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

تخمین فضایی جنبش نیرومند زمین برای ارزیابی لرزه‌ای شبکه‌های شریان حیاتی

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

علیرضا گرکانی‌نژاد

همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه تأثیرات قابل‌توجهی بر نتایج تحلیل خطر لرزه‌ای و ارزیابی ریسک لرزه‌ای سیستم‌ها یا مجموعه‌های دارای پراکندگی فضایی دارد. اگرچه این موضوع در مطالعات قبلی مورد بررسی قرارگرفته است، اما فرض همسانگردی همبستگی فضایی، اساس اصلی مطالعات موجود را تشکیل می‌دهد. با توجه به این واقعیت که فرض همسانگردی همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه به‌طورکلی معتبر نیست، مطالعه حاضر در گام نخست، به بررسی این فرض در باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت PGV و PGD پرداخته است. همچنین، این مطالعه درصدد است تا موضوع ناهمسانگردی را در مدلسازی میدان‌های تصادفی چند متغیره شدت زمین‌لرزه مورد بررسی قرار دهد.

در این پژوهش، با استفاده از یک آزمون آماری ناپارامتری، فرض همسانگردی باقیمانده‌های درون رخدادی PGV و PGD بررسی شده است. با استفاده از داده‌های ثبت‌شده از ۹ رویداد زلزله، نتیجه گرفته شد که فرض همسانگردی همبستگی فضایی باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت PGV و PGD به‌طورکلی فرض پذیرفته شده‌ای نیست. علاوه بر این، در این مطالعه از یک مدل کوواریانس تفکیک‌ناپذیر مبتنی بر روش ابعاد مجازی برای بررسی ناهمسانگردی همبستگی فضایی چند متغیرهٔ باقیمانده‌های درون رخدادی شدت زمین‌لرزه استفاده شده است. بدین منظور، میدان‌های تصادفی چند متغیره باقیمانده‌های درون رخدادی دو گروه از متغیرهای شدت زمین‌لرزه (گروه اول شامل PGA، PGV و PGD و گروه دوم شامل SA در سه زمان تناوب ۰/۵، ۱ و ۲ ثانیه) مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های ۱۰ رویداد زلزله در کالیفرنیا و ژاپن برای تخمین پارامترهای مدل‌های کوواریانس پیشنهادی استفاده شده است. علاوه بر این، پارامترهای مدل کوواریانس مشخصات خاک (V_{s30}) برای بررسی تأثیر این متغیر در همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج نشان می‌دهد مشخصات ناهمسانگردی باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت زمین‌لرزه به خصوصیات ناهمسانگردی ساختگاه وابسته است. همچنین با استفاده از روش ابعاد مجازی که منجر به تولید ماتریس کوواریانس معتبر برای مدلسازی میدان‌های تصادفی چند متغیره ناهمسانگرد می‌شود، نشان داده شده است که حداکثر دامنه و نسبت ناهمسانگردی مدل‌های کوواریانس باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت زمین‌لرزه با مشخصات همبستگی ناهمسانگرد مقادیر V_{s30} ارتباط دارند. علاوه بر این، راستای ناهمسانگردی باقیمانده‌های درون رخدادی متغیرهای شدت زمین‌لرزه با راستای ناهمسانگردی مقادیر V_{s30} سازگار است. درنهایت، مدل‌هایی برای به دست آوردن توابع کوواریانس حاشیه‌ای و متقاطع متغیرهای مختلف زمین‌لرزه با در نظر گرفتن ناهمسانگردی ارائه

Estimating Earthquake Intensity Measures Considering Spatial Correlations for Seismic Assessment of Lifeline Networks

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

Alireza Garakaninejad

Considering spatial correlation of multiple earthquake intensity measures is of particular importance in loss assessment of spatially distributed assets. Previous studies have been shown that ignorance of the spatial correlation of earthquake intensity measures causes significant impacts on the results of seismic hazard and risk assessment of spatially distributed systems. Although this subject has been investigated in previous studies, the assumption of isotropy is the main basis for existing studies. Considering the fact that the assumption of isotropy is not valid in general, the present study aims to investigate the assumption of isotropy of intra-event residuals of peak ground velocity PGV and peak ground displacement PGD. Moreover, this study focuses on considering anisotropy on the modeling of the multivariate random field of earthquake intensity measures.

In this study, the assumption of isotropy of intra-event residuals of PGV and PGD is investigated implementing a nonparametric statistical test. Using recorded data of nine earthquake events, it is concluded that there is no sufficient evidence to support the assumption of isotropy and in general, the set of intra-event residuals of PGV and PGD should be considered as the realization of anisotropic random fields. Moreover, this study employs a non-separable covariance model based on latent dimensions to investigate anisotropic properties of spatial correlations and cross-correlations of intra-event residuals of multiple earthquake intensity measures (IMs). Two sets of IMs are considered in the second stage of this study. The first set consists of peak ground acceleration, velocity, and displacement values and the second set consists of spectral accelerations at three different periods. Data of ten earthquake events in California and Japan are utilized in the second stage of the current study to estimate the parameters of marginal and cross-covariance models. Moreover, parameters of the covariance model of regional site condition, which is considered as average shear wave velocity of the top 30 meters of the soil profile (Vs30), are obtained in order to investigate the effect of local sited conditions on spatial correlations of IMs.

Investigations show that anisotropy properties of intra-

شده است.

در ادامه پژوهش، تأثیر در نظر گرفتن ناهمسانگردی همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه یا صرفنظر کردن از آن، با استفاده از مدل همبستگی فضایی ارائه شده در این تحقیق و نیز مدل‌های ارائه شده در سایر مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، مجموعه‌ای از ساختمانهای مسکونی در یک محدوده شهری مفروض و همچنین، یک شبکه حمل و نقل از طریق ارزیابی ریسک و تاب‌آوری بررسی شده‌اند و نتایج بررسی‌ها گزارش شده است. این نتایج حاکی از تأثیر قابل ملاحظه ناهمسانگردی همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه بر نتایج ارزیابی ریسک و تاب‌آوری و وجود خطا در برخی مدل‌های موجود است.

در فصل آخر، چارچوب ارزیابی تاب‌آوری سیستم‌ها و مجموعه‌های دارای گسترگی فضایی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، اندیس‌های تعینی و احتمالاتی موجود مرور شده و نقاط ضعف اندیس‌های موجود شناسایی شده است. سپس با هدف برطرف کردن نقاط ضعف اندیس‌های موجود، اندیسی تعینی جدیدی مبتنی بر خسارت‌های اقتصادی، عملکرد سیستم و زمان، پیشنهاد شده است. در گام بعد، اندیس تعیینی پیشنهادی به همراه مدل‌های همبستگی فضایی متغیرهای شدت زمین‌لرزه در قالب روش شبکه بیزی آورده شده تا یک چارچوب احتمالاتی برای کمی‌سازی تاب‌آوری با در نظر گرفتن همبستگی فضایی ناهمسانگرد حاصل شود.

واژه‌های کلیدی: همبستگی فضایی، ناهمسانگردی، تحلیل خطر زمین‌لرزه، ابعاد مجازی، تاب‌آوری، شبکه بیزی

event residuals of PGV and PGD are related to anisotropy properties of site condition. In this regard, predictive models are proposed based on obtained results in order to simulate the correlated values of PGV and PGD considering anisotropy. Moreover, using latent dimensions method, it is shown that the maximum range and anisotropy ratio of marginal and cross-covariance models of intra-event residuals of IMs are correlated with those of Vs30 values. Also, it is observed that the anisotropy direction of the residuals of IMs is consistent with the anisotropy direction of Vs30 values. Finally, predictive models are proposed to obtain marginal and cross-covariance functions for different sets of earthquake IMs considering anisotropy. Besides, the effect of considering or ignorance of the anisotropy of spatial correlations of earthquake IMs on the result of seismic risk assessment and seismic resiliency assessment of spatially distributed assets are investigated.

In the final step of this research, new deterministic resilience metrics has been developed to overcome the drawbacks of existing indices. Then using Bayesian Network, the proposed resilience metrics are utilized along with the proposed seismic hazard models in order to develop a probabilistic resilience assessment methodology.

Keywords: Spatial correlation, Anisotropy, Seismic hazard assessment, Latent dimensions, Resilience, Bayesian Network