

## مطالعه سامانه هشدار سریع PRESTo، در تهران با استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری شبکه مدیریت بحران شهرداری تهران

مهدی ناظری<sup>۱</sup>، ظاهر حسین شمالی<sup>۲</sup>، سحر ناظری<sup>۳</sup>، رحیم نوروزی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>کارشناس ارشد ژئوفیزیک [mehdi.nazeri@ut.ac.ir](mailto:mehdi.nazeri@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup>دانشیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، [shomali@ut.ac.ir](mailto:shomali@ut.ac.ir)

<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری، دانشگاه ناپلز فدریکو ۲، [sahar.nazeri@unina.it](mailto:sahar.nazeri@unina.it)

<sup>۴</sup>کارشناس مدیریت بحران شهرداری تهران، [norouzi@gmail.com](mailto:norouzi@gmail.com)

چکیده

در تحقیق انجام‌شده، سامانه هشدار سریع PRESTo در منطقه تهران و با استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری شبکه مدیریت بحران شهرداری تهران برای چهار زمین‌لرزه با بزرگای بیشتر از ۴.۰ در مقیاس محلی مورد ارزیابی قرار گرفته است. زمین‌لرزه‌های مورد بررسی به ترتیب شریف آباد، بزرگای ۴.۰ (۲۰۱۱)، جوادآباد، بزرگای ۴.۱ (۲۰۱۵)، فیروزکوه، بزرگای ۴.۶ (۲۰۱۵) و شهمیرزاد، بزرگای ۴.۴ (۲۰۱۶) می‌باشند. با وجود مشکلاتی نظیر کیفیت پایین داده‌های برخی از ایستگاه‌ها و خارج از شبکه بودن زمین‌لرزه‌های انتخابی، نتایج قابل تاملی کسب شده است. در مقایسه با گزارش شبکه لرزه‌نگاری کشوری (IRSC)، بیشترین خطای کمیت‌های محاسبه شده مربوط به زمین‌لرزه‌های جوادآباد و شهمیرزاد می‌باشد که این میزان خطا به دلیل کمبود داده‌های با کیفیت بالاست.

واژه‌های کلیدی: سامانه هشدار سریع، PRESTo، داده‌های شتاب‌نگاری، شبکه مدیریت بحران شهرداری تهران

## Evaluation of the PRESTo for the Tehran region using the acceleration data of the TDDMO network

Mehdi Nazeri<sup>1</sup> Zaher Hossein Shomali<sup>2</sup> Sahar Nazeri<sup>3</sup> Rahim Norouzi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>MS.c of Geophysics, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

<sup>3</sup>Department of Physics, University of Naples Federico II, Naples, Italy

<sup>4</sup>Tehran disaster mitigation and management organization, Tehran, Iran

### Abstract

In this study, the PRESTo package (PRobabilistic and Evolutionary early warning SysTem) is evaluated in the Tehran region, using the acceleration dataset of the TDDMO network (Tehran Disaster Mitigation and Management Organization) for four earthquakes  $M > 4.0$ . The selected events are Sharifabad, magnitude 4.0 (2011), Javadabad, magnitude 4.1 (2015), Firoozkooh, magnitude 4.6 (2015) and Shahmirzad, magnitude 4.4 (2016). Despite of some problems such as low SNR and event station geometry, the obtained results are acceptable in terms of their uncertainties. In comparison to the results obtained by Iranian Seismological Center (IRSC), the maximum error of the calculated parameters are associated with the Javadabad and Shahmirzad earthquakes which is mainly due to lack of the recorded high quality data.

**Keywords:** Earthquake early warning system, PRESTo, acceleration data, TDDMO network

### ۱ مقدمه

بدون شک یکی از مباحث کاربردی و به‌روز چند دهه اخیر در حوزه زلزله‌شناسی، مباحث مرتبط با سامانه‌های هشدار سریع است که به طور جدی در کشورهای پیشرفته‌ای نظیر ژاپن، آمریکا، تایوان، مکزیک، رومانی و ایتالیا مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس تقسیم‌بندی‌های اولیه (ناکامورا، ۱۹۸۸) و وابسته به تعداد ایستگاه‌ها و شبکه موجود، این سامانه‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند. دسته اول سامانه‌های Regional (منطقه‌ای یا شبکه‌ای) هستند که نیاز به وجود شبکه منظم در محل گسل‌ها و مناطق پرخطر لرزه‌خیز دارند. دسته دوم سامانه ایستگاهی On-site (در محل) می‌باشد که وابسته به یک شبکه منظم نیست و تنها با نصب تعداد محدودی ایستگاه در محل‌های حساس و استراتژیک فعال می‌گردد. برخلاف سامانه‌های هشدار سریع شبکه‌ای، در گونه دوم محاسبه دقیق مکان و بزرگای رخداد ملاک اصلی کار نیست. درواقع اعلام هشدار به

صورت بیان کیفی از کمیت‌های موردنظر صورت می‌گیرد. امروزه به منظور هرچه بالاتر بردن دقت محاسبات و افزایش زمان در دسترس پس از اعلام هشدار، استفاده ترکیبی از هر دو سامانه مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (زولو و همکاران، ۲۰۱۰). به عنوان مثال سامانه هشدار سریع ایتالیا به صورت ترکیبی و در نظر گرفتن خروجی هر دو سامانه شبکه‌ای PRESTo (PRobabilistic and Evolutionary early warning SysTem) و درمحل SAVE (Software for the on-site earthquake early warning) عمل می‌کند. سامانه هشدار سریع SAVE که بعد از رسیدن امواج اولیه زمین‌لرزه، به صورت برخط گزارش کیفی از بزرگای، محل و میزان شدت رخداد را ارائه می‌دهد، سامانه مناسبی برای اعلام هشدار به مکان‌های نزدیک به گسل‌های فعال می‌باشد.

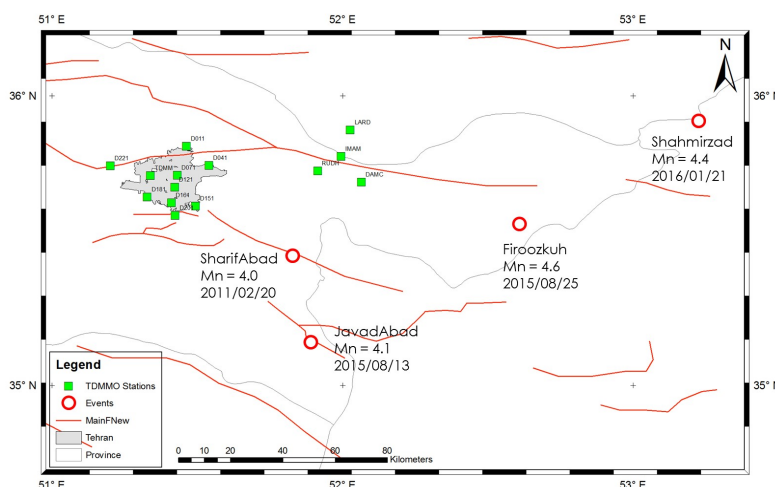
در این پژوهش، با توجه به اهمیت بالای منطقه تهران از نظر سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و البته لرزه‌خیزی و پیرو کار قبلی انجام شده توسط ناظری و همکاران (۲۰۱۶) سامانه هشدار سریع شبکه‌ای PRESTo با در نظر داشتن تعداد زمین‌لرزه‌های بیشتر، مورد ارزیابی دقیق‌تری قرار گرفته است.

## ۲ روش تحقیق

مبنای کار اغلب سامانه‌های هشدار سریع بر اساس تعیین محل تقریبی، تخمین بزرگای و همچنین محاسبه عدم قطعیت‌های متناسب با آن‌ها درست چند ثانیه بعد از اولین تشخیص رخداد زمین‌لرزه و در کمترین زمان ممکن می‌باشد. الگوریتم‌های به کار رفته در محاسبه و تخمین کمیت‌های مورد نظر به نحوی انتخاب می‌شوند که ضمن داشتن دقت بالا، از سرعت محاسباتی قابل توجهی نیز به جهت افزایش زمان در دسترس برای اعلام هشدار برخوردار باشند. بر اساس آخرین گزارش‌های ارائه شده، سامانه هشدار سریع PRESTo عملکرد قابل قبولی از خود نشان داده که همه گواهی بر انتخاب مناسب الگوریتم‌ها و پارامترهای مرتبط می‌باشد (پیکوتزی و همکاران، ۲۰۱۵). در این سامانه، بعد از تعیین اولین فازهای رسیده و آشکارسازی زمین‌لرزه، ابتدا محل احتمالی رخداد تعیین می‌شود و در ادامه بزرگای زمین لرزه محاسبه می‌گردد.

روش تعیین محل در PRESTo، یک روش احتمالاتی غیرخطی است که اصول اولیه آن بر اساس فرمول‌بندی اختلاف زمانی هم‌ارز (EDT) استوار است (فونت، ۲۰۰۴؛ لوماکس، ۲۰۰۵). از طرفی، محاسبه بزرگای زمین‌لرزه در این سامانه مطابق با الگوریتم زمان-واقعی احتمالاتی Bayesian است که بر اساس محاسبه محتوای دامنه موج P و اولین موج S های رسیده به ایستگاه‌های نزدیک می‌باشد (زولو و همکاران، ۲۰۰۶).

در اینجا، برای ارزیابی و امکان‌سنجی هرچه بیشتر سامانه هشدار سریع PRESTo در منطقه تهران، داده‌های شتاب‌نگاری شبکه (TDDMMO (Tehran Disaster Mitigation and Management Organization) وابسته به شهرداری تهران مربوط به زمین‌لرزه‌های شریف‌آباد، بزرگای ۴.۰ (۲۰۱۱)، جوادآباد، بزرگای ۴.۱ (۲۰۱۵)، فیروزکوه، بزرگای ۴.۶ (۲۰۱۵) و شه‌میرزاد، بزرگای ۴.۴ (۲۰۱۶) مورد استفاده قرار گرفته‌است. شکل ۱ محل رخداد این زمین‌لرزه‌ها را نسبت به شهر تهران و شبکه TDDMMO نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت چهار زمین لرزه مورد بررسی نسبت به شهر تهران. شبکه شتاب‌نگاری TDDMMO به صورت مربع مشخص شده است. خطوط قرمز رنگ نشان‌دهنده گسل‌های منطقه هستند.

شایان ذکر است که مدل سرعتی عباسی و همکاران (۲۰۱۰) نیز برای منطقه تهران در نظر گرفته شده است (جدول ۱). نتایج نهایی اجرای PRESTo، برای چهار زمین‌لرزه مورد نظر شامل زمان رخداد، بزرگا و مکان زمین‌لرزه (طول و عرض جغرافیایی)، فاصله رخداد از مرکز مدیریت بحران شهرداری تهران و زمان در دسترس (Lead Time) بعد از اولین هشدار و قبل از رسیدن امواج مخرب به مرکز مدیریت بحران شهرداری تهران در جدول ۲ گزارش شده است.

جدول ۱. مدل سرعتی عباسی و همکاران (۲۰۱۰) مورد استفاده در سامانه هشدار سریع PRESTo

Depth (km)	Vp (km/s)	Vs (km/s)	عباسی و همکاران (۲۰۱۰)
0	5.6	3.3	
2	5.4	3.1	
3	5.8	3.4	
7	6.1	3.5	
16	6.3	3.1	
24	6.4	3.6	

جدول ۲. مقایسه نتایج حاصل از اجرای سامانه هشدار سریع PRESTo و مرکز لرزه نگاری کشور (IRSC). اعدادی که با رنگ قرمز مشخص شده‌اند مقدار خطا نسبت به موارد گزارش شده توسط IRSC می‌باشد.

		Origin time	Lat (deg)	Long (deg)	Magnitude	Distance from TDMMO (KM)	Lead Time for TDMMO
فیروزکوه	IRSC	17:36:33.00	35.56	52.61	4.6 (Mn)	142.23	20.00 s
	PRESTo	17:36:37.83	35.64	52.35	3.7 (Mp)	112.55	
		4.83 s	0.08	0.26	0.9	29.68	
جوادآباد	IRSC	18:42:13.00	35.15	51.89	4.1 (Mn)	88.72	15.63 s
	PRESTo	18:41:56.88	35.56	51.88	5.7 (Mp)	62.84	
		16.12 s	0.41	0.01	1.6	25.88	
شهمیرزاد	IRSC	04:55:46.00	35.91	53.22	4.4 (Mn)	209.53	28.66 s
	PRESTo	04:55:56.55	35.78	52.55	5.1 (Mp)	134.42	
		10.55 s	0.13	0.67	0.7	75.11	
شریف آباد	IRSC	11:22:16.50	35.45	51.83	4 (Mn)	62.64	06.92 s
	PRESTo	11:22:19.15	35.52	51.71	3.3 (Mp)	47.22	
		2.65 s	0.07	0.12	0.7	15.42	

### ۳ نتیجه‌گیری

در این مقاله، امکان سنجی هر چه بیشتر سامانه هشدار سریع PRESTo با استفاده از شبکه شتاب‌نگاری TDMMO در محدوده شهر تهران مورد بررسی قرار گرفت. پیش از داشتن هرگونه نتیجه‌گیری، ذکر این نکته حائز اهمیت است که سامانه مورد بررسی یک سامانه شبکه-محور است لذا توزیع مناسب ایستگاه‌های موجود در شبکه نسبت به زمین‌لرزه در کنار کیفیت مناسب داده‌های برداشت شده امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در حالی که، هر چهار زمین‌لرزه انتخاب شده نسبت به شبکه انتخابی TDMMO، زمین‌لرزه‌های خارج شبکه می‌باشند. علاوه بر آن اگرچه شبکه TDMMO دارای ۱۰ ایستگاه داخل شهری بعلاوه چهار ایستگاه نصب شده بر روی گسل مشاء می‌باشد، اما داده‌های برخی از ایستگاه‌ها به دلیل کیفیت پایین آن‌ها مطابق با فاکتورهایی نظیر نسبت سیگنال به نوفه قابل استفاده نبودند. بنابراین با توجه به تعداد پایین سیگنال‌های ورودی، خارج شبکه بودن زمین‌لرزه‌های انتخابی و در بعضی از موارد وجود گپ آزیموتی بالا، نتایج و خروجی حاصل از ارزیابی آن برای منطقه تهران قابل تامل می‌باشد. بیشترین خطای موجود در زمان رخداد ۱۶.۱۲ ثانیه، در مکان ۰.۶۷ درجه (۷۵.۱۱ کیلومتر) و در بزرگا ۱.۶ واحد برای زمین‌لرزه‌های جواد آباد و شهمیرزاد بوده که به دلیل کمبود داده‌های با کیفیت بالا می‌باشد.

### تقدیر و تشکر

با تشکر از شهرداری تهران بالاخص سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهرداری تهران که کمال همکاری را داشته و داده‌های مورد نیاز را در اختیار نگارندگان این پژوهش قرار دادند.

## 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, 68–78.
- Font, Y., Kao, H., Lallemand, S., Liu, C.-S. and Chiao, L.-Y. (2004). Hypocentral determination offshore eastern Taiwan using the maximum intersection method, *Geophys. J. Int.* 158, 655–675.
- Nakamura, Y. (1988), On the urgent earthquake detection and alarm system (Uredas). in *proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, vol. VII, pp. 673–678, Univ. do Porto, Fac. de Eng., Porto, Portugal.
- Nazeri, S., Zollo, A., Luca, E., Shomali, Z., 2016, An application of Probabilistic and Evolutionary early warning System (PRESTo) for 2011-02-20 Mn 4.0 Sharif-Abad earthquake: The 17th Iranian Geophysical Conference.
- Picozzi, M., Zollo, A., Brondi, P., Colombelli, S., Elia, L., and Martino, C., 2015, Exploring the feasibility of a nationwide earthquake early warning system in Italy: *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120.
- Zollo, A., Lancieri, M. and Nielsen, S. (2006). Earthquake magnitude estimation from peak amplitudes of very early seismic signals on strong motion records. *Geophysical Research Letters*, 33(23), L23312.
- Zollo, A., Amoroso, O., Lancieri, M., Wu, Y. M. and Kanamori, H. (2010). A threshold-based earthquake early warning using dense accelerometer networks. *Geophys. J. Int.*, 183, 963–974.