی با ۳ پل، دو شبکه ۲۶تایی و ۷۷ تایی از پلهای تهران اعمال و بررسی شده است. روش ارائه شده از طریق بررسی شاخص خرابی پلها و منحنی خطر ارزیابی شده است.

در بخش آخر پژوهش، با استفاده از مدل‌های چندجمله‌ای به مدلسازی همبستگی فضایی احتمالات خرابی در شبکه‌های شریانی پرداخته شده است. علاوه بر همبستگی در شدت‌های جنبش زمین، همبستگی متقاطع احتمالات خرابی در گره‌های یک شبکه شریانی و همبستگی متقاطع مابین پنج سطح خرابی (بدون خرابی، کم، متوسط، شدید و کامل) در هر گره (پل) در نظر گرفته شده است. نتایج در دو حالت همبسته و مستقل بررسی شده است. در این بررسی، میزان افزایش زمان سفر (زمان تاخیر) به عنوان پارامتر عملکردی شبکه انتخاب شده است. بررسی مقادیر افزایش زمان سفر موردنظر برای

Seismic Risk Assessment of Lifeline Networks Using Extreme Value Theory

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

Afshin Fallah, Shahin Borzoo

Lifeline networks are systems with a wide range of service levels, that their optimal performance in extreme events ensures the reduction of direct and indirect losses to the society. The seismic assessment of lifeline networks is based on two methods: user-defined scenarios and conventional Monte Carlo simulation of earthquake scenarios. The biggest criticism of the method of user-defined scenarios are the selection of the number of scenarios and its magnitude according to the change of the type and dimensions of the desired network. In the face of a new network, the effect of selecting the number and magnitude of scenarios on the results of the seismic analysis of the desired network is unclear and the user is insufficiently aware of the consequences of his choosing.

In the simulation of seismic scenarios using simulation methods such as Monte Carlo, a large number of scenarios are generated for network analysis, which has a high computational cost, and also many of them have low affect intensity. Therefore, instead of using all scenarios, those that are more important in network analysis must be used. These scenarios are named as extreme scenarios with a low probability of exceedance and large return period. Therefore, in this study, the use of extreme value theory is proposed to select extreme scenarios. This theory focuses on observations with a low probability of exceedance and large return periods. In the family of extreme values, there are two common distributions: generalized extreme value (GEV) distribution for maximum values of blocks with the same time interval and the generalized Pareto distribution (GPD) for values above a determined threshold. In this study, a novel method to select extreme scenarios for seismic assessment of lifeline networks is proposed. This method using the selection of extreme scenarios reduces the computational expenses of the seismic assessment of lifeline networks. The proposed method is applied on a hypothetical example with three bridges, two real networks with 26 and 77 bridges in Tehran. This method is investigated using bridge damage index and hazard curve. Results show the prosperity of the proposed method to select extreme scenarios from 100000 simulated scenarios for the intended network. In a part of the

proposed method, 24 ground- motion model using GPD and Bayesian theory are developed and used. The use of GPD distribution is based on studies performed in selecting the appropriate distribution for ground-motion data.

The appropriate distribution of large intensities of ground-motion is investigated and determined using the extreme value theory. For this purpose, normal, lognormal and GEV distributions are investigated. The results show by using the GEV distribution, the root mean square error and standard deviation of residuals are reduced about, 19% and 18%, respectively than lognormal distribution. Moreover, a method to use block maxima in seismic data is presented. Also, the ground motion model is used to evaluate the most appropriate distribution for PGA data.

In the last section of the study, using logistic multinomial models, the spatial correlation of damage probabilities in lifeline networks is modeled and the extreme scenario selection method is applied to a network of 77 bridges in Tehran. In addition to the correlation in the intensities of ground-motion, the cross-correlation of damage probabilities of nodes of a lifeline network and cross-correlation between five damage states (no damage, slight, moderate, extensive and complete) in each node are considered. Using the proposed extreme scenarios selection method, 68 extreme scenarios are yielded (for 2475 return period).The results are investigated in two different cases: correlated and uncorrelated. The results show that the values of damage probabilities are increased by about 19% at complete damage state using damage correlation. Also, the values of damage probabilities in moderate and extensive damage states are reduced respectively, about 18% and 14%. In this study, the extra daily traffic time (EDTT) is selected as a functional parameter of the network. The EDTT values for all nodes (each node to other nodes) are investigated. To select the path between two nodes, the shortest path algorithm is used. Based on the results, including damage correlation will increase the EDTT in the network. The highest increase in travel time in the correlated case than to the uncorrelated are 13.5% and 57%. Finally, the model of the spatial correlation of damage probabilities using Monte Carlo scenarios is applied to a network of 26 bridges in Tehran. The results show including damage correlation will decrease the EDTT in the network. Using two travel time models, the average of the decrease in travel time in the correlated case than to the uncorrelated are 53% and 71%, respectively.

Keywords: Risk Assessment, Lifeline Networks, Extreme Value Theory

کلیه ایستگاه‌ها (از هر ایستگاه به سایر ایستگاه‌ها) صورت گرفته و از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر برای انتخاب مسیر بین دو گره استفاده شده است. در انتها مدل همبستگی احتمالات خرابی بر روی یک شبکه ۲۶تایی از پلهای تهران اعمال شده است. برای این مدل از سناریوهای مونت‌کارلو استفاده شده است و تحلیل‌های همبستگی و نقشه‌های شدت اعمال شده است.

نتایج مهم حاصله از پژوهش صورت گرفته:

- کاهش هزینه محاسباتی تحلیل شبکه با استفاده از نظریه مقادیر کرانگین؛
- استفاده از نظریات مختلف آماری با قابلیت کاربرد در تحلیل ریسک لرزه‌ای شبکه‌های شریانی به منظور کاهش هزینه محاسباتی تحلیل شبکه؛
- ارتقای مدل های جنبش زمین به خصوص در شدت‌های بالا با استفاده از توزیع GEV به‌جای لگ‌نرمال؛
- شکل‌گیری نسل جدید مدل‌های جنبش زمین بر مبنای توزیع‌های مقادیر کرانگین؛
- ارائه روش دو مرحله‌ای برای کاهش سناریوهای اضافه و انتخاب سناریوهای بحرانی؛
- تفوق روش پیشنهادی با استفاده از نظریه مقادیر کرانگین، در انتخاب ۶۰ سناریوی بحرانی از میان ۱۰۰۰۰۰ سناریو؛
- استفاده از توزیع GEV برای قسمت‌های میانی داده‌ها و استفاده از توزیع GPD در قسمت دم داده‌ها؛
- مدلسازی همبستگی فضایی احتمالات خرابی در شبکه‌های شریانی با استفاده از مدل‌های چندجمله‌ای؛
- همبستگی متقاطع احتمالات خرابی گره‌های یک شبکه شریانی و همبستگی متقاطع مابین پنج سطح خرابی (بدون خرابی، کم، متوسط، شدید و کامل) در هر گره؛
- عملکرد مناسب مدل همبسته در محاسبه احتمالات خرابی.

جمع‌بندی نتایج حاکی از برتری توزیع‌های خانواده کرانگین در مدلسازی شدت‌های بزرگ جنبش زمین است.

- استفاده از توزیع GEV در مدلسازی شدت‌های جنبش زمین مربوط به یک زلزله؛
- روش دو مرحله‌ای ارائه شده، با استفاده از توزیع GPD، قابلیت انتخاب سناریوهای بحرانی در تحلیل لرزه‌ای شبکه‌های شریانی را دارد و هزینه‌های محاسباتی آن را کاهش داده است؛
- در نظرگرفتن همبستگی خرابی‌ها، منجر به تغییر مقادیر احتمال خرابی در سطوح مختلف خرابی شبکه شده است که در نتایج عملکرد شبکه و زمان سفر مؤثر است. این موضوع، ضرورت درنظرگرفتن همبستگی احتمالات خرابی در تحلیل لرزه‌ای شبکه‌های شریانی را نشان می‌دهد.

در انتها، می‌توان به سه موضوع اساسی زیر جهت پژوهش‌های آتی اشاره نمود:

۱- توسعه نسل نوین مدل‌های جنبش زمین با استفاده از توزیع GPD؛

۲- استفاده از نظریه مقادیر کرانگین در تعیین نقاط با اهمیت شبکه به منظور کاهش ریسک آن؛

۳- براورد ماتریس کواریانس برای احتمالات خرابی در سطوح مختلف و برای نقاط مختلف از شبکه.

واژه‌های کلیدی: ارزیـابی لرزه‌ای، شبکه‌های شریان حیاتی، نظریه مقادیر کرانگین