امکان‌سنجی سامانه هشدار سریع زلزله در تهران و مناطق پیرامون

پریا یاوری راد[۱]، احسان کرکوتی[۲]
[1]دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، paria.yavarirad@stu.iiees.ac.ir
[2]استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ekarkooti@iiees.ac.ir

چکیده

در این مطالعه، با فرض وقوع زمین‌لرزه روی گسل‌های گستره‌ی البرز مرکزی، میزان زمان هشدار برای تهران و مناطق اطراف مورد بررسی قرار گرفته است تا میزان کارآمدی سامانه هشدار سریع زلزله برای تهران و مناطق پیرامون مشخص گردد و به این سوال اصلی پاسخ داده شود که آیا اساساً امکان فراهم کردن هشدار وقوع زمین‌لرزه با توجه به هندسه‌ی گسل‌های محدوده و فاصله آن‌ها تا شهر تهران وجود دارد یا خیر. ابتدا، پارامترهای مورد استفاده و میزان حساسیت مقادیر در سامانه هشدارسریع بررسی گردید و از مقادیر بهینه استفاده شد. سپس زمان واکنش به هشدار از چشمه‌های زمین‌لرزه به صورت اختلاف زمان رسید موج اولیه P به ایستگاه چهارم به علاوه‌ی زمان پردازش و زمان رسید موج مخرب S برای چند نقطه در کلان‌شهر تهران به دست آمد. احتمال وقوع زمین‌لرزه‌ها با استفاده از توزیع پوآسون بدست آمده و شدت زمین‌لرزه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت هیستوگرام‌های زمان هشدار تولید شده است. توزیع مقادیر زمان هشدار و شدت زمین‌لرزه‌ها در هر منطقه، نشان‌دهنده‌ی میزان مفید بودن سامانه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: امکان سنجی، تهران، سامانه هشدار سریع زلزله.

Feasibility study Earthquake Early Warning system around the Tehran Region

Pariya Yavarirad [1] Ehsan Karkooti[1]
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology[1]

Abstract

In this study, by assuming the occurrence of earthquakes on faults in the Central Alborz area, the warning time around the Tehran Region and its surroundings is investigated to determine the effectiveness of the earthquake warning system for these areas, and also to consider the option whether it is possible to issue warning alerts based on the geometry of the faults within the area. At first, the related parameters and the sensitivity of the values in the early warning system are investigated and the optimal values are used. Then, for sources, the warning time is obtained as the difference between the arrival time of the initial P wave to the fourth station plus the processing time and the arrival time of the destructive S wave. The probability of earthquakes is calculated using the Poisson distribution and the density of the earthquakes is also examined. subsequently, warning time histograms are produced. The distribution of warning time values and intensity of earthquakes in each region indicate the usefulness of the earthquake early warning system.

Keywords: Earthquake Early Warning System, Tehran, Feasibility Study.

۱ مقدمه

سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه، با استفاده از الگوریتم‌های پردازشی مکان و بزرگی و شدت زمین‌لرزه را چند ثانیه پس از شروع تشخیص داده و تخمین می‌زند، سپس در کمترین زمان ممکن، قبل از رسیدن امواج مخرب و لرزش شدید زمین، صدور هشدار به کاربران را فراهم می‌کند. این سامانه در کشورهای ژاپن، تایوان، کره جنوبی و مکزیک در مرحله‌ی اجرا، بهره برداری و توزیع هشدار به صورت عمومی است (آلن و ملگار، ۲۰۱۹). از سوی دیگر، ویژگی‌های متفاوت لرزه‌خیزی و لرزه‌زمین‌ساختی هر ناحیه، لزوم طراحی یک سامانه هشدار سریع بومی را نشان می‌دهد. در این میان، کشور ما و بویژه کلان‌شهر تهران نیز که همواره در معرض تهدید رخداد یک زمین‌لرزه‌ی ویرانگر قرار دارد، از این امر مستثنی نبوده و

می‌بایست یک سامانه‌ی هشدار سریع زمین‌لرزه متناسب با ویژگی‌های زمین‌شناسی و لرزه‌زمین‌ساختی گستره‌ی تهران در اختیار داشته باشد.

زمانی که راهبردهای مناسب جهت اعلام هشدار به کاربران و آموزش همگانی به جمعیت اتخاذ شود، سامانه‌های هشدار سریع زمین‌لرزه بعنوان یکی از پیشرفته‌ترین و کارآمدترین ابزارها، نقشی کلیدی در تقلیل و کمینه‌کردن سطح آسیب‌ها و تخریب‌ها و کاستن از آلام و اثرات پس از وقوع یک زمین‌لرزه بزرگ احتمالی در کلان‌شهرها، ایفا خواهند کرد.

۲ روش تحقیق

شناسایی گسل‌های فعال و بدست آوردن اطلاعات لرزه‌خیزی منطقه، اولین اقدام جهت امکان‌سنجی سامانه هشدار سریع زلزله می‌باشد. در این مطالعه، برای شناسایی گسل‌های فعال از پژوهش حسامی و همکاران (۲۰۰۳) پیرامون گسل‌های فعال استفاده شده است و نحوه‌ی شبیه‌سازی برای بدست آوردن زمان هشدار و شدت زمین‌لرزه بدین صورت است که رومرکز زمین‌لرزه‌ها در فواصل ۵ کیلومتر روی گسل‌های فعال محدوده، قرار گرفته است و با توجه به تکتونیک منطقه‌ی البرز مرکزی، عمق زمین‌لرزه‌ها ثابت ۱۰ کیلومتر فرض گردید. پارامترهای لرزه‌خیزی و دوره بازگشت چشمه‌های مورداستفاده در این مطالعه از مقاله کامران زاد و همکاران (۲۰۲۰) استخراج شده است. بزرگای زمین‌لرزه از ۴/۵ با فواصل ۰/۵ واحدی تا بزرگای بیشینه هر زون گسلی، در نظر گرفته شده و دوره بازگشت مربوط به هر بزرگا بدست آمده و در نهایت با استفاده از توزیع پوآسون احتمال وقوع رخداد زمین‌لرزه‌ها در دوره‌ی زمانی 75 ساله حاصل شده است.

چیدمان ایستگاهی ایده‌آل شبکه‌ی هشدار سریع زمین‌لرزه، زمان موردنیاز برای ثبت موج اولیه را به حداقل می‌رساند و این مهم، شعاع محدوده‌ی کور را به حداقل رسانده و افزایش زمان هشدار برای کاربران منطقه‌ی هدف را، منجر می‌شود. کویوک و آلن (۲۰۱۳) با انجام مجموعه‌ای از شبیه‌سازی‌ها، تلاش نمودند که ارتباطی منطقی میان فاصله بین ایستگاهی و مقدار زمان هشدار ارائه نمایند. نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه‌ترین فاصله‌ی درون ایستگاهی در سامانه هشدار ۱۰ کیلومتر می‌باشد و به همین دلیل، در این مطالعه نیز، با فرض استفاده از شبکه‌ی لرزه‌ای با فاصله‌ی درون ایستگاهی ۱۰ کیلومتری در این گستره، نتایج بدست آمده است.

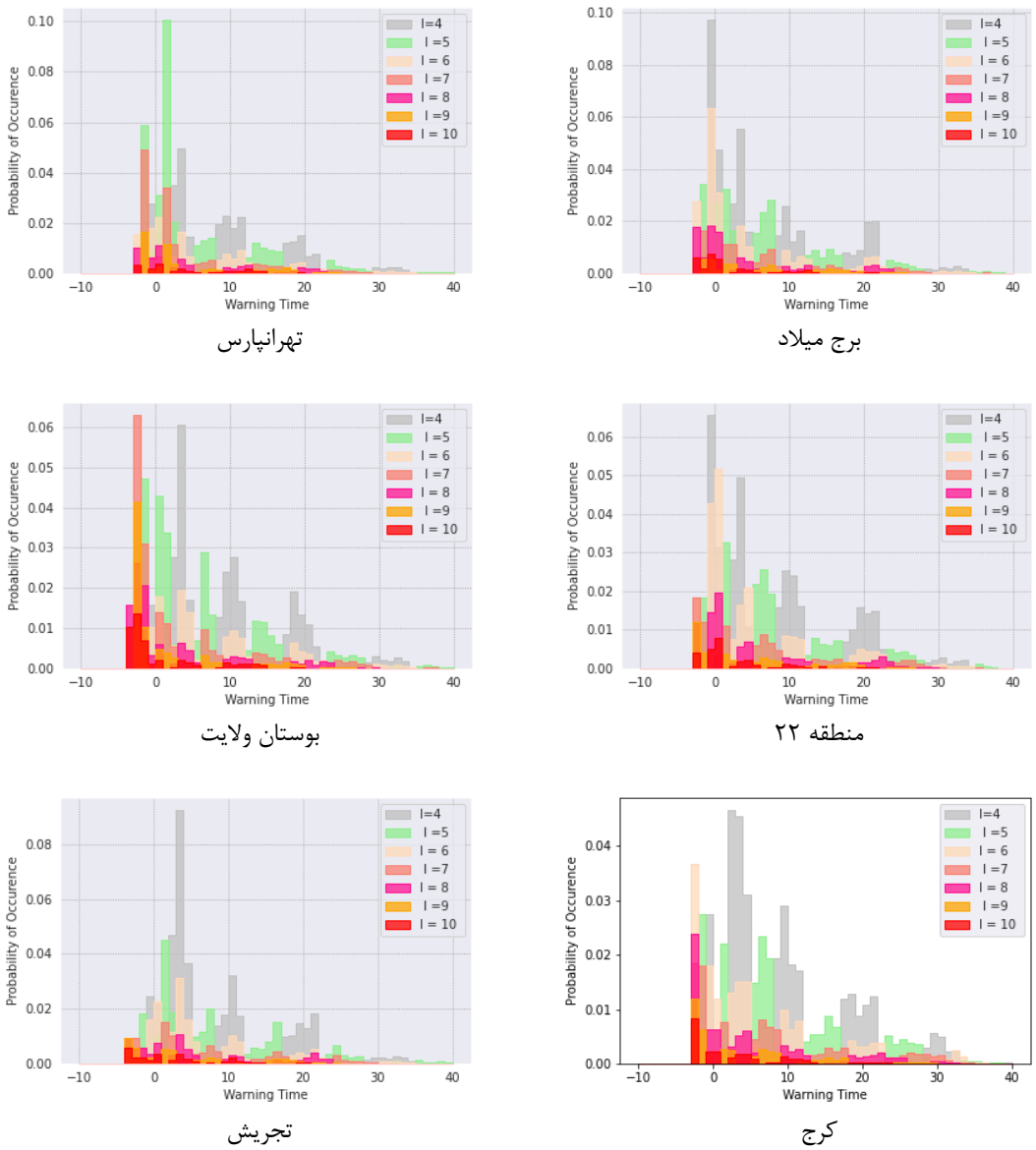
با توجه به الگوریتم مورد استفاده در فرآیند پردازش و نظر به اهمیت تخمین مناسب رومرکز و بزرگای زمین‌لرزه، استفاده از ثانیه‌های ابتدایی موج P در چهار ایستگاه نزدیک به رومرکز زمین‌لرزه، احتمال هشدارهای اشتباه را به حداقل می‌رساند (آلن و همکاران، ۲۰۰۹؛ برون و همکاران، ۲۰۱۱؛ کویوک و همکاران، ۲۰۱۴). به همین علت، در این مطالعه، تعداد حداقل 4 ایستگاه موردنیاز جهت پردازش فرض گردید. همچنین، تاخیر مخابراتی، زمان پردازش تخمین رومرکز و بزرگا و زمان موردنیاز برای انتشار هشدار که به اختصار زمان پردازش گفته می‌شود، بر مبنای مطالعه کویوک و آلن (۲۰۱۳) ۴ ثانیه در نظر گرفته شده است. برای محاسبه زمان رسید تئوری امواج به نقاط مورد نظر از توابع Taup کراتول و همکاران (۱۹۹۹) کتابخانه Obspy و مدل سرعتی عباسی و همکاران (۲۰۱۰) استفاده شده است. تخمین شدت هر یک از زمین‌لرزه‌ها با استفاده از رابطه‌ی احمدزاده و همکاران (۲۰۱۹) محاسبه شده است.

در نهایت، هیستوگرام زمان هشدار با در نظر گرفتن احتمال وقوع رخداد آن زمین‌لرزه‌ها در گستره‌ی تهران و مناطق پیرامون تولید شده است.

۳ نتیجه‌گیری

برای شش نقطه مختلف در تهران و مناطق پیرامون، هیستوگرام‌های احتمال زمان هشدار برای شدت‌های مختلف در شکل (۱) قابل مشاهده است. با توجه به هیستوگرام‌ها زمان هشدار برای تمامی ساختگاه‌ها حدوداً از منفی چهار تا چهل ثانیه متفاوت است. مشاهده می‌شود که اکثر در تمامی این نقاط، اکثر زمین‌لرزه‌هایی که می‌توانند باعث تخریب شوند

(شدت بالای ۷) در محدوده‌ی کور این سامانه قرار گرفته و زمان هشدار برای واکنش به این زمین‌لرزه‌ها وجود ندارد. همچنین تغییرات بسیار فاحش در نمودارها دیده نمی‌شود، بدین دلیل که سایت‌های موردنظر، تقریباً نزدیک به هم بوده و شمال، جنوب، شرق و غرب تهران را شامل می‌شوند. همچنین در تمامی هیستوگرام‌ها مشاهده می‌شود که زمین‌لرزه‌هایی وجود دارند که زمان‌های هشدار بالا برای آنها محاسبه شده است. هرچند که احتمال رویداد این زمین‌لرزه‌ها بسیار کوچک می‌باشد با توجه به شدت بالا و وجود زمان هشدار مناسب برای این زمین‌لرزه‌ها، پیشنهاد می‌شود با طراحی شبکه هشدار این زمین‌لرزه‌ها پوشش داده شوند.



شکل ۱. نمودار چگالی احتمالاتی زمان هشدار برای نقاط مختلف تهران.

منابع

Abbassi, A., Nasrabadi, A., Tatar, M., Yaminifard, F., Abbassi, M.R., Hatzfeld, D. and Priestley, K., 2010. Crustal velocity structure in the southern edge of the Central Alborz (Iran). *Journal of Geodynamics*, *49*(2), pp.68-78.

Ahmadzadeh, S., Javan Doloei, G., Parolai, S. and Oth, A., 2019. Non-parametric spectral modelling of source parameters, path attenuation and site effects from broad-band waveforms of the Alborz earthquakes

(2005–2017). *Geophysical Journal International*, *219*(3), pp.1514-1531.

Allen, R.M. and Melgar, D., 2019. Earthquake early warning: Advances, scientific challenges, and societal needs. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, *47*, pp.361-388.

Brown, H.M., Allen, R.M., Hellweg, M., Khainovski, O., Neuhauser, D. and Souf, A., 2011. Development of the ElarmS methodology for earthquake early warning: Realtime application in California and offline testing in Japan. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *31*(2), pp.188-200.

Crotwell, H.P., Owens, T.J. and Ritsema, J., 1999. The TauP Toolkit: Flexible seismic travel-time and ray-path utilities. *Seismological Research Letters*, *70*, pp.154-160.

Kamranzad, F., Memarian, H. and Zare, M., 2020. Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *9*(7), p.430.

Hessami, K., F. Jamali, and H. Tabassi, Major active faults of Iran. IIEES, Tehran, 2003.

Kuyuk, H.S. and Allen, R.M., 2013. Optimal seismic network density for earthquake early warning: A case study from California. *Seismological Research Letters*, *84*(6), pp.946-954.

Serdar Kuyuk, H., Allen, R.M., Brown, H., Hellweg, M., Henson, I. and Neuhauser, D., 2014. Designing a network-based earthquake early warning algorithm for California: ElarmS-2. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *104*(1), pp.162-173.