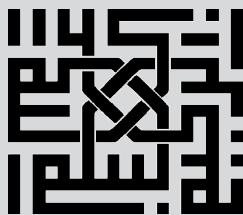


اللَّهُ الرَّحْمَنُ الرَّحِيمُ



آشنایے با سامانہ هشدار
سریع زمین لرزه
شهر تهران

نویسندگان:

خدیجہ شریفی، رضا حیدری و رحیم نوروزی

سرشناسنامه	: شریفی، خدیجه، ۱۳۵۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: آشنایی با سامانه هشدار سریع زمین لرزه شهر تهران/ نویسندگان شریفی خدیجه ، حیدری رضا و نوروزی رحیم؛ [به سفارش سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران]
مشخصات نشر	: تهران: ندای کارآفرین، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۳۶ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۷۰۹۵-۰۴-۱
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: شتابنگارها -- ایران -- تهران
موضوع	: زلزله -- ایران -- تهران -- پیش بینی های ایمنی
شناسه افزوده	: حیدری، رضا، ۱۳۶۱ -
شناسه افزوده	: نوروزی، رحیم، ۱۳۵۳ -
شناسه افزوده	: سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ش۴۹الف/۲QE ۵۳۷
رده بندی دیوبی	: ۵۵۱/۲۲۰۹۵۵۱۲۲
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۲۰۳۴۶۶

نویسندگان: خدیجه شریفی، رضا حیدری و رحیم نوروزی

ناظر علمی: مهندس محسن نادى

ویراستار علمی: دکتر ظاهر حسین شمالی

ویراستار ادبی و فنی: دکتر مجید رضائی راد

مدیر اجرایی و مسئول فنی: سید محمد ارفعى

صفحه آرایى: زهرا طاهرى



سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران

نشانی: انتهای غربی بزرگراه جلال آل احمد، نرسیده به بزرگراه آیت الله اشرفی اصفهانی، نبش نهم شمالی

سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، دفتر تحقیقات و مطالعات راهبردی

تلفن: ۴۴۲۴۴۰۴۰ **فکس:** ۴۴۲۷۲۰۰۹

پست الکترونیک: journal@tdmmo.ir / rsc.tdmmo@gmail.com

آدرس سایت: www.tdmmo.ir

تاریخ و نوبت چاپ: اول - بهار ۱۳۹۲

لیتوگرافی و چاپ: چاپخانه اسری

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۷	۱- مقدمه
۸	۲- تعاریف
۸	۱-۲ زمین لرزه
۹	۲-۲ امواج زمین لرزه
۱۱	۳- سامانه های هشدار سریع زمین لرزه
۱۱	۱-۳ تاریخچه سامانه هشدار سریع زمین لرزه
۱۳	۲-۳ تجربیات موفق سامانه هشدار سریع
۱۴	۳-۳ فواید سامانه های هشدار
۱۶	۴-۳ انواع فعالیت ها بعد از دریافت هشدار
۱۸	۵-۳ چالش ها و مشکلات عملی پیاده سازی سامانه
۱۹	۶-۳ لزوم ارائه آموزش های عمومی و فرهنگ سازی
۲۰	۴- سامانه هشدار سریع در شهر تهران
۲۰	۱-۴ سیمای کلی از وضعیت تکتونیکی و لرزه خیزی شهر تهران
۲۳	۲-۴ اجزای سامانه هشدار سریع زمین لرزه در شهر تهران
۲۶	۵- الزامات اجرایی پیاده سازی و بهره برداری از سامانه هشدار سریع زمین لرزه
۲۸	۶- سازمان های بهره بردار و پشتیبان
۳۰	منابع

۱- مقدمه

بیش از نیمی از کلان شهرهای دنیا در مناطقی واقع شده‌اند که در آن وقوع زمین لرزه‌های مخرب با بزرگای $M > 7/5$ اجتناب‌ناپذیر است. به منظور کاهش خطرپذیری لرزه‌ای این شهرها، روش‌های مختلف به شرح زیر وجود دارد:

الف) اقدامات پیشگیرانه در سالهای قبل از وقوع زمین لرزه

از جمله طراحی لرزه‌ای و مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و تأسیسات؛ آماده کردن برنامه‌های اضطراری به منظور آماده کردن مردم در برابر زمین لرزه، راه‌اندازی سامانه‌های هشدار سریع و واکنش زودهنگام.

ب) اقداماتی که در حین رخداد زمین لرزه و از لحظه اعلام وقوع زمین لرزه

توسط سامانه هشدار سریع انجام می‌شوند

مانند تخلیه ساختمان‌ها، خاموش کردن سیستم‌های بحران‌زا، (راکتورهای هسته‌ای و شیمیایی)، متوقف کردن حرکت قطارهای سریع‌السیر و

در حال حاضر، برای کاهش خطر زمین لرزه، روش عملی پیش‌بینی دقیق زمین لرزه نیاز به مطالعات بیشتر دارد و راهکار علمی، ایجاد سامانه‌های هشدار سریع است. اگرچه پیش‌بینی زمان، مکان و بزرگای وقوع زمین لرزه هنوز ممکن نیست، ولی فناوری هشدار سریع، قابلیت اعلام وقوع زمین لرزه در لحظاتی کوتاه پیش از رسیدن امواج مخرب زمین لرزه را دارد.

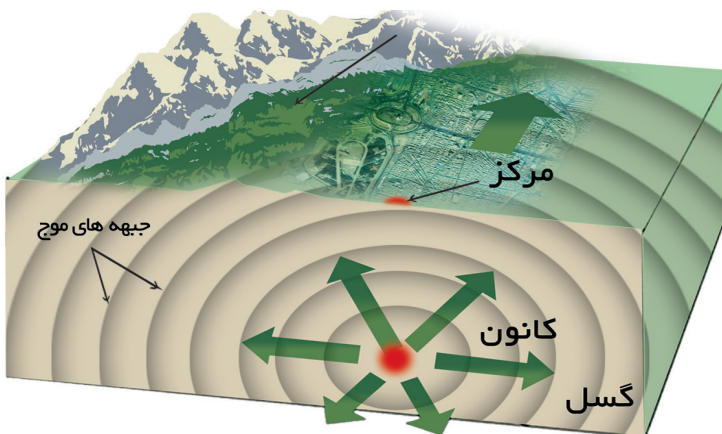
بررسی‌ها نشان می‌دهد سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای کاهش خطرات زمین‌لرزه مؤثر هستند. در صورت کافی بودن زمان هشدار، با آمادگی عمومی می‌توان تأسیسات حیاتی و سامانه‌های حمل و نقل را در وضعیت ایمن‌تر قرار داده و عملیات نجات را بهبود بخشید.

با وجود سامانه‌های هشدار موجود، دولت‌ها و مدیران قادر به انجام واکنش به موقع خواهند بود. لازم به ذکر است ارزش حفظ جان و اموال مردم از هزینه‌های مربوط به خریداری، راهاندازی و نگهداری سیستم‌های مذکور و تجهیزات آن‌ها بسیار بیشتر است.

۲- تعاریف

۲-۱- زمین‌لرزه

زمین‌لرزه، فرایند ایجاد و انتشار امواج لرزه‌ای است که از آزاد شدن ناگهانی انرژی انباشته شده در واحدهای سنگی در امتداد گسل یا پهنه‌های گسلی به وجود می‌آید (شکل ۱).



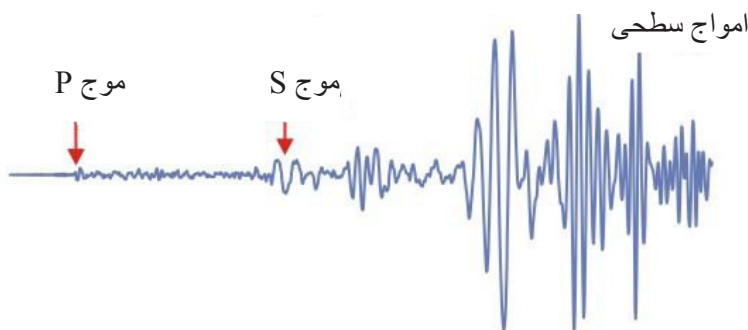
شکل ۱: نمایش شماتیک وقوع زمین‌لرزه و انتشار امواج آن

(برگرفته از: پوستر «تهران شهر هوشمند با سامانه هشدار سریع زلزله»، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران)

۲-۲- امواج زمین لرزه

انتشار امواج از مرکز زمین لرزه شروع شده و در تمام جهات در داخل زمین حرکت می کنند. امواجی که در امتداد سطح زمین حرکت می کنند «امواج سطحی» نامیده می شود. این امواج در یک زمین لرزه بزرگ، در مساحتی در حدود هزارها تا ده ها هزار کیلومتر مربع منتشر می شوند.

امواجی که درون زمین حرکت می کنند «امواج درونی» نامیده می شود. این امواج نیز در تمامی جهات منتشر شده و با سرعتی بیش از موجهای سطحی حرکت می کنند. امواج درونی بر دو نوع هستند: امواج اولیه (P) و امواج ثانویه (S) (شکل ۲). امواج سطحی و موج S، مسئول اصلی آسیب وارده به ساختمان ها هستند که در زمین لرزه های بزرگ اتفاق می افتد.



شکل ۲: یک نمونه از نگاشت زمین لرزه و تفکیک امواج آن

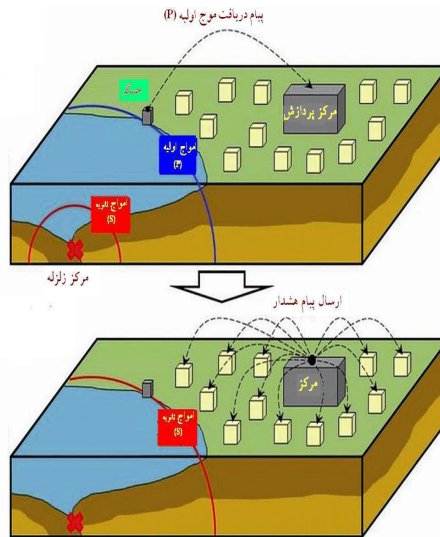
(برگرفته از: سایت <http://www.bgs.ac.uk>)

هنگام وقوع زمین لرزه، موج P سریع تر از موج S حرکت کرده و گیرنده موجود در نزدیکی کانون زمین لرزه، آن را حس می کند. از آنجا که سرعت حرکت امواج زمین لرزه از سرعت حرکت امواج رادیویی (۳۰۰,۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه) کمتر است، سامانه هشدار زمین لرزه با دریافت این امواج، قادر خواهد بود

1 . Primary

2 . Secondary

چندین ثانیه پیش از رسیدن امواج مخرب به محل اسکان مردم، به آن‌ها هشدار دهد (شکل ۳).



شکل ۳: نمایش شماتیک دریافت امواج P و ارسال هشدار پیش از رسیدن امواج مخرب (برگرفته از: پوستر «تهران شهر هوشمند با سامانه هشدار سریع زلزله»، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران)



شکل ۴: نمایش مراحل مختلف در سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه.
(برگرفته از: سایت <http://www.ncdr.nat.gov.tw>)

۳- سامانه‌های هشدار سریع زمین‌لرزه

با افزایش تلفات و خسارات ناشی از بلایای طبیعی از اواخر دهه بیستم به بعد، سامانه‌های هشدار سریع زمین‌لرزه به عنوان مهم‌ترین ابزار کاهش خطرپذیری مطرح شدند. سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه شامل شبکه‌ای از لرزه‌نگارها و دستگاه‌های ثبت جنبش شدید زمین، شبکه ارتباطی انتقال داده‌های زمان واقعی^۱ به مرکز پردازشگر داده‌ها، تأسیسات پردازش مرکزی و سامانه انتشار وسیع هشدار و گیرنده‌های اطلاعات هشدار است.

این سامانه از چند ثانیه اول موج P رسیده به ایستگاه‌های نزدیک مرکز برای تعیین موقعیت زمین‌لرزه و تخمین بزرگای آن استفاده می‌کند؛ متعاقباً بر اساس روابط کاهیدگی، نقشه‌های پیش‌بینی جنبش شدید زمین به عنوان تابعی از فاصله از مرکز زمین‌لرزه تهیه می‌شود.

نکته کلیدی در این سامانه وجود ارتباط دائم بین ایستگاه‌ها (به ویژه ایستگاه‌های نزدیک منبع زمین‌لرزه) و مرکز پردازش اصلی می‌باشد. اگر اطلاعات رسیده در بخش پردازش در ناحیه بحرانی قرار گیرد، سامانه به صورت خودکار به افراد و تأسیسات در معرض خطر، هشدار می‌دهد.

زمان هشدار به فاصله بین منبع زمین‌لرزه، تجهیزات و تأسیسات و محدوده در معرض خطر بستگی دارد. در شکل ۴، عملکرد سامانه هشدار سریع در ۶ مرحله به اختصار نمایش داده شده است.

۳-۱- تاریخچه سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه

مفهوم سامانه هشدار سریع زمین‌لرزه برای اولین بار توسط کوپر^۲ (۱۸۶۸) معرفی شد:

"وسیله بسیار ساده مکانیکی را می‌توان در نقاط مختلف در ۱۰-۱۰۰ مایلی سان‌فرانسیسکو قرار داد که زمین‌لرزه به اندازه کافی

1 . real time

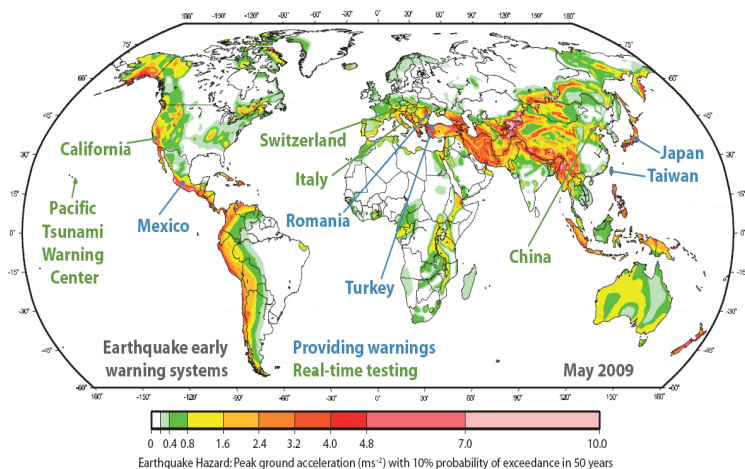
2 . Cooper

قوی آنرا تخریب کند؛ این تخریب باعث ایجاد یک جریان الکتریکی شده و تقریباً بلافاصله زنگ‌خطر به صدا در آمد. این زنگ باید بسیار بزرگ با صدایی عجیب و غریب بوده و همگان آنرا به عنوان «زنگ زمین‌لرزه» بشناسند. البته این زنگ نباید توسط چیزهای دیگر به صدا درآید، این زنگ باید خودکار بوده و به اپراتورهای تلگراف وابسته نباشد."

در سال ۱۹۷۲ میلادی، محققان ژاپنی طرح «سامانه زنگ خطر زمین‌لرزه قوی ۱۰ ثانیه قبل از رسیدن امواج مخرب» را پیشنهاد کردند که به نظریه کوپر (۱۸۶۸) شباهت داشت و در قطارهای سریع‌السیر (شین‌کانسن)^۱ پیاده‌سازی شد. این سامانه قادر بود در منطقه هدف، سه ثانیه قبل از دریافت امواج P، زنگ خطر را به صدا در بیاورد. اولین سامانه هشدار زمین‌لرزه در سال ۱۹۹۵ در مکزیکوسیتی پیاده‌سازی شد. این سامانه جهت هشدار لرزش‌های بزرگ به مردم منطقه ساحلی اوکساکا^۲ که چند صد کیلومتر با این شهر فاصله دارد نصب شد. در حال حاضر، سامانه‌های فعال هشدار سریع در مکزیک، ژاپن، تایوان، رومانی و ترکیه فعال هستند. پیام‌های هشدار این سامانه‌ها به صورت فعال توسط سامانه‌های حمل‌ونقل مانند راه‌آهن، مترو و صنایع خصوصی شامل کارخانجات شیمیایی، کارگاه‌های تولیدی و کارگاه‌های ساختمانی دریافت می‌شوند. با دریافت پیام، اقداماتی مانند متوقف کردن فعالیت نیروگاه‌ها و سدها، آمادگی کارکنان برای واکنش سریع پیش از شروع جنبش شدید زمین و سایر موارد آغاز می‌شود. همچنین با دریافت پیام در مدارس، پناه‌گیری دانش‌آموزان، خاموش شدن خودکار گاز و واحدهای خانگی، باز کردن درها و پنجره‌ها و تخلیه کارکنان و دانش‌آموزان نیز انجام خواهد شد. هشدار سریع زمین‌لرزه محدود به رادیو، تلویزیون و اینترنت نبوده و شامل خطوط تلفن ثابت و همراه نیز می‌شود. تلفن همراه به طور خاص برای دریافت هشدار سریع در طول ۲۴ ساعت شبانه روز مناسب می‌باشد.

1 Shinkansen

2 Oaxaca



شکل ۵: نقشه خطر لرزه‌ای جهانی: نمایش مناطقی که هم‌اکنون مجهز به سامانه هشدار سریع می‌باشند (رنگ آبی) و مناطقی که در حال آزمایش سامانه هشدار سریع می‌باشند (رنگ سبز).
(منبع: آلن^۱ و همکاران، ۲۰۰۹).

۳-۲- تجربیات موفق سامانه هشدار سریع

از مهم‌ترین موارد موفق عملکرد سامانه هشدار سریع می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

سامانه هشدار سریع زمین لرزه شهر مکزیکوسیتی در زمین‌لرزه ۱۴ سپتامبر ۱۹۹۵، ۷۰ ثانیه قبل از وقوع زمین‌لرزه، به شهروندان مکزیکوسیتی هشدار داد. در این زمین‌لرزه، شهر مکزیکوسیتی در فاصله ۳۰۰ کیلومتری از رومرکز قرار داشت.

سامانه تخمین و هشدار اضطراری زمین‌لرزه (UREDAS) ژاپن در زمین‌لرزه ۲۶ می ۲۰۰۳ میاگی-اکی^۲ با هشدار به موقع و توقف حرکت قطار قبل از رسیدن به پلی که آسیب دید، اولین پیش‌بینی کارآمد خود را انجام داد؛ ۲۲ ستون پل راه‌آهن در اثر شتاب ۶۰۰ گالی زمین‌لرزه به شدت ترک برداشته بود.

۱ . Allen
۲ . Miyagi-Oki

در ماه اکتبر ۲۰۰۴ زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۶/۶ توسط سامانه هشدار در ژاپن شناسایی شد و پس از یک ثانیه باعث فعال شدن ترمزهای خودکار یک قطار سریع‌السير با سرعت ۲۰۰ کیلومتر در ساعت شد. نهایتاً قطار چند ثانیه بعد از خط خارج شد ولی این حادثه هیچ کشته‌ای برجا نگذاشت.

در زلزله ایواتا-میاگی^۱ (۱۴ ژوئن ۲۰۰۸) در حدود ۱۰۰ نفر از دانش‌آموزان مدرسه، اقدامات مقابله را با استفاده از سامانه هشدار سریع انجام دادند. در این زلزله در حدود ۱۰۰ آپارتمان بزرگ، پیام هشدار را در زمان پیش‌افت^۲ چند ثانیه تا چند ده ثانیه دریافت کردند.

۳-۳- فواید سامانه‌های هشدار

اگرچه سامانه‌های هشدار زمین‌لرزه تنها چند ثانیه (چند ثانیه تا چند ده ثانیه بسته به فاصله از کانون زمین‌لرزه) قبل از وقوع زمین‌لرزه، زنگ خطر را به صدا درمی‌آورند.

اما در همان مدت کوتاه کارهای زیر را می‌توان انجام داد:

- قطع خطوط گاز برای جلوگیری از آتش‌سوزی؛
- خاموش کردن ماشین‌آلات؛
- توقف آسانسورها؛
- مسیریابی دوباره جریان برق؛
- قطع عملیات فرودگاه‌ها؛
- دادن هشدار به اتاق‌های عمل بیمارستان‌ها؛
- شروع استفاده از موتورهای برق اضطراری؛
- بستن خطوط نفت و غیره.

در تصویر ۱، مثالی از سامانه متوقف‌کننده و شیر متصل به مخزن مواد سمی در یک کارخانه در ژاپن نشان داده شده است. در این کارخانه، سامانه هشدار برای

1 . Iwata-Miyagi

2 . Lead Time

توقف عملکرد تسهیلات ذخیره‌کننده مایعات و مواد خطرناک استفاده می‌شود. همچنین از سامانه هشدار سریع برای توقف آسانسورها در نزدیک‌ترین طبقه و باز کردن درها قبل از رسیدن جنبش شدید زمین‌لرزه برنامه‌ریزی شده است.



تصویر ۱: سامانه متوقف‌کننده و شیر متصل به مخزن مواد سمی
(منبع: کازوآکی کوراهاشی و ایری کورا، ۲۰۰۸)^۱

در مورد شهروندانی که درون ساختمان‌های غیراصولی ساکن هستند، این چند ثانیه ممکن است آنقدر مفید نباشد. در چنین حالتی، کاربرد اصلی سامانه حفاظت از سامانه‌های حساس و کاهش پیامدهای زمین‌لرزه می‌باشد.

Tehran Earthquake Damage Estimation System

اگر به واسطه سامانه هشدار و با استفاده از سامانه تخمین زودهنگام خسارات و تلفات شهر تهران^۲، نقشه میزان شدت زمین‌لرزه در مناطق مختلف سریعاً تهیه

1 Kazuaki, Kurahashi, & Irikura

۲. سامانه تخمین خسارات و تلفات زلزله شهر تهران (Tehran Earthquake Damage Estimation System) یا به اختصار TEDES با کمک داده‌هایی که در هنگام وقوع زلزله دریافت می‌کند، نواحی آسیب‌دیده احتمالی، میزان آسیب‌دیدگی آنها و همچنین تعداد افراد آسیب‌دیده و تلفات را تخمین می‌زند که عملاً با این کار نقش مؤثری در امدادرسانی صحیح و نتیجتاً کاهش تلفات پس از زلزله ایفا خواهد نمود.

شود، تیم‌های اضطراری می‌توانند در مدت زمان کوتاهی بعد از وقوع زمین‌لرزه به جاهایی که به وجود آن‌ها بیشتر نیاز است اعزام شوند. به علاوه، سامانه هشدار سریع می‌تواند باعث کاهش خسارات و تلفات ناشی از حوادث ثانویه زمین‌لرزه (نظیر آتش‌سوزی) شود.

۳-۴- انواع فعالیت‌ها بعد از دریافت هشدار

بسته به نوع سامانه، فعالیت‌هایی که در زمان دریافت هشدار باید انجام داد تغییر می‌کند (شکل ۷). این فعالیت‌ها را به سه دسته کلی تقسیم می‌شود:

الف) کارهایی که باید به صورت خودکار انجام شود

مانند پایین‌آوردن سرعت قطارهای مترو، خاموش‌شدن ماشین‌آلات سنگین، توقف آسانسورها، قطع جریان گاز و آب، ذخیره‌سازی اطلاعات حیاتی رایانه‌ها جهت از دست نرفتن آن‌ها، توقف فعالیت نیروگاه‌های هسته‌ای و مراکز پرتودرمانی و غیره.

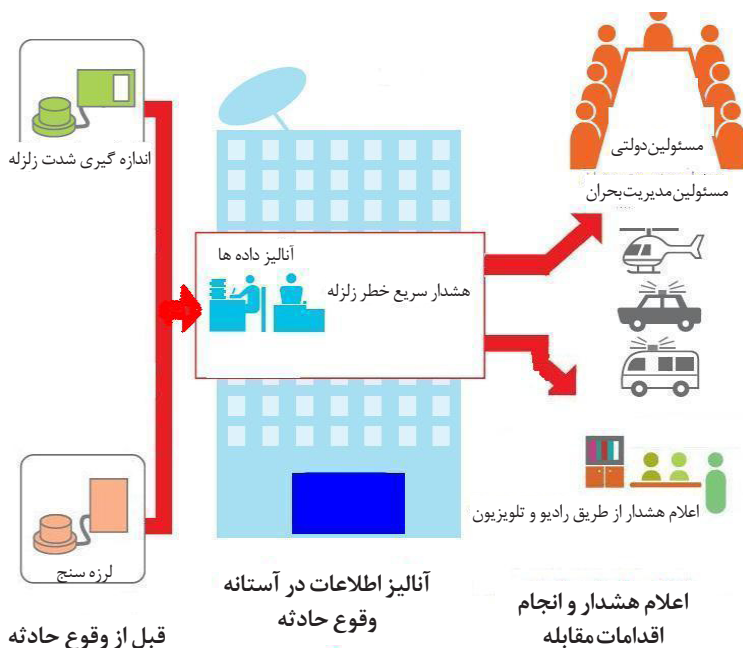
ب) کارهایی که شهروندان باید انجام دهند

مانند کم کردن سرعت حرکت خودرو و هدایت آن به منتهی‌الیه راست جاده، پناه گرفتن در محل امن، دور شدن از موقعیت‌های خطرناک، خروج از آسانسور، دور شدن از اشیاء خطرناک (مانند قفسه‌های کتاب مهار نشده، لوستر، ویتترین و کمد، مواد شیمیایی خطرناک، ماشین‌آلات خطرناک) و در صورتی که فرصت باشد قطع جریان گاز و آب برق خانه و غیره.

هشدار چند ثانیه قبل از وقوع زمین‌لرزه نیز می‌تواند جان کارگران را در موقعیت‌های خطرناک نجات دهد.

ج) اقدامات عملیاتی که سازمان‌ها به تفکیک عملکرد خود باید انجام دهند

جلوگیری از فرود هواپیماها و هدایت آن‌ها به فرودگاه‌های اطراف، آماده‌باش نیروهای امدادی و مراکز درمانی و غیره.



شکل ۶: فرایند انتقال اطلاعات، ارسال پیام هشدار و اقدامات عملیاتی سازمان‌های درگیر.



شکل ۷: انجام اقدامات کلیدی به محض دریافت هشدار زمین‌لرزه.

(بر گرفته از: سایت <http://www.jmago.jp>)

۳-۵- چالش‌ها و مشکلات عملی پیاده‌سازی سامانه

چالش‌های مطرح شده در رابطه با پیاده‌سازی سامانه هشدار سریع:

۱. توسعه الگوریتم‌های تخمین زودهنگام ویژگی‌های مرکز زمین‌لرزه با توجه به شرایط تکتونیکی تهران: این مشکل شامل تشخیص سریع زمان، مکان و بزرگای زمین‌لرزه می‌شود.

۲. نیاز به توزیع گیرنده‌های زیاد در منطقه جغرافیایی خاص: معمولاً هر چه تعداد گیرنده‌ها بیشتر باشد، امکان محاسبه دقیق‌تر اطلاعات مورد نیاز و صدور اخطار در صورت نیاز است.

۳. هزینه‌های اولیه و نگهداری سامانه: به دلیل استقرار این سامانه در شهر تهران، اولین تجربه کشور محسوب می‌شود، لازم است عملکرد آن در

زمین‌لرزه‌های آتی (با شرایط متفاوت موقعیتی و تکتونیکی)، مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳-۶- لزوم ارائه آموزش‌های عمومی و فرهنگ‌سازی

به موازات استقرار سامانه هشدار سریع زلزله، هماهنگی جهت انجام اقدامات فرهنگ‌سازی به منظور اجتناب از بروز پدیده تأخر فرهنگی الزامی است؛ که در این خصوص نیز برنامه‌ریزی‌های مربوطه ضروری می‌باشد. در این راستا، لازم است به شهروندان در مورد نحوه واکنش هنگام شنیدن پیام هشدار، آموزش‌های لازم داده شود تا شهروندانی که در مکان‌ها و یا ساختمان‌های شلوغ حضور دارند، همگی به سمت در خروجی هجوم نیاورند و یا رانندگان خودروها ضمن کنترل وسیله نقلیه و توقف آن در محل امن، مسیر را برای حرکت خودروهای امدادی باز نگهدارند. در واقع، اگر طرح سامانه هشدار به درستی اجرا شود و یا آموزش‌های لازم داده شود، باعث ایمنی، امنیت و آرامش عمومی می‌گردد.

۴- سامانه هشدار سریع زمین لرزه در شهر تهران

اهمیت خطر زمین‌لرزه در شهر تهران با شدت یافتن روند گسترش شهری، تمرکز جمعیت و سرمایه‌های مادی و معنوی و احساس خطر جدی برای بروز بحران حاصل از رخداد زمین‌لرزه‌ها، هر روز بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، لازم است با انجام مطالعات منسجم، آسیب‌های حوادث ناخوشایند ناشی از وقوع زمین‌لرزه کاهش یابد. با توجه به راه‌اندازی سامانه شتاب‌نگاری مجهز به داده‌های برخ‌ط‌سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران^۱ امکانات لازم برای اجرا و نصب سامانه هشدار سریع و بررسی میزان پتانسیل و قابلیت موثر بودن راه‌اندازی این سامانه در شهر تهران مهیا شده است.

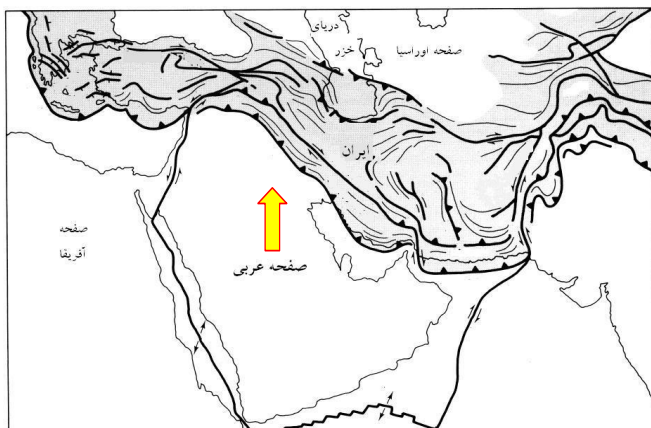
۴-۱- سیمای کلی از وضعیت تکتونیکی و لرزه‌خیزی شهر تهران

سرزمین ایران پهنه‌ای با قابلیت شکل‌پذیری است که در امتداد کمربند کوه‌زایی فعال آلپ- هیمالیا (یکی از فعال‌ترین مناطق تکتونیکی جهان) قرار دارد. حرکت رو به شمال صفحه عربی و ثابت بودن صفحه اوراسیا در شمال ایران، سبب فشرده شدن پهنه ایران شده است (شکل ۷). به دلیل دارا بودن ویژگی‌های فوق، پهنه ایران شرایط منحصر به فردی از دیدگاه لرزه زمین‌ساخت برخوردار است.

شهر تهران به لحاظ جایگاه زمین‌ساختی در بخش جنوبی رشته کوه البرز مرکزی قرار دارد. مطالعات زمین‌ساختی و لرزه‌شناسی بیانگر آن است که تغییر شکل‌های ساختاری در البرز مرکزی به صورت راندگی‌های موازی و گسل‌های راست‌الغز عمل می‌کنند جکسون و همکاران، ۲۰۰۲؛ آلن و همکاران، ۲۰۰۳.^۲ رژیم زمین‌ساختی فشاری شمالی-جنوبی البرز در گذشته بر اثر حرکت حوزه ایران مرکزی به سوی شمال، موجب چین‌خوردگی و گسلش شده است.

۱ . Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDDMO)

۲ . Jackson et al., 2002; Allen et al., 2003



شکل ۸: موقعیت تکتونیکی سرزمین ایران

از نظر سوابق تاریخی زمین لرزه‌ها، مدارک تاریخی بیانگر رخداد زمین لرزه‌های ویرانگر در محدوده شهر باستانی ری و نواحی شمالی آن (موقعیت فعلی شهر تهران) است (آمبر آسیاس و ملویل، ۱۹۸۲؛ بربریان، ۱۹۹۹)^۱ محدوده شهر تهران بعد از زمین لرزه ویرانگر سال ۱۱۷۷ میلادی که شهر باستانی ری را به‌طور کامل نابود کرد، شکل گرفت (بربریان و یت، ۲۰۰۱).^۲

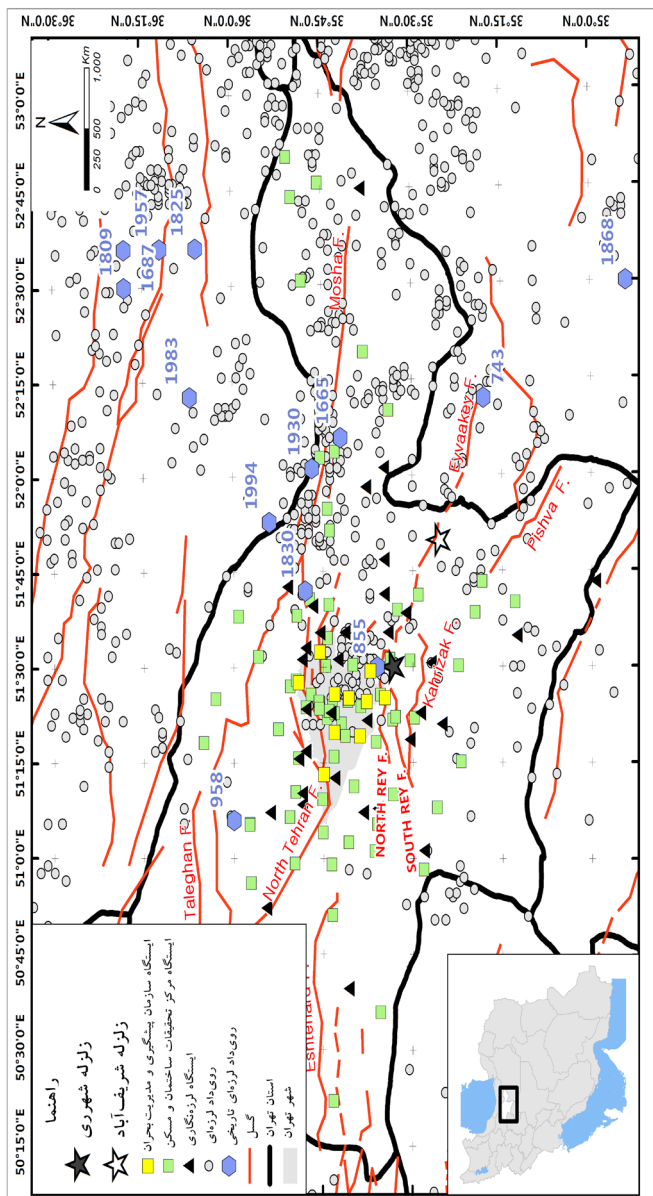
مطالعات مربوط به ثبت دستگاهی زمین لرزه‌ها بیانگر لرزه‌ها بودن این پهنه می‌باشد و هر ساله زمین لرزه‌های متعددی با بزرگای کم تا متوسط در محدوده تهران ثبت می‌شود که می‌توان آن‌ها را به «گسل‌های لرزه‌زا» ارتباط داد. مطالعات ژئودینامیکی با استفاده از سامانه GPS نیز نشان دهنده کوتاه‌شدگی با نرخ $2\text{mm/yr} \pm 5$ و حرکت برشی چپ‌گرد با نرخ $2\text{mm/yr} \pm 4$ است (ورنانت و همکاران، ۲۰۰۴).^۳

در شکل ۹، موقعیت گسل‌ها، رویدادهای لرزه‌ای دستگاهی و تاریخی شهر تهران نشان داده شده است.

۱ . Amberaseyas and Melville, 1982; Berberian, 1999

۲ . Berrberian and Yeat, 2001

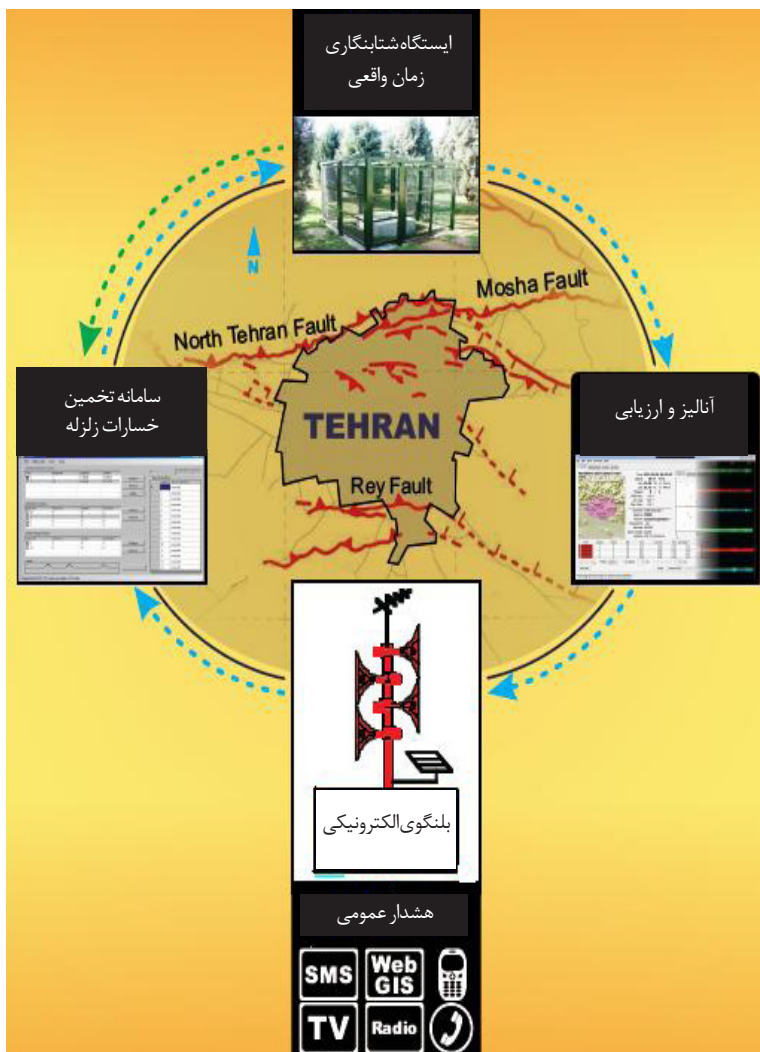
۳ . Vernant et al., 2004



شکل ۹: وضعیت لرزه‌خیزی (دستگاهی و تاریخی) شهر تهران و موقعیت گسل‌های آن (تهیه شده توسط سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران)

۴-۲- اجزای سامانه هشدار سریع زمین لرزه در شهر تهران

در شکل ۱۰، نمایی از سامانه هشدار سریع شهر تهران نشان داده شده است.



شکل ۱۰: نمای شماتیک از سامانه هشدار سریع زمین لرزه شهر تهران

۴-۲-۱- سامانه دریافت و ثبت داده‌های برخط شتاب زمین (ایستگاه‌های شتاب‌نگاری)

با نصب ایستگاه‌های شتاب‌نگاری در سطح شهر، مقدمات اجرایی سامانه هشدار سریع شهر تهران به انجام رسیده است. در حال حاضر کارکرد سامانه مذکور، تخمین زودهنگام خسارات زمین‌لرزه است؛ لیکن امکان استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری در سامانه هشدار سریع نیز فراهم می‌باشد. برای افزایش زمان هشدار در سیستم‌های هشدار سریع، باید تأخیرهای زمانی پیش از دریافت اطلاعات مربوط به رویداد زمین‌لرزه حداقل شده و به این منظور شبکه‌ای متراکم از ایستگاه‌ها در منطقه کانون زمین‌لرزه مورد نیاز است.

۴-۲-۲- شبکه ارتباطی انتقال داده‌های شتاب‌نگاری به سازمان

سامانه‌های هشدار و اطلاع‌رسانی و محصولات آن‌ها، بر روی فعال کردن پیام‌های مختلف هشدار دهنده طراحی می‌شوند. طبیعت و اثر فاجعه، روی الزامات طراحی این سیستم‌ها تأثیر دارد؛ به عنوان مثال، یکی از اولین پیامدهای فجایع روی داده در بیشتر بحران‌ها، مختل شدن جریان برق است که مانع از تبادل اطلاعات از طریق وسایل ارتباط جمعی نظیر رادیو و تلویزیون‌های بدون باتری می‌شود.

از کار افتادن شبکه خطوط زمینی و تلفن سیار باعث می‌شود اطلاعات حیاتی در زمان مورد نیاز در اختیار کاربران قرار نگیرد. بنابراین، سامانه‌های هشدار و اطلاع‌رسانی باید مستقل از تأسیسات عمومی مانند شبکه برق و تلفن عمومی عمل کنند. باتری‌های ظرفیت بالا و مخابرات رادیویی ارسال آژیر خطر، پیام‌های از پیش ذخیره‌شده و اعلام خطرهای عمومی به منظور اطلاع‌رسانی به مردم مناطق تحت تأثیر فاجعه را از طریق مرکز کنترل از راه دور و بلندگوی فضای باز تضمین می‌کند.

شبکه ارتباطی انتقال داده‌ها نقش مهمی در سامانه هشدار سریع ایفا می‌کند. از ملزومات شبکه ارتباطی مذکور، در دسترس بودن سامانه در زمان بحران و حداقل نمودن تأخیر ارسال داده‌ها می‌باشد. لذا لازم است جهت برقراری ارتباط

امن بین ایستگاه‌های شتاب‌نگاری، مرکز فرماندهی سازمان پیشگیری و مدیریت بحران، سازمان‌های بهره‌بردار و مسئول و همچنین سامانه هشدار در محله‌های مختلف شهر تهران، برنامه‌ریزی‌های هدفمند صورت گیرد. جهت افزایش امنیت و اطمینان از برقراری ارتباط در زمان بحران، بایستی سامانه ارتباطی به صورت چند لایه متشکل از روش‌های مختلف ارتباطی (ماهواره‌ای، رادیویی، بستر زمینی و غیره) پیش‌بینی شود.

۴-۲-۳- مرکز پردازش برخط و تشخیص سریع زمین‌لرزه

مرکز پردازش متشکل از نرم‌افزار شناسایی و تشخیص زمین‌لرزه از طریق توابع و الگوریتم‌های مربوطه بوده که بر اساس فاصله زمانی بین موج P و S، هشدار سریع زمین‌لرزه را صادر می‌کند.

۴-۲-۴- سامانه اعلام هشدار سریع زمین‌لرزه (در آستانه حادثه)

اعلام هشدار زمین‌لرزه به بهره‌برداران (سازمان‌های مسئول و مردم) در کوتاه‌ترین زمان (قبل از رسیدن امواج مخرب زمین‌لرزه) حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا، باید مشخص شود چه هشدار، چه زمانی، به چه کسی و از چه طریقی ارسال گردد. برخی وسایل ارتباط جمعی برای اعلام هشدار عبارتند از: رادیو، تلویزیون، پیام کوتاه و استفاده از سایر ظرفیت‌های اپراتورهای همراه، بلندگو و غیره.

۵- الزامات اجرایی پیاده‌سازی و بهره‌برداری از سامانه

هشدار سریع زمین‌لرزه

در سیاست‌های ابلاغی مقام معظم رهبری در زمینه پیشگیری و مدیریت بحران موضوع هشدار سریع زلزله به شرح زیر مورد توجه قرار گرفته است:

۱. ایجاد نظام مدیریت جامع اطلاعات به کمک شبکه‌های اطلاعاتی مراکز علمی- پژوهشی و سازمان‌های اجرایی مسئول به منظور هشدار به موقع و اطلاع‌رسانی دقیق و به هنگام در زمان وقوع حادثه؛
۲. شناسایی پدیده‌های جوی و اقلیمی و نحوه پدیدار شدن خطرات، ارزیابی تأثیر و میزان آسیب آن‌ها از طریق تهیه اطلس ملی پدیده‌های طبیعی، ایجاد نظام به‌هم‌پیوسته ملی پایش و بهبود نظام‌های هشدار سریع و پایش‌آگاهی بلندمدت با استفاده از فناوری‌های پیشرفته؛

به این مهم در قانون تشکیل سازمان پیشگیری و مدیریت بحران کشور مصوب ۱۳۸۷/۲/۳۱ کمیسیون اجتماعی شورای اسلامی شهر تهران و اساسنامه سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران نیز پرداخته شده است. بر این اساس و با توجه به لزوم بهره‌برداری سازمان‌ها از سامانه‌های هشدار سریع (به ویژه برای زلزله) در جهت کاهش خسارات و تلفات احتمالی و مدیریت شرایط اضطرار بعد از حادثه، معاونت پیشگیری و کاهش خطرپذیری سازمان، برنامه‌ریزی جهت پیاده‌سازی سامانه و زیرساخت‌های آن را با همکاری سایر سازمان‌های مرتبط ملی و بین‌المللی در دستور کار خود قرار داده است.

گام‌های عملیاتی برنامه‌ریزی شده در این خصوص عبارتند از:

- توسعه ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مرتبط با سامانه؛
- ایجاد زیرساخت ارتباطی چندلایه ایمن و مناسب؛
- ایجاد الگوریتم‌ها و توابع تشخیص زلزله متناسب با شرایط زمین‌شناسی

و لرزه‌خیزی تهران؛

• ایجاد نرم افزارهای مربوطه جهت تشخیص زلزله به منظور ارسال پیام هشدار؛

• تهیه ماتریس اعلام هشدار با همکاری سازمان های بهره بردار و پشتیبان. همچنین به موازات انجام اقدامات اجرایی در بخش دریافت و تشخیص زلزله، لازم است در بخش اعلام هشدار نیز هماهنگی اقدامات اجرایی توسط سازمان های بهره بردار و پشتیبان صورت پذیرد. برنامه ریزی های مورد نظر در این خصوص عبارت است از:

۱- هماهنگی اقدامات اجرایی مورد نیاز در سازمان های گروه هدف به منظور دریافت پیام هشدار از سامانه طراحی شده در سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران؛

۲- هماهنگی تهیه دستورالعمل های مرتبط با فعالیتهای عملیاتی (متناسب با فعالیتهای هر سازمان) بعد از زمان دریافت پیام هشدار؛

۳- هماهنگی انجام فعالیتهای تخصصی بعد از دریافت پیام هشدار.

در بخش هشدار عمومی به منظور اجتناب از تبعات احتمالی ناشی از ناآگاهی شهروندان و ایجاد هرج و مرج پس از دریافت پیام هشدار، فرهنگ سازی به عنوان بخش مهمی از برنامه دیده شده که در این راستا تهیه ابزارهای آموزشی (بروشور، پوستر، کتابچه و فیلم کوتاه) در دستور کار قرار گرفته است.

۶- سازمان‌های بهره‌بردار و پشتیبان

با توجه به اهمیت موضوع، جلسات هماهنگی و هم‌افزایی با پنج گروه از سازمان‌ها شامل سازمان‌های خدمات‌رسان و تخصصی، سازمان‌های امدادرسان، مراکز با تمرکز جمعیتی، نهادهای مرتبط با اعلام هشدار عمومی و سازمان‌های پشتیبان را به انجام رسانده است. تعدادی از سازمان‌های عضو گروه‌های مورد اشاره عبارتند از:

• سازمان‌های خدمات‌رسان و تخصصی

شرکت آب و فاضلاب استان تهران، شرکت آب منطقه‌ای تهران، شرکت گاز تهران بزرگ، شرکت برق منطقه‌ای تهران، شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ، شرکت ملی پخش فرآورده‌های نفتی ایران (منطقه تهران)، شرکت خطوط لوله و مخابرات نفت تهران، معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران، شرکت راه‌آهن جمهوری اسلامی ایران، سازمان انرژی اتمی، سازمان هواپیمایی کشوری، شرکت فرودگاه‌های کشور، شرکت بهره‌برداری متروی تهران و غیره.

• سازمان‌های امدادرسان

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی تهران، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، جمعیت هلال احمر استان تهران، مرکز اورژانس تهران، سازمان آتش‌نشانی و خدمات ایمنی شهر تهران و غیره.

• مراکز با تمرکز جمعیتی

سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، اداره کل ورزش و جوانان استان تهران، اداره کل طرح‌های عمرانی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، مرکز رسیدگی به امور مساجد، اداره کل اوقاف و امور خیریه استان تهران، اداره کل نوسازی مدارس استان تهران، اداره بهزیستی استان تهران و غیره.

- **نهادهای مرتبط با اعلام هشدار عمومی**

شبکه ۵ سیما (شبکه تهران)، خبرگزاری جمهوری اسلامی، سازمان زیباسازی شهر تهران، سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهر تهران و غیره.

- **سازمان‌های پشتیبان**

سازمان تنظیم مقررات و ارتباطات رادیویی، شرکت مخابرات استان تهران و غیره.

منابع:

- Allen, M. B., M. R. Ghassemi, M. Shahrabi, & Qorashi, M. (2003). Accommodation of Late Cenozoic Oblique Shortening in the Alborz Range, Northern Iran, *J. Struct. Geol.*, 25, 659–672. doi:10.1016/S0191-8141(02)00064-0
- Allen, R.M. (2007) The AlarmS Earthquake Early Warning Methodology and its application across California, In P. Gasparini, G. Manfredi, J. Zschau (Eds). *Earthquake Early Warning Systems* (pp. 21-44). Springer
- Allen, R. M., Gasparini, P., Kamigaichi, O. & Bose, M. (2009). The status of Earthquake Ealy warning around the world: An Introductory Overview. *Seismological Research Letters* 80(5); doi: 10.1785/gssrl.80.5.682-693.
- Ambraseys, N. N., & Melville, C. P. (1982). *A History of Persian Earthquakes*. New York: Cambridge Univ. Press.
- Asia-Pacific Telecommunity (2001). APT Report on Use and Examples of Radiocommunication Systems for Early Warning and Disaster Relief Operations, ASTAP/REPT 2 (ASTAP19, Manila, 2011), ASTAP Expert Group on Disaster Management Communication System (ASTAP19/OUT-04 – Annex 2)
- Berberian, M., & Yeats, R. S. (1999). Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 89(1), 120–139.
- Berberian, M., & Yeats, R. S. (2001). Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. *J. Struct. Geol.*, 23, 563–584, doi:10.1016/S0191-8141(00)00115-2.
- Cooper, J. D. (1868). Earthquake indicator, *Evening Bulletin* XXVII, 23.
- Dirhamsyah, M., Munadi, Kh., Nasaruddin, Nurdin, Y., Perkasa A. (2010). Design and Implementation of Earthquake and Tsunami Early Warning Dissemination System for Aceh Province, 5th Annual International Workshop & Expo on Sumatra Tsunami Disaster & Recovery 2010.
- Kazuaki, M., Kurahashi, S., & Irikura, K. (2008). Development of Alarm Network Using Earthquake Early Warnig, The 14th World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing,

- China.
- Occhiuzzi, A., Grasso, V. F, & Manfredi, G. (2004). Early Warning Systems From A Structural Control Perspective, Proceedings of the Third European Conference on Structural Control, 3ECSC, 12-15 July 2004, Vienna University of Technology, Vienna, Austria
 - Olivieri, M., Allen, R. M., & Wurman, G. (2008). The Potential for Earthquake Early Warning in Italy Using ElarmS, Bulletin of the Seismological Society of America, 98(1), 495–503. doi: 10.1785/0120070054
 - Vernant, P., Nilforoushan, F. Chéry, J., Bayer, R. Djamour, Y. Masson, F. ... & Tavakoli, F. (2004). Deciphering oblique shortening of Central Alborz in Iran using geodetic data, Earth Planet. Sci. Lett., 223, 177–185, doi:10.1016/j.epsl.2004.04.017.
 - Wu, Y. M., & Kanamori, H. (2005). Experiment on an Onsite Early Warning Method for the Taiwan Early Warning System. Bulletin of the Seismological Society of America, 95(1), 347–353. doi: 10.1785/012004009700064-0

سایر منابع برای مطالعه بیشتر:

- Allen, R. M., Gasparini, P. & Kamigaichi, O. (2009). New methods and applications of earthquake early warning. Geophysical Research Letters, 36, L00B05, L00B08, L00B03, L00B02, L00B06, L00B01, L00B07.
- Balassanian, S., Martirosyan, A., & Arzoumanian, V. (2003). Early Warning System for Natural Disaster Reduction. Springer, 487-494.
- Bose, M., Ionescu, C. & Wenzel, F. (2007). Earthquake early warning for Bucharest, Romania: Novel and Revisited Scaling Relations. Geophysical Research Letters, 34, L07302.
- Bose, M., Hauksson, E. Solanki, K. Kanamori, H. & Heaton, T. H. (2009). Real-time testing of the on-site warning algorithm in Southern California and its performance during the July 29, 2008 Mw 5.4 Chino Hills earthquake. Geophysical Research Letters 36, L00B03; doi: 10.1029/2008GL036366.

- Brown, H., Allen, R. M. & Grasoo, V.F. (2009). Testing ElarmS in Japan. *Seismological Research Lettres*, 80 (5), 727-739.
- Chen, C. C, Lin, T. L., Wu, Y. M, & Hsiao, N. C. (2012). Testing a P-wave Earthquake Early Warning System bu Simulating the 1999 Chi-Chi, Taiwan Mw 7.6 earthquake. *Seismological Research Letters*, 83, 103-108.
- Erdik, M., Fahjan, Y., Ozel, O., Alick, H., Mert, A., & Gul, M. (2003). Istanbul Earthquake Rapid Response and the Early Warning System. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1, 157-163.
- Espinosa-Aranda, J. M., Jimenez, A. Ibarrola, G. Alcantar, F. Aguilar, A., Insotroza, M. & Maldonado, S. (1995). Mexico City Seismic Alert System. *Seismological Research Letters*, 66, 42-53.
- Hsiao, N.-C., Wu, Y.-M., Shin, T.-C., Zhao, L., & Teng, T.-L. (2009). Development of earthquake early warning system in Taiwan. *Geophysical Research Letters*, 36. L00B02.
- Kanamori, H. (2005). Real-time seismology and earthquake damage mitigation. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci*, 33(1), 195–214.
- Kanamori, H. Hauksson, E. & Heaton, T. (1997). Real-Time Seismology and Earthquake Hazard Mitigation. *Nature*, 390, 461-464.
- Nakamura, Y. & Tucker, B .E (1988). Earthquake warning system for Japan Railways' Bullet Trains: Implications for disaster prevention in California. *Earthquakes and Volcanoes*, 20, 140–155.
- Wu, Y., & Kanamori, H. (2008). Development of an earthquake early warning system using real-time strong motion signals. *Sensors*, 8, 1–9.
- Wurman, G., Allen, R. M., & Lombard, P. (2007). Toward earthquake early warning in northern California. *Journal of Geophysical Research*, 112, B08311, doi: 10.1029/2006 JB004830.
- Zollo, A., G. Iannaccone, M. Lancieri, L. Cantore, V. Convertito, A. Emolo, G. Festa, F. ... & P. Gasparini (2009). Earthquake early warning system in southern Italy: Methodologies and performance evaluation. *Geophysical Research Letters*, 36, L00B07.