



## طراحی و اجرای سامانه پاسخ سریع زمین لرزه در شهر تهران

حسین میرزایی علویجه\*<sup>۱</sup>، اسماعیل فرزنانگان<sup>۲</sup>، فریدون سیناییان<sup>۳</sup>، حسین عبداللهی تیچی<sup>۴</sup>

۱- مربی، زمین شناسی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

۲- مربی، تکتونیک، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

۳- دانشیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

۴- کارشناس، جغرافی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

\* تهران، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی mirzaei@bhrc.ac.ir

### چکیده

موقعیت زمین شناسی و لرزه زمین ساختی ایران، در طول تاریخ باعث رویداد زمین لرزه های ویرانگر در این سرزمین شده است. در این میان با نگاهی تاریخی و از دیدگاه لرزه خیزی به محدوده جغرافیایی شهر تهران نشان دهنده، فعالیت لرزه خیزی بالای آن است. با توجه به سوابق لرزه خیزی آن و وجود گسل های مهم در شهر تهران، احتمال رویداد یک زمین لرزه در این شهر بزرگ وجود دارد. در این راستا نیاز است تمهیدات لازم جهت مدیریت در شرایط بحران، به کار گرفته شود. یکی از ابزارهای مدیریت بحران، داشتن اطلاعات دقیق از رویداد زمین لرزه است. در این شهر بزرگ در موقع رویداد زمین لرزه ای مخرب، بدون اتکا به داده های سریع و دقیق از مکان زمین لرزه و سایر پارامترهای اساسی آن امکان پذیر نیست. در این خصوص، شبکه ملی شتابنگاری زلزله ایران، طراحی و اجرای یک سامانه پاسخ سریع زمین لرزه که اطلاعات اساسی را در فاصله زمانی اندکی از رویداد زمین لرزه در اختیار مسؤولان ذیربط قرار دهد اجرا نموده است. تا کنون بیست ایستگاه شتابنگاری پاسخ سریع در دانشگاه های صنعتی شریف، شهید عباسپور، تهران، الزهرا، شهید رجایی، تربیت مدرس، شهید بهشتی، علم و صنعت ایران، خواجه نصیر طوسی، علوم و تحقیقات، مرکز تحقیقات، پارک شهر، سازمان زمین شناسی، شهرداری ناحیه ۲ منطقه ۵، شهرداری منطقه ۲۲، بیمارستان فیاض بخش، فرهنگسرای خاوران، فرهنگسرای بهمن، فرمانداری شهرری و بخشرداری چهاردانگه نصب و راه اندازی شده است. اطلاعات این ایستگاه ها به صورت برخط، از طریق خطوط مخابراتی زمینی ام پی ال اس (Multiprotocol Label Switching) به سرور مرکزی در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انتقال می یابد و بر اساس اطلاعات دریافت شده نقشه های هم لرزه تولید می شود که در فاصله زمانی یک دقیقه به هنگام می گردد.

کلید واژگان: گسل، زمین لرزه، شتابنگاری، پاسخ سریع، سامانه

## Design and Installation of Rapid Response System for Tehran City

H. Mirzaei Alavijeh<sup>\*1</sup>, E. Farzanegan<sup>2</sup>, F. Sinaeian<sup>3</sup>, H. Abdolahi Tichi<sup>4</sup>

1- Iran Strong Motion Network, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

2- Iran Strong Motion Network, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

3- Iran Strong Motion Network, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

4- Iran Strong Motion Network, Road, Housing, and Urban Development Research Center, Tehran, Iran

\* P.O. Box 1463917151, Tehran, Iran, mirzaei@bhrc.ac.ir

### Abstract

The Greater Tehran Area is located at the foot slope area of the Alborz Mountains, which form part of the Alpine-Himalayan Orogenic Zone. The urban area of Tehran has been developed on alluvial layers accumulated on hard rock through complex geological formations. Seismologists believe that a strong earthquake will strike Tehran in near future, because the city has not experienced a disastrous earthquake since 1830. Fast growth of population and urbanization in previous decades due to immigration, lack of strong regulations for urban development and existence of several active faults around the city cause the vulnerability of Tehran against the moderate to large earthquakes. A modern strong motion network in Tehran plays an important role in making a rapid response to the incoming earthquakes. This network is able to improve the conditions for determination of magnitude, location and engineering parameters of the regional earthquakes. With the aims of acquiring and monitoring of strong motion data, development of empirical strong ground motion data base, improvement in microzonation, and obtaining effective information for estimation of ground shaking and damage, a strong motion network including 20 stations has been installed in Tehran metropolitan area. Establishment of this network has been done by Iranian Strong Motion Network (ISMN) department of Building and Housing Research Center (BHRC) in frame of a pilot project called "design, installing and operating of earthquake rapid response system for 20 strong motion stations in Tehran".

### Keywords

Styles, vulnerability, strong motion, rapid response, microzonation

## ۱. مقدمه

مدیریت مخاطرات طبیعی، به خصوص زمین‌لرزه امری مشکل است. اگر چه امروزه بشر با پیشرفت‌های تکنولوژیکی، به خصوص در زمینه مقابله با زمین‌لرزه به نتایج مطلوبی رسیده است و نمود عینی آنها را در آئین‌نامه‌های ساخت‌وساز مشاهده می‌کنیم [۱]. ولیکن هنوز زمین‌لرزه در زمره مخاطره‌آمیزترین پدیده‌های طبیعی محسوب می‌شود. امروزه دانشمندان علوم زمین‌لرزه صراحتاً بر این نکته تاکید دارند که پیش‌بینی زمین‌لرزه به این معنا که بزرگا و مکان آن مشخص گردد با دانش فعلی بشر امکان پذیر نیست، ولیکن سیستم‌های هشدار و پاسخ سریع زمین‌لرزه می‌توانند در کاهش خسارات جانی و مالی زمین‌لرزه بسیار سودمند باشند.

نیاز به یک سامانه هشدار سریع در زمینه زمین‌لرزه به‌خصوص در مورد مکان رویداد آن ریشه‌ای تاریخی دارد. شاید لرزه‌نگار ابتدایی چینی‌ها که بیش از ۲۰۰۰ سال قدمت دارد اولین کوشش‌های بشر در راه رسیدن به این نیاز بود. اگرچه هنوز نیز بشر نتوانسته این مسأله را به‌خوبی حل کند چرا که می‌بینیم در زمین‌لرزه ژانویه ۱۹۹۵ کوه ژاپن [۲]، یک روز زمان صرف شد تا ابعاد گسترده فاجعه آشکار شود و در ایران بارها نیز با این معضل روبرو بوده‌ایم. سیستم‌های هشدار و پاسخ سریع به این نیاز اطلاعاتی آشکارا پاسخ مثبت می‌دهند.

زمین‌لرزه ۲۱ سپتامبر ۱۹۹۹ چیچی تایوان اولین تجربه عملکرد مثبت این سیستم بود [۳]. اطلاعات به‌دست آمده از این سیستم در این زمین‌لرزه تصویر دقیقی از اثرهای این رویداد را آشکار و مسیر امداد را مشخص و کمک شایانی به امداد گران نمود. مدیریت موثر بحران در این زمین‌لرزه جان تعداد زیادی از مردم را نجات داد. این سیستم بر اساس عملکرد صدها دستگاه شتابنگار و لرزه‌نگار که در سراسر جزیره نصب شده‌اند عمل می‌کند که همه آنها به یک سیستم کنترل مرکزی متصل هستند. مشابه این سیستم در استانبول ترکیه، مکزیکو سیتی، کالیفرنیا و هند در حال فعالیت هستند [۴، ۵، ۶، ۷].

سامانه‌های هشدار و پاسخ سریع زمین‌لرزه بر اساس اختلاف زمانی رسید امواج P یا اولیه و امواج S یا ثانویه استوار هستند و با توجه به این اختلاف و تفاوت سرعت بسیار زیاد امواج رادیویی یا مشابه با امواج زمین‌لرزه قادر به ارسال هشدار در بدو رویداد زمین‌لرزه و یا آرایه اطلاعات اساسی جنبش نیرومند زمین بلافاصله بعد از رویداد زمین‌لرزه هستند. نکته مهم در سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه فاصله زمانی بین رسید امواج P و S است که هر چه این زمان بیشتر باشد، فرصت بیشتری برای هشدار وجود خواهد داشت. در سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه شهر تهران و در مرحله اول ۲۰ دستگاه شتابنگار در مناطق مختلف تهران نصب شد. ارتباطات آنها از طریق خطوط تلفن ام پی ال اس میسر شد. با توجه به شرایط بحران در هنگام وقوع زمین‌لرزه، نیاز است ارتباطات غیر زمینی، مانند: ارتباطات موبایل (GSM) و در نهایت سیستم ماهواره‌ای، مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

## ۲. دلایل ایجاد سامانه‌های پاسخ سریع در جهان

دهها میلیون انسان به وسیله بلایای طبیعی در جهان در معرض خطر هستند. فاجعه‌ای که به‌وسیله زمین‌لرزه‌ها یا فعالیت آتشفشان‌ها، طوفان‌ها، سیل‌ها و قحطی به‌وجود می‌آیند، جان هزاران نفر از انسان‌ها را می‌گیرد و همچنین

باعث خسارتهای اقتصادی در حدود  $10^9$ - $10^{12}$  دلار در هر سال می‌شود. برای مثال، در سال ۲۰۰۴، بلایای طبیعی بیش از ۱۸۰۰۰۰ قربانی گرفت و در حدود ۱۴۵ میلیارد دلار خسارت مالی ایجاد کرد. با اضافه نمودن قربانیان سونامی در جنوب آسیا در ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ تعداد مرگ و میر به بیش از ۳۰۰۰۰۰ نفر رسید. در دهه‌های گذشته نیز به‌خصوص به دلیل افزایش آسیب پذیری جوامع در معرض خطر، تعداد بلایا به‌طور چشمگیری فزونی یافته است. آسیب‌پذیری جوامع انسانی به دلیل فاکتورهای پیچیده اجتماعی و اقتصادی مثل رشد جمعیت و مهاجرت، روند پیشرفت و توسعه صنعتی و همچنین مداخله در سیستم‌های طبیعی است. تحقیق بیشتر در مورد دلایل فیزیکی این پدیده‌ها در چند سال گذشته منتهی به توسعه تکنیکی و به‌کارگیری ابزارهایی برای پیش‌بینی و پیشگیری بعضی از آنها گردید. با توجه به ماهیت زمین‌لرزه، مسأله بسیار پیچیده‌تر است. پیش‌بینی زمین‌لرزه هنوز قابل اعتماد نیست و نمی‌توان زمان، مکان و بزرگی زمین‌لرزه را با روش قطعی اعلام کرد. این هم به دلیل ناهمگنی زمین، عدم دسترسی به زون‌های گسلی برای اندازه‌گیری‌ها، تنوع و گستردگی و سازوکارهاست. همچنین، عدم قطعیت‌های شرایط اولیه قابل پیش‌بینی بودن زمین‌لرزه قوی را به‌طور چشمگیری محدود می‌نماید. در حالی‌که بیشتر کارشناسان برای سرمایه‌گذاری‌های سنگین برای پیش‌نشانگرها (precursors) ابهام دارند، ولی تقریباً همگی بر روی سرمایه‌گذاری به منظور کاهش ریسک زمین‌لرزه توافق دارند. در طی تحقیقات انجام گرفته این‌گونه نتیجه‌گیری شده است که سیستم هشدار سریع زمین‌لرزه و سیستم پاسخ سریع زمین‌لرزه، در راستای کاهش خسارتها و تلفات انسانی، از کار انداختن شریان‌های حیاتی (در صورت نیاز) بسیار موثر هستند.

## ۳. ضرورت ایجاد سامانه پاسخ سریع در شهر تهران

شهر تهران در دامنه جنوبی البرز کوه مرکزی و بر روی نهشته‌های آبرفتی کواترنر بنا شده و قسمت جنوبی آن کم و بیش در کناره شمال باختری کویر بزرگ مرکزی ایران قرار دارد. اختلاف بلندی ناگهانی و شدید میان شهر تهران (با میانگین ارتفاع ۱۳۰۰ متر) و نزدیکترین قله به آن در یک فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر (قله توچال با بلندی نزدیک به ۳۹۳۳ متر) یکی از ویژگیهای پستی و بلندی گستره تهران است که به نظر چالنگو (۱۹۷۴) [۸]، نتیجه‌ی مولفه‌ی شاغولی است که در راستای راندگی جنبای شمال تهران رویداده است. علاوه بر وجود راندگی جنبای شمال تهران و چند گسل جوان و جنبای دیگر در شمال و جنوب شهر، نهشته‌های آبرفتی دشت تهران و شهر ری دارای شکستگی‌های کوچک فراوانی است که ممکن است به هنگام جنبیدن گسل‌های بزرگ و زمین‌لرزه دچار لغزش، جنبش و جابه‌جایی شوند. زمین‌لرزه‌های مخرب تاریخی در ناحیه شهر ری در زمان ۴ سده پیش از میلاد مسیح و همچنین زمین‌لرزه‌های تاریخی ۷۴۳، ۸۵۵ و ۹۵۸ شهر ری و از سوی دیگر رویداد زمین‌لرزه‌های مهم ۱۱۷۷ و ۱۹۶۲ میلادی بوئین زهرا، که برآورد می‌شود همگی بزرگایی بیش از ۷ داشته‌اند، نمایانگر احتمال رویداد زمین‌لرزه‌های مخرب در ناحیه شهری یا در نزدیکی گستره شهر تهران است [۹].

رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در شهر تهران پیامدهای فاجعه باری به دنبال خواهد داشت به طوری‌که اثرهای ویرانگر آن بر جامعه و اقتصاد کشور

در بحث سیستم‌های هشدار با سه مرحله اصلی روبرو هستیم که نوع آرایش و سیستم‌های مورد استفاده متفاوت هستند [۱۰].

الف) چند ثانیه قبل از زمین لرزه:

سامانه‌های هشدار اولیه زمین لرزه (Earthquake Early Warning System) نقش اساسی را در این مواقع ایفا می‌نمایند. زمان هشدار از صفر تا حد اکثر ۹۰ ثانیه است. این سامانه بر اساس ثبت اولین رسید موج P توسط تعدادی از دستگاه لرزه‌نگار و با علم به اینکه بین رسید امواج P و امواج مخرب تر S فاصله زمانی وجود دارد عمل می‌کنند. عملکرد ناشی از هشدار این سامانه می‌تواند به تخلیه ساختمانها (که البته تعداد کمی از مردم می‌توانند در مدت ۳۰ ثانیه ساختمان را تخلیه کنند) و توقف عملکرد شریانهای حیاتی و مترو منجر شود.

ب) حین زمین‌لرزه

سامانه‌های اعلان خطر لرزه‌ای (Seismic Alarm System) اعلان خطر یا زنگ خطر این سیستم لرزه‌ای می‌تواند هشدار یا سیگنال لازم برای قطع شریانهای حیاتی داخل سیستم‌های مسکونی مانند گاز و آسانسورها، سیستم‌های توزیع برق در داخل شهرها و را تامین نماید.

ج) بلافاصله پس از زمین‌لرزه

سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه (Earthquake Rapid Response System) در این حالت اطلاعات به‌دست آمده در این سامانه چند ثانیه پس از رویداد زمین‌لرزه منجر به تهیه نقشه‌های خسارت بر اساس مقادیر شدت طیفی (spectrum intensity) می‌گردند. این نقشه‌ها مناطق آسیب‌دیده را مشخص و کمک فراوانی به امدادگران برای رسیدن به مناطق با خسارات بالا می‌نمایند.

از میان سامانه‌های شرح داده شده در بالا، سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه پیچیده‌تر از سایر سامانه‌هاست. این سامانه نیاز به دستگاههای شتابنگار دارد که بتوانند به‌صورت برخط (on line) مقادیر بیشینه شتاب و شدتهای طیفی را در نزدیکی چشمه زمین‌لرزه مهیا کند و ارتباط مستمری بین ایستگاههای لرزه‌ای و مرکز پردازش داده‌ها برقرار باشد. البته سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه می‌تواند به عنوان سامانه اعلان خطر و پاسخ زمین‌لرزه نیز عمل کند، در صورتی که تعدادی از دستگاههای شتابنگار در ساختمانهای مهم و به‌طور یکنواخت در مناطق شهری نصب گردند. به طور نمونه این چنین سیستمی می‌بایست شامل تعدادی از ایستگاههای لرزه‌نگاری در مناطق نزدیک به چشمه‌های لرزه‌زا باشد. کاربردهای اصلی این سامانه در مناطق شهری، قطارهای سریع السیر، سامانه‌های توزیع گاز و سایر شریانهای حیاتی و مراکز مهم اقتصادی است.

در مورد سامانه اعلان خطر، دستگاههای شتابنگار در داخل سازه‌ها جایی که سیگنالهای هشدار مورد نیاز است قرار دارند (مثلاً یک نیروگاه اتمی). ارتباط مداوم بین ایستگاههای لرزه‌نگار و مرکز اعلان خطر باید برقرار باشد، اما سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه نیاز به تعداد زیادی دستگاه شتابنگار دارد که این دستگاهها به‌صورت یکنواخت در مناطق شهری نصب می‌گردند. ایستگاههای شتابنگاری می‌توانند مجهز به سیستم‌های ارتباطی موبایل باشند تا بلافاصله پس از زمین‌لرزه از طریق ارسال پیام کوتاه، اطلاعات لازم را به مرکز کنترل ارسال نمایند. پیام‌رسانی می‌تواند شامل اطلاعاتی نظیر بیشینه شتاب ثبت شده، مقادیر شتاب طیفی و... باشد که اساس تهیه نقشه‌های خسارت و آسیب هستند.

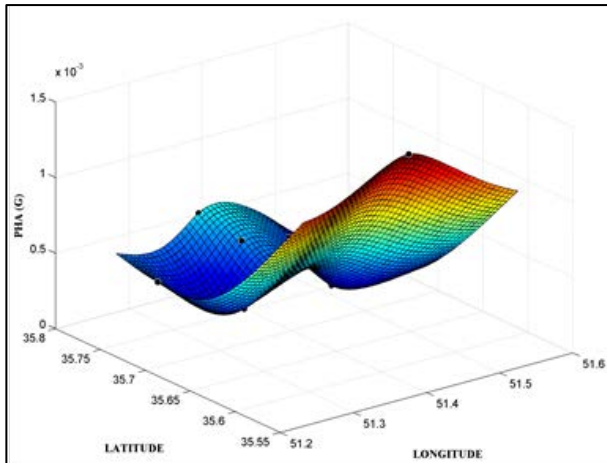
خسارات جبران‌ناپذیر خواهد گذاشت. مهمترین چالش‌های پیش رو در برابر رویداد یک زمین‌لرزه ویرانگر در این شهر به صورت خلاصه بدین صورت است:

- ایمنی تاسیسات مهم و حیاتی، مانند: بیمارستانها، مراکز آتش‌نشانی، مراکز کمک‌رسانی
- وضع ساختمان‌های شهر تهران که شامل تعداد بسیار زیادی ساختمان قدیمی فاقد اسکلت و ساختمانهای نوساز فاقد مقاومت در برابر زمین‌لرزه هستند.
- لوله‌های فرآورده‌های نفتی و گازی و انبارهای بزرگ فرآورده‌های نفتی به‌خصوص در مناطق جنوبی تهران
- لوله‌کشی گاز تهران و احتمال رویداد آتش‌سوزی
- ایمنی سدهای پیرامون تهران و برش لوله‌های آورنده آب به شهر تهران
- ایمنی کابلهای فشار قوی
- روانگرایی خاک در برخی مناطق به‌خصوص در جنوب شهر تهران
- احتمال رویداد زمین لغزش و سنگ‌ریزش به‌خصوص در مناطق شمالی و کوهستانی پیرامون

موارد فوق تنها فهرست اندکی است که از خطرهای یک زمین‌لرزه احتمالی در شهر تهران می‌توان برشمرد. مهمترین سوالی که در پی رویداد یک زمین‌لرزه بزرگ در شهری مانند تهران مطرح است، شناسایی مناطقی است که بیشترین خسارتها و تلفات را در هنگام رویداد متحمل شده‌اند. مسلماً اتکا به روشهای سنتی و تجربیات گذشته کشور در برابر زمین‌لرزه نمی‌تواند برای ابرشهری مانند تهران کارساز باشد. لذا ضروری است با به‌کارگیری امکانات مدرن سخت‌افزاری و نرم‌افزاری و سامانه‌های ارتباطی ایمن، دامنه خسارات این پدیده طبیعی را به حداقل رساند. امروزه در کشورهای مدرن و لرزه‌خیز به‌کارگیری سامانه‌های واکنش و هشدار سریع زمین‌لرزه به یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر در امر مدیریت بحران بدل شده است.

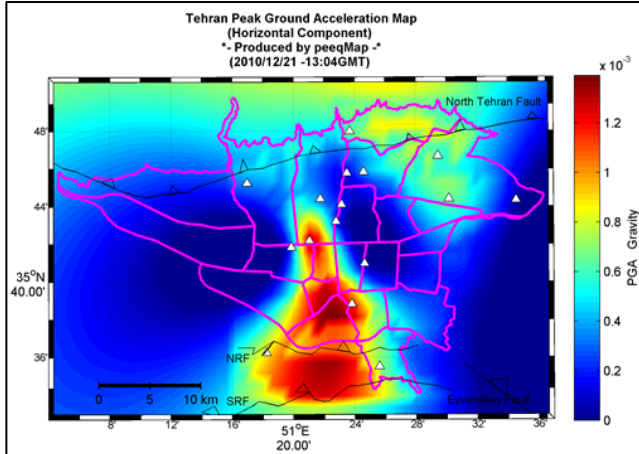
#### ۴. سیستم‌های هشدار سریع

چند ساعت اولیه پس از وقوع زمین‌لرزه، اطلاعات مربوط به واقعه بسیار مهم و حیاتی هستند و به شدت این اطلاعات برای بهینه کردن توزیع منابع و مدیریت بحران مورد نیاز است. سیستم‌های هشدار زلزله از سیستم‌های اطلاعاتی داده - زمان واقعی زمین‌لرزه هستند و شامل تعداد زیادی از ایستگاههای لرزه‌نگاری و شتابنگاری است که با نظم و الگوی معینی در منطقه مورد نظر نصب شده‌اند. با توجه به این که دستگاههای لرزه‌نگار باند پهن در نزدیکی مراکز زمین‌لرزه اشباع می‌شوند و دستگاههای شتابنگار قادر به ثبت خرد لرزه‌ها نیستند، ترجیحاً هر دو نوع دستگاه با چیدمانی معین در سطح یک منطقه شهری یا ناحیه‌ای توزیع می‌شوند. یک ارتباط مستمر و مداوم با پایگاه پردازشگر مرکزی مورد احتیاج است و هر ثانیه این دستگاهها به‌طور مستمر اطلاعات را به کنترل مرکزی می‌فرستند. ایستگاههای سیستم‌های هشدار سریع می‌توانند به‌وسیله وسایل مختلف ارتباطی، مانند: تلفن، تلفن‌های همراه، اینترنت و ماهواره مجهز شوند. از این طریق اطلاعات پارامترهای جنبش زمین را به پایگاه می‌فرستند. این اطلاعات برای تهیه نقشه‌های لرزش به صورت اتوماتیک، لازم و اساسی هستند که خود این نقشه‌ها ورودی‌های اصلی برای تخمین و برآورد خسارات و کشته‌ها می‌باشند.



شکل ۱ صفحه گذرنده از نقاط داده به‌دست آمده از ایستگاه‌ها

نرم افزار peeMap در سرور موجود در مرکز داده پروژه راه‌اندازی شد. پنجره جغرافیایی مطلوب برای ترسیم نقشه لرزش با توجه به پوشش شبکه از شرق و غرب مماس با حدود شهر تهران ( $37^{\circ} 51' - 37^{\circ} 51'$ ) و از جنوب و شمال ( $32^{\circ} 32' - 35^{\circ} 50'$ ) تعیین گردید. پس از ایجاد تطبیق و هماهنگی برای بهره‌برداری از داده‌های جمع‌آوری شده از ایستگاه‌ها، نقشه‌های لرزش هر یک دقیقه یک‌بار توسط نرم‌افزار peeMap مطابق شکل زیر تولید می‌شوند. علاوه بر نقشه‌های حاصل در قالب بصری خروجی نرم‌افزار در قالب فایل متنی می‌تواند به عنوان ورودی در سایر نرم‌افزارها از جمله نرم‌افزارهای برآورد خسارت و تلفات و GIS به‌کار گرفته شود.



شکل ۲ نقشه خروجی بعد از پردازش داده‌های شتابگاری

#### ۵. سیستم جامع ارتباطی سامانه پاسخ سریع

سیستم جامع ارتباطی، یک سیستم یکپارچه و برخط مدیریت داده‌های شتابنگاری در این طرح است. بدیهی است بنا بر مقتضیات زمان و نیازهای تعریف شده شبکه‌ی شتابنگاری در آینده، می‌توان آن را توسعه داد و برای کل کشور مورد استفاده قرار داد. توسط این سیستم اطلاعات شتابنگاری پس از پردازش اولیه از سراسر ناحیه تحت پوشش به‌صورت پیوسته و برخط (online) جمع‌آوری و به‌صورت متمرکز و با یک استاندارد باز بر روی بانک

سیستم‌های هشدار سریع و اعلان خطر بیشتر برای قطع شریان‌های حیاتی و آسیب‌پذیر به‌کار برده می‌شود و هدف آنها تقریباً یکی است و سامانه‌های پاسخ سریع معمولاً برای مناطق بزرگ شهری و صنعتی جایی که مدیریت بحران حایز اهمیت بسیار است، کاربرد دارند. مهمترین خروجی یک سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه نقشه‌های لرزش زمین هستند. این ابزار یکی از کارآمدترین ابزارهای یک سیستم مدیریت بحران بلافاصله بعد از رویداد زمین‌لرزه است. این نقشه‌ها توزیع لرزش زمین را به‌صورت پارامترهای جنبش زمین نشان می‌دهند. اولین نقشه لرزش اتوماتیک به‌وسیله والد و همکاران (۱۹۹۹) برای زمین‌لرزه در کالیفرنیا جنوبی به عنوان قسمتی از پروژه (TriNet) تهیه گردید [۱۱].

برای سامانه پاسخ سریع شهر تهران، در فاز اول ۲۰ ایستگاه شتابنگار بدین منظور نصب شد تا در یک فاصله زمانی مطلوب نقشه‌ای از جنبش زمین را در مناطق مختلف تهیه و ارائه نماید. ولی رسیدن به یک نقشه قابل اعتماد نیاز به بیش از ۱۳۰ دستگاه شتابنگار دیگر در مناطق شهر تهران دارد. طراحی یک سامانه ارتباطی مطمئن و نرم‌افزار مدیریت سامانه از مراحل دیگر اصلی کار خواهند بود.

در سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه شهر تهران از نرم‌افزار peeMap استفاده شد. این نرم‌افزار برای تولید نقشه‌های مدیریت اضطراری پس از زمین‌لرزه است. این نرم‌افزار قابلیت تعیین محل و بزرگی زمین‌لرزه، برای تولید نقشه‌های لرزش در مقیاس منطقه‌ای و نیز توانایی ترسیم نقشه‌های لرزش شهری را داراست و قالب‌های بصری گوناگون را در دسترس قرار می‌دهد. در این نرم‌افزار قابلیت وارد کردن اثر تشدید ناشی از ساختگاه‌های گوناگون گنجانده شده است. روند پردازش اطلاعات در مقیاس شهری توسط نرم‌افزار peeMap به اختصار شامل مراحل زیر است [۱۲]:

- ۱- دریافت مقادیر بیشینه شتاب جمع‌آوری شده در ایستگاه‌ها
- ۲- تصحیح دامنه پارامترهای جنبش زمین به ساختگاه سنگ
- ۳- درون‌یابی عددی
- ۴- تصحیح دامنه پارامترهای جنبش زمین به ساختگاه اصلی مبدأ
- ۵- ترسیم نقشه نهایی

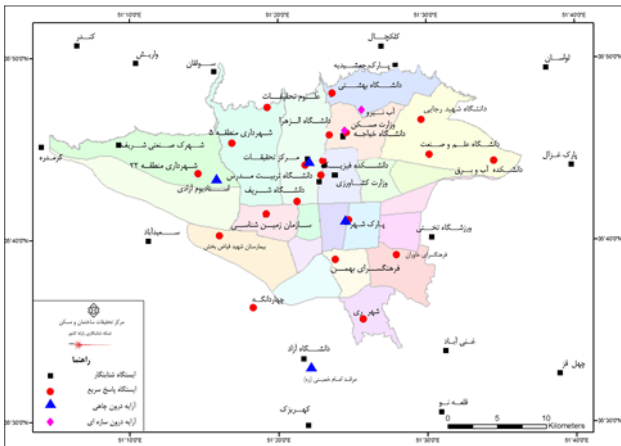
مراحل ۲ و ۴ از فرایند فوق در صورت فراهم نبودن اطلاعات مطلوب قابل صرف‌نظر کردن هستند. درون‌یابی عددی انجام شده در الگوریتم بالا، در واقع محاسبه صفحه گذرنده از بین نقاط داده به‌دست آمده از ایستگاه‌های مشاهداتی است که نمونه‌ای از آن در شکل زیر مشاهده می‌شود.

• سیستم کنترل و پردازش مرکزی سامانه هشدار و پاسخ سریع زمین‌لرزه با هدف جمع‌آوری سریع تمامی اطلاعات ثبت شده به‌وسیله دستگاه‌های ثبت‌کننده جنبش نیرومند زمین از مهمترین قسمت‌های این سامانه است. اطلاعات حاصل به‌منظور اخذ نتایج اولیه در مورد ماهیت جنبش و استخراج پارامترهای اساسی برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز در این بخش پردازش و تحلیل خواهد شد. این قسمت مشتمل بر رایانه‌های متعددی خواهد بود که از طریق سیستم‌های ارتباطی ایمن با کلیه مراکز ثبت لرزه در ارتباط است و اطلاعات حاصل به مراکز مهم نظیر مراکز امدادی و امنیتی و مراکز مدیریت بحران ارسال خواهد شد.

• ارتباطات از طریق سیستم‌های ماهواره‌ای و G.S.M. برقرار خواهد بود. سیستم کنترل مرکزی این سامانه در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، مستقر خواهد شد.

#### ۷. وضعیت فعلی شبکه شتابنگاری شهر تهران

با توجه به اهمیت شهر تهران توجه ویژه‌ای نسبت به پوشش مناسب این منطقه از کشور از سوی شبکه شتابنگاری مبذول شده است و تعداد ۵۵ ایستگاه شتابنگاری در شهر تهران آماده به کار هستند. از این میان دستگاه‌های شتابنگار سامانه پاسخ سریع زمین لرزه شهر تهران ۲۰ ایستگاه شتابنگاری (شکل ۳، جدول ۱) است و در نهایت نیاز به ۱۳۰ ایستگاه دیگر خواهد بود. این ایستگاه‌ها در فضای باز و در اتاقک‌های فایبرگلاس (۱۲۰\*۱۲۰ سانتیمتر) نصب شده‌اند (شکل ۴). در حال حاضر حدود ۵۵ دستگاه در تهران بزرگ نصب است. از این میان ۲۰ ایستگاه مربوط به سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه، هستند (شکل ۳).



شکل ۳ نقشه جانمایی دستگاه‌های شتابنگار

اطلاعاتی مرکزی ذخیره می‌گردد. این اطلاعات در صورت نیاز و پس از پردازش‌های تکمیلی، قابلیت تبدیل به نقشه‌های لرزه‌ای (Shake Map) منطقه‌ای و سراسری را خواهند داشت. همچنین می‌توان اطلاعات را برای استفاده سایر سازمانها و با هر پروتکل توافقی میان سازمانی به‌صورت پیوسته در اختیار آنان قرار داد. این سیستم از تجهیزات متصل به دستگاه‌های شتابنگاری، سیستم جمع‌آوری و انتقال اطلاعات، سیستم ذخیره‌سازی اطلاعات، سیستم پردازش اطلاعات، سیستم ارایه اطلاعات و هشداردهی، سیستم کنترل و مانیتورینگ اجزای پروژه، تشکیل شده است.

۵-۱- تجهیزات متصل به دستگاه‌های شتابنگار: این زیر سیستم در لایه صفر پروژه قرار دارد. عملیات تولید اطلاعات در این لایه صورت می‌گیرد. این تجهیزات دو نوع هستند:

• تجهیزات دارای پورت Ethernet

• تجهیزات دارای پورت RS232

سامانه مدیریت شتابنگاری در صورت نیاز قابلیت جمع‌آوری اطلاعات از روی تجهیزات با پورت‌های استاندارد و یا هر پورت اطلاعاتی دیگر را دارد و قابلیت به‌کارگیری تجهیزات شتابنگاری جدید و قدیمی را در کنار هم برای سیستم فراهم می‌کند. با این روش می‌توان از تمامی تجهیزات موجود به صورت بهینه استفاده کرد و در شرایطی باعث صرفه‌جویی و کاهش هزینه خرید تجهیزات جدید می‌گردد.

۵-۲- زیر سیستم جمع‌آوری و انتقال اطلاعات: این زیر سیستم می‌تواند به طرق مختلف در سراسر منطقه تحت پوشش پروژه ایجاد شود. برای این کار از پورت‌های ارتباطی مخابرات در کشور استفاده می‌گردد که می‌تواند کلیه اجزای سیستم را به‌صورت یک شبکه محلی مجازی توزیع شده در سراسر کشور و به صورت دایمی (IP Base) به هم متصل کند. در مکانهایی که امکان برقراری ارتباط توسط مخابرات وجود ندارد می‌توان از هر امکان مخابراتی دیگری، مانند: خط تلفن، خطوط مخابراتی موبایل، ارتباطات ماهواره‌ای و ... استفاده کرد. همچنین می‌توان از این ابزار به عنوان راه حل ارتباطی پشتیبان (Backup) برای مراکز با حساسیت بالاتر سود جست.

به منظور تسریع کار و کم کردن حجم اطلاعات، عملیات جمع‌آوری اطلاعات مبتنی بر طراحی نهایی می‌تواند به صورت مرکزی و یا توزیع شده در سطح کشور و توسط چند مرکز جمع‌آوری صورت گیرد.

#### ۶. تجهیزات سامانه پاسخ سریع

در حال حاضر سامانه پاسخ سریع شهر تهران فقط دارای بیست ایستگاه شتابنگاری است. ولی برای یک سامانه در حد مطلوب نیاز به تعداد ۱۳۰ دستگاه شتابنگار دیجیتال سه مولفه ای دیگر به شرح ذیل است:

الف) دستگاه‌های شتابنگار:

- قابلیت ثبت شتاب جنبش نیرومند زمین  $g2 \pm$
  - قابلیت تفکیک ۱۸ یا ۲۴ بیتی
  - قابلیت ثبت حداقل ۲ ساعت جنبش نیرومند زمین
  - دامنه دینامیکی ۱۱۴ دسی بل
  - پاسخ فرکانسی DC-80 هرتر
  - نرخ نمونه‌برداری تا ۲۰۰ نمونه در ثانیه
- ب) سیستم کنترل و پردازش مرکزی

ایستگاه‌ها به صورت برخط، به کنترل مرکزی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی ارسال می‌شود. برای استفاده از این داده‌ها نیاز است لایه اطلاعاتی مورد نیاز آن کامل شود و تعداد ایستگاه‌ها، حداقل در شهر تهران به ۱۵۰ ایستگاه برسد. با کامل شدن این سامانه می‌توان انتظار داشت تا در زمان رویداد زمین‌لرزه، اطلاعات لازم از شتاب ثبت شده، میزان خسارت‌ها در مناطق مختلف تخمین، و اطلاعات در اختیار مدیریت بحران کشور قرار گیرد.

## ۹. مراجع

- [۱] آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش ۴، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، نشریه ۲۵۳.
- [2] Koketsu, Kazuki; Yoshida, Shingo; Higashihara, Hiromichi (1998). "A fault model of the 1995 Kobe earthquake derived from the GPS data on the Akashi Kaikyo Bridge and other datasets" (PDF). *Earth, Planets and Space*. 50: 803. Bibcode:1998EP&S...50..803K.
- [3] Development of the On-site Earthquake Early Warning System in System in Taiwan Paper Title Line 1 Pei-Yang Lin, Shieh-Kung Huang & Hung-Wei Chiang National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan
- [4] Nakamura Y, Tucker BE. 1988. Japan's earthquake warning system: should it be imported to California? *Calif. Geol.* 41(2):3340.
- [5] Espinosa-Aranda JM, Jimenez A, Ibarrola G, Alcantar F, Aguilar A, et al. 1995. Mexico City seismic alert system. *Seismol. Res. Lett.* 66:42-53.
- [6] Espinosa-Aranda JM, Rodriguez FH. 2003. The seismic alert system of Mexico City. See Lee et al. 2003, pp. 1253-59.
- [7] Erdik, M., Aydinoglu N., Fahjan Y., Sesetyan K., Demircioglu M., Siyahi B., Durukal E., Ozbey C., Biro Y., Akman H., and Yuzugullu O., (2003a). *Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area. Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, V.2, No.1, pp. 1-25.
- [8] Tchalenko, J.S., Berberian, M., Iranmanesh, H., Bailly, M., Arsovsky, M., 1974b. Tectonic framework of the Tehran region, Geological Survey of Iran, Report no 29.
- [9] Berberian, M., 1994. *Natural hazards and the first earthquake Catalog of Iran, vol. 1: historical hazards in Iran prior 1900, I.I.E.E.S. report.*
- [10] Kanamori H. "Earthquake Prediction an Overview." Lee WHK, Kanamori H, Jennings PC, Kisslinger C, Editors. *International handbook of Earthquake and Engineering Seismology*. Academic Press, 2003: 1205-1216.
- [11] Wald, D. J., V. Quitoriano, T. H. Heaton, H. Kanamori, C. W. Scrivner, and C. B. Worden (1999). TriNet "Shake Maps": Rapid Generation of Peak Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California, *Earthquake Spectra*, Vol. 15, No. 3, 537-556
- [12] Sadeghi Bagherabadi, A., Sadeghi, H., Hosseini, S. K., Babaei, P. (2010) peeMap: A software for producing emergency earthquake maps, AGU fall meeting, San Francisco, California, USA.

جدول ۱ ایستگاه‌های سامانه پاسخ سریع زمین‌لرزه شهر تهران

ردیف	نام ایستگاه	طول	عرض	کد
۱	مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی	۵۱.۳۶۴	۳۵.۷۴۱	TH001
۲	دانشگاه شهید عباسپور	۵۱.۵۸۵	۳۵.۷۳۹	TH002
۳	دانشگاه شهید بهشتی	۵۱.۳۹۶	۳۵.۸۰۱	TH003
۴	دانشکده فیزیک دانشگاه تهران	۵۱.۳۳۲	۳۵.۶۹۷	TH004
۵	سازمان زمین‌شناسی کشور	۵۱.۵۰۴	۳۵.۷۴۶	TH005
۶	دانشگاه علم و صنعت ایران	۵۱.۳۹۲	۳۵.۷۴۱	TH006
۷	دانشگاه الزهرا	۵۱.۳۹۹	۳۵.۶۴۷	TH007
۸	فرهنگسرای بهمن	۵۱.۳۵۱	۳۵.۷۰۴	TH008
۹	دانشگاه صنعتی شریف	۵۱.۴۲۸	۵۱.۵۹۲	TH009
۱۰	فرمانداری شهر ری	۵۱.۴۹۱	۳۵.۷۷۹	TH010
۱۱	دانشگاه شهید رجایی	۵۱.۴۱۱	۳۵.۶۸۳	TH011
۱۲	پارک شهر	۵۱.۵۰۴	۳۵.۷۴۶	TH012
۱۳	دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	۵۱.۴۱	۳۵.۷۶۴	TH013
۱۴	دانشگاه تربیت مدرس	۵۱.۳۸۱	۳۵.۷۲۰	TH014
۱۵	بخشداری چهاردانگه	۵۱.۳۰۵	۳۵.۶۰۴	TH015
۱۶	شهرداری ناحیه ۲ منطقه ۵	۵۱.۲۸۲	۳۵.۷۵۴	TH016
۱۷	شهرداری ناحیه ۲ منطقه ۲۲	۵۱.۲۴۴	۳۵.۷۲۵	TH017
۱۸	دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران	۵۱.۳۲	۳۵.۷۹	TH018
۱۹	بیمارستان فیاض بخش	۵۱.۲۶۲	۳۵.۶۷۶	TH019
۲۰	فرهنگسرای خاوران	۵۱.۴۶۸	۳۵.۶۵۲	TH020



شکل ۴ نمونه ای از ایستگاه‌های شتابنگاری پاسخ سریع زمین‌لرزه

## ۸. نتیجه‌گیری

با توجه به رشد بی‌رویه شهرها در مناطق لرزه‌خیز، امروزه کشورهای پیشرفته از توسعه علم در زمینه ثبت، پردازش و انتقال داده‌های زمین‌لرزه، برای هشدار سریع و پاسخ سریع زمین‌لرزه در شهرهای مهم استفاده می‌کنند. با توجه به شرایط زمین‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی شهر تهران، ضرورت دارد از این امکانات برای پاسخ سریع زمین‌لرزه استفاد شود. این مهم در مرحله اول به صورت آزمایشی، با طراحی و ایجاد بیست ایستگاه شتابنگاری پاسخ سریع، نصب تجهیزات سخت‌افزاری و فراهم نمودن امکانات نرم‌افزاری برای انتقال داده‌ها به سرور مرکزی انجام شد. در حال حاضر اطلاعات کلیه