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

بررسی قدرت تشخیص رویدادهای لرزه‌ای ایران توسط سامانه پایش لرزه‌نگاری بین‌المللی

انوشیروان انصاری
دانشیار پژوهشکده مدیریت خطرپذیری و بحران a.ansari@iiees.ac.ir

احسان مرادیان بجستانی، احسان کرکوتی، سعید سلطانی مقدم

یکی از ویژگی‌های اصلی شبکه لرزه‌نگاری قابلیت و توانمندی آن در آشکارسازی یک رویداد لرزه‌ای است. توانمندی شبکه لرزه‌نگاری در ثبت و تعیین محل رویدادهای لرزه‌ای به عوامل مختلفی بستگی دارد. علاوه بر نوع حسگر لرزه‌نگاری مورد استفاده در هر یک از ایستگاه‌های شبکه، تعداد و فواصل بین ایستگاه‌ها، وضعیت مقدار نوفه لرزه‌ای زمینه در محل ایستگاه، میزان تأثیر محیط انتشار امواج (از چشمه تا ایستگاه گیرنده) بر دامنه موج و کیفیت و نوع پردازش داده در برآورد اهداف پیش‌بینی شده شبکه لرزه‌نگاری، مؤثر می‌باشند. محاسبه دقیق بزرگای حدآستانه آشکارسازی، تهیه نقشه‌های مربوطه و به‌روزرسانی مکرر آنها، کمک زیادی به متولیان این شبکه‌ها، در تأمین اهداف خود و برطرف نمودن نقایص آرایش ایستگاه‌ها و یا حتی طرح‌های توسعه و گسترش شبکه می‌نماید.

در راستای شناسایی مناطق اصلی زلزله‌خیز، تهیه بانک اطلاعاتی شکل امواج لرزه‌ای و مطالعات در عرصه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، در سال ۱۳۷۶راه‌اندازی شده است. بررسی حد آستانه آشکارسازی این شبکه از ضروریات مطالعات لرزه‌خیزی مناطق مختلف و بررسی عملکردی این شبکه می‌باشد. بررسی شرایط نوفه ایستگاهی و نحوه چیدمان ایستگاه‌ها از دیگر پارامترهای اصلی در برنامه طراحی و توسعه شبکه لرزه‌نگاری باندپهن کشور می‌باشد.

به منظور حصول اطمینان از پایبندی اعضای معاهده منع جامع آزمایش‌های هسته‌ای، رژیم راستی‌آزمایی برای این معاهده طراحی شده تا هرگونه آزمایش انفجار هسته‌ای زیرزمینی، زیرآب و یا در جو و فضا را شناسایی کند. کشف و شناسایی انفجار هسته‌ای در زیرزمین توسط شبکه لرزه‌نگاری سیستم پایش بین‌المللی مورد پایش قرار می‌گیرد. از ملزومات این شبکه لرزه‌نگاری، قابلیت بالای آشکارسازی رویدادهای لرزه‌ای است. از طرفی جمهوری اسلامی ایران، میزبان سه ایستگاه لرزه‌نگاری از سیستم پایش بین‌المللی است و از طرفی در مجاورت مرزهای کشور، سامانه‌های لرزه‌نگاری با آرایش هندسی مختلفی نصب شده‌اند. بررسی توانمندی این شبکه در پایش رویدادهای لرزه‌ای و میزان تأثیر روشن و یا خاموش بودن ایستگاه‌ها مستقر در ایران در رصد رویدادهای مختلف از چالش‌های مهم کشور بوده است.

در این گزارش، در بررسی اولیه مشخص گردید که توزیع ایستگاه لرزه‌نگاری، در نقاط مختلف کره زمین، ناهمگن است، به طوری که تنها دو آرایه لرزه‌نگاری WRA و ASAR در نیمکره جنوبی زمین (استرالیا) وجود دارد. به‌منظور بررسی وضعیت و تعداد رویدادهای لرزه‌ای آشکارشده فلات ایران، اطلاعات موردنیاز از پایگاه داده مرکز داده بین‌المللی در بازه زمانی

Detection Capability of the Seismic Network of the International Monitoring System in Iran

Anooshiravan Ansari
Associate Professor, Risk Management Research Center
a.ansari@iiees.ac.ir

Ehsan Moradian Bajestani, Ehsan Karkooti, Saeed SoltaniMoghadam

Seismic networks are powerful tools for understanding active tectonic processes in a monitored region. Their numerous applications, from monitoring seismicity to characterizing seismogenic volumes, make seismic networks essential tools for assessing seismic hazard in active regions. An appropriately configured seismic network is also a valuable tool for the study of deep geological structures using seismic tomography. The ability of a seismic network to detect and locate seismic events depends on various factors. The detection capability of a network depends on the density of the network and distribution of stations, their site conditions, their recording characteristics, their data link to the processing center, and the post-processing methods of recorded seismic data. Assessing and quantifying this capability is a difficult task, as almost none of the effects of the links in the recording chain can be quantified without assumptions. Calculating the detection threshold maps accurately, and updating them frequently, will greatly help the owners of seismic networks, in achieving their goals and eliminating defects and development plans of network.

In order to identify the high seismic risk areas, also to prepare a database of seismic waves and study the seismic sources and other research in seismology and earthquake engineering in Iran, the Broadband Iranian National seismic network (BIN) has been established by the International Institute of Earthquake Engineering and Seismology in 1998. Investigating the detection threshold of this network is one of the necessities of seismic studies and evaluating the performance of this network. Calculation of seismic noise level in each station and the geometry of stations arrangement are other main parameters in the design and development program of BIN.

The verification regime of the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty (CTBT) is designed to detect any nuclear explosion conducted on Earth–underground, underwater or in the atmosphere. The purpose of the verification regime is to monitor countries' compliance with the CTBT which bans all nuclear explosions on the planet. Besides promoting

the CTBT, the main task of the Preparatory Commission for the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) is to build this regime and to ensure that it is operational by the time the Treaty enters into force. Seismic monitoring is one of the three waveform technologies used by CTBT verification regime to monitor compliance with the Treaty. The objective of seismic monitoring is to detect and locate underground nuclear explosions. One of the requirements of this seismic monitoring is high capability in detecting seismic events.

The Islamic Republic of Iran hosts three seismic stations of the International Monitoring System (IMS). Seismic networks have been established near the country's borders. Investigating the capability of these networks in monitoring seismic events and the effect of each station is very important.

In this study, preliminary results showed that the distribution of IMS seismic stations is heterogeneous. There are only two seismic arrays (WRA and ASAR) in the southern hemisphere (Australia).

In order to investigate the detection threshold of IMS seismic network, detected and located events in Iran between 2000 and 2020 from IMS database were extracted and a local database was prepared. We found that array stations have detected the most events from the Iranian plateau. FINES, GEYT, BVAR and MKAR array stations, respectively, are the stations with the most events detected from the Iranian plateau. The coverage maps for each of these stations were plotted and reviewed. According to these maps, it was found that only (near the GEYT array station), low number of events with magnitude less than 3 have been detected and located in the northeastern of Iran. Also, the accuracy of location events in the Reviewed Event Bulletin (REB) was compared with the International Seismological Network (ISC) bulletin and the National Seismological Network (IRSC) catalog. Comparison of REB and ISC bulletins showed that the location of the events in the two bulletins is very close. But comparison of REB and IRSC catalog indicated number of detected event in REB in each year is less than 25% of number of events in IRSC catalog. The location difference of 70% identical events is less than 20 km.

A review of the technical literature shows that background noise model of stations and the body wave attenuation model are the most important effective parameters in studies of threshold detection of a seismic network. Therefore, a local and regional P-wave spectral attenuation model for the Iranian plateau was calculated in a separate chapter. In order to calculate the average attenuation parameters, 46337 vertical-component waveforms related to 9267 earthquakes,

سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی استخراج و بانک داده مناسب تهیه گردید. در این بررسی مشخص شد که ایستگاه آرایه‌ای بیشترین تعداد رویداد از منطقه فلات ایران را آشکار نموده‌اند که به ترتیب می‌توان ایستگاه FINES، GEYT، BVAR و MKAR در صدر ایستگاه‌های با بیشترین رویداد آشکارشده از کشور ایران قرار دارند. سپس برای هریک از این ایستگاه، نقشه‌های نحوه پوشش‌دهی مناطق مختلف نسبت به‌کل رویدادهای REB تهیه و بررسی شد. با توجه به این نقشه‌ها مشخص گردید که تنها در مناطق شمال شرقی ایران (نزدیک ایستگاه آرایه‌ای GEYT)، تعداد محدودی رویداد با بزرگای کمتر از ۳ ثبت شده است. همچنین مقدار دقت تعیین محل رویدادها در شبکه سیستم پایش بین‌المللی نسبت به رویدادهای بولتن شبکه لرزه‌نگاری بین‌المللی (ISC) و شبکه ملی لرزه‌نگاری کشور (IRSC) مورد بررسی قرار گرفت که مشخص شد که تعداد رویدادهای آشکار شده در دو بولتن REB و ISC بسیار شبیه و تعیین محل آنها نیز بسیار نزدیک به هم بوده است. با مقایسه دو بولتن REB و IRSC می‌توان دریافت که محل وقوع رویداد بیش از ۷۰ درصد رویدادهای مشترک در دو بولتن، فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتر دارند.

در بررسی مبانی علمی روش‌های محاسبه بزرگای حدآستانه آشکارسازی شبکه لرزه‌نگاری مشخص شد که دو پارامتر اصلی مدل نوفه زمینه ایستگاه‌ها و مدل کاهندگی موج پیکری، از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در این‌گونه مطالعات می‌باشد. لذا در فصلی مجزا مدل طیفی کاهندگی موج P برای فواصل محلی و ناحیه‌ای فلات ایران، به منظور ورودی در محاسبه حدآستانه آشکارسازی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران و شبکه لرزه‌نگاری سیستم پایش بین‌المللی محاسبه گردید. در این مطالعه مشخص گردید که مقدار افت دامنه به واسطه فاکتور گسترش هندسی در فواصل کمتر از ۹۰ کیلومتر، ۹۰ تا ۱۷۵ کیلومتر و بیش از ۱۷۵ کیلومتر به ترتیب R-1.2، R0.8 و R-1.3 می‌باشد. کاهندگی غیرالاستیک، موج P براساس پارامتر فاکتور کیفیت (Qp) تخمین زده شده است که روابط مربوط به امواج Pg و Pn به ترتیب Qpg=(54.2±2.6)f(1.0096±0.07) و Qpn=(306.8±7.4)f (0.510.05) می‌باشد.

بزرگای حدآستانه آشکارسازی شبکه لرزه‌نگاری باندپهن ایران با استفاده از سه روش مختلف (کلاسیک، مبتنی بر سیگنال به نوفه ایستگاه و شبیه‌سازی) محاسبه و نقشه‌ی بزرگای حدآستانه آشکارسازی این شبکه تخمین زده شد. مشخص گردید کمینه بزرگایی که با احتمال ۹۰٪ در شبکه قابل آشکارسازی است برابر با ML 1.5 است. این بزرگا مربوط به مناطق مرکزی کشور (خصوصاً اطراف پایتخت) و به واسطه فواصل بین ایستگاه‌ها بسیار کم می‌باشد. بیشینه بزرگای حدآستانه آشکارسازی شبکه باندپهن ایران، ML 3.3 می‌باشد که بخش‌های خارجی شبکه را تشکیل می‌دهند.

در بررسی بزرگای حدآستانه آشکارسازی شبکه لرزه‌نگاری سیستم پایش بین‌المللی سازمان معاهده منع جامع آزمایش‌های هسته‌ای مشخص گردید که حدآستانه شناسایی آشکارسازی رویدادها در منطقه جنوب شرق ایران به مراتب ضعیف‌تر از شمال غرب ایران می‌باشد؛ که دلیل مهم آن عدم وجود ایستگاه در شرق خاورمیانه (پاکستان، هند و افغانستان) و پوشش ضعیف ایستگاهی در آن منطقه است. در حال حاضر، بزرگای حدآستانه

آشکارسازی با احتمال ۹۰ درصد برای مناطق شمال غرب ۳/۵، مرکز ۳/۶ و جنوب شرقی ایران ۳/۷ می‌باشد. در صورت فعال شدن ایستگاه‌های مستقر در ایران (سه ایستگاه پیش‌بینی شده در پیوست معاهده)، توان رصدی شبکه لرزه‌نگاری سیستم پایش بین‌المللی افزایش یافته به نحوی‌که بزرگای حدآستانه آشکارسازی برای مناطق شمال غرب به اندازه ۰,۳ واحد بزرگا، مناطق مرکزی ۰,۲ واحد بزرگا و مناطق جنوب شرقی ۰,۱ واحد بزرگا کاهش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: بزرگای حدآستانه آشکارسازی، شبکه لرزه‌نگاری باند پهن کشور، شبکه لرزه‌نگاری سیستم پایش بین‌المللی، کاهندگی موج P، سازمان منع جامع آزمایش‌های هسته‌ای

which are recorded at the Iranian Seismological Center (IRSC) stations, have been selected in the distance range 10–1000 km. The majority of the event's magnitudes are less than 4.5. This collection of records provides high spatial ray path coverage. Results indicate that the shape of attenuation P-wave curve versus distance is not uniform and has three distinct sections with hinges at 90 and 175 km. A trilinear model for attenuation of P-wave amplitude in the frequency range 1–10 Hz is proposed in this study. Fourier spectral amplitudes are found to decay as R−1.2 (where R is hypocentral distance), corresponding to geometric spreading within 90 km from the source. There is a section from 90 to 175 km, where the attenuation is described as R0.8, and the attenuation is described well beyond 175 km by R−1.3. Moreover, the average quality factor for Pg and Pn waves (QPg and QPn), related to anelastic attenuation is obtained as Qpg = (54.2 ± 2.6)f(1.0096±0.07) and Qpn = (306.8 ± 7.4)f(0.51±0.05).

The magnitude of the detection threshold of the Iranian broadband seismic network was calculated and mapped using three different methods (classical, based on background noise of stations and simulation). It was found that the minimum magnitude that can be detected in BIN network with 90% probability is ML 1.5. This magnitude is related to the central regions of the country (especially around the capital) and due to the low distances between the stations. The maximum magnitude of the detection threshold of BIN is ML 3.3, which is related to the external parts of the network.

In our study of IMS seismic network, it was found that the detection threshold of network in the southeastern region of Iran is much weaker than in northwestern Iran. The main reason is the lack of stations in the Middle East (Pakistan, India and Afghanistan) and poor station coverage in that region. At present, the magnitude of the detection threshold (probability=90%) of IMS seismic network in the northwestern, central and southeastern of are 3.5, 3.6 and 3.7, respectively.

Keywords: Magnitude of detection threshold, The broadband iranian national seismic network (bin), Seismic network of international monitoring system, P-wave attenuation, The comprehensive nuclear-test-ban treaty (ctbt)