ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
مرکز پژوهش های توسعه و آینده نگری

گزارش پژوهشی

بحران زلزله:

چالش‌های موجود و راهکارهای سریع مواجهه با آن

گروه آینده‌نگری فناوری‌های نو، توسعه صنعتی و زیرساختی

شناسه گزارش

عنوان	بحران زلزله: چالش‌های موجود و راهکارهای سریع مواجهه با آن
کد شناسه	۹۷-۱۴-۱۰۲۲
پدیدآورندگان	علیرضا آزموده اردلان، امیر تقی‌تهرانی
ناشر	انتشارات مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری
تاریخ انتشار	بهار ۱۳۹۷
حقوق معنوی این اثر متعلق به مرکز پژوهش‌های توسعه و آینده‌نگری سازمان برنامه و بودجه کشور است و استفاده از آن با ذکر مأخذ بلامانع خواهد بود.	

فهرست مندرجات

عنوان صفحه

پیشگفتار ۴

مقدمه ۵

۱. مفهوم زلزله ۱۱

۱,۱. مکانیزم ایجاد زمین لرزه ۱۱

۱,۲. امواج زلزله ۱۴

۱,۳. تخریب ناشی از زلزله ۱۶

۲. پیش نشانگرهای زلزله ۱۹

۲,۱. تعریف پیش نشانگر و انواع آن ۱۹

۲,۲. سامانه های هشدار سریع زلزله ۲۱

۳. جمع‌بندی و ارائه راهکارهای مواجهه با زلزله ۲۴

۳,۱. بررسی مشکلات و چالش های مدیریت بحران زلزله های اخیر ۲۵

۳,۲. راهکارها و توصیه های سیاستی ۲۷

۴. منابع ۳۳

پیشگفتار

بطور کلی لرزش زمین می‌تواند به واسطه شکست پوستهٔ زمین و ایجاد گسل، جابجائی پوسته در امتداد گسلی موجود، تغییر ناگهانی در تراکم خاک، حرکت ماگما، فوران آتشفشان، لغزش پوسته زمین، برخورد شهاب‌سنگ، آزمایش-های هسته‌ای، و نشست معدن صورت گیرد. آنچه در این گزارش به آن پرداخته خواهد شد زلزله‌های ناشی از شکست پوستهٔ زمین بر اثر نیروهای تکتونیکی است.

این گزارش در چهار بخش برای ارجاع سریع به مفاهیم و راهکارهای مرتبط با زلزله و مدیریت بحران تهیه شده است.

(۱) در بخش نخست مروری بر مدیریت بحران در ایران، سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه، سازمان مدیریت بحران کشور و حادثه خیزی کشور جمهوری اسلامی ایران ارائه خواهد شد.

(۲) بخش دوم به اصول علمی زلزله، مفاهیم، رخ‌نمودها و اثرات این پدید بر سطح زمین و فضای اطراف، امواج زلزله و تخریب ناشی از آن پرداخته می شود.

(۳) بخش سوم پیش‌نشانگرهای زلزله را مطرح می نماید و به معرفی سامانه‌های هشدار سریع و کاربرد آنها در کاهش خسارات ناشی از سوانح طبیعی و مدیریت بحران‌های مرتبط با آنها خواهد پرداخت.

(۴) بخش چهارم به بررسی مشکلات و چالش های مدیریت بحران زلزله های اخیر و جمع‌بندی و ارائه راهکارهای مواجهه با این پدیده اختصاص یافته است.

مقدمه

از آنجا که جمهوری اسلامی ایران در یکی از لرزه‌خیزترین نواحی جهان قرار دارد، توجه مستمر به راهکارهای مواجه با این پدیدهٔ طبیعی در جهت کاهش خسارات ناشی از آن، داشتن سامانه‌های کارآمد اطلاع از وقوع زلزله، دریافت اطلاعات دقیق و سریع از میزان خسارات و آسیب‌های حاصله در جهت تامین نیازهای اولیه و نیز مدیریت هرچه دقیق‌تر و کارآمدتر بحران از ضروریات است. هر چند این پدیده جز لاینفکی از فرایندهای طبیعی زمین و غیر قابل پیشگیری است، اما شناخت نحوهٔ ایجاد و انتشار امواج زلزله و نیز آگاهی از تجارب و دانش علمی موجود می‌تواند متضمن اتخاذ تصمیمات صحیح و به موقع و کاهش خسارات، و اجتناب از تشویش خاطر عمومی و پیامدهای اجتماعی مرتبط گردد. از دیگر ضروریات، کاهش هر چه بیشتر بار مالی بازسازی آسیب‌ها با حفظ کیفیت و ایجاد مقاومت در مقابل زلزله‌های احتمالی آتی است. مورد اخیر مستلزم شناخت و ترویج بکارگیری روش‌های نوین ساخت بوده که موجب افزایش کیفیت سازه‌ها و نیز کاهش قابل توجه هزینه‌ها نسبت به روش‌های متداول شده و به آن می‌توان مزایائی همچون سازگاری اقلیمی مناطق مختلف را نیز افزود.

مدیریت بحران در ایران

اقدام قانونی برای کاهش اثرات بلایای طبیعی ، تاسیس سازمان دفاع غیرنظامی در سال ۱۳۳۷ بود. پس از آن، در سال ۱۳۴۸ قانون کاهش اثرات ناشی از سیل و قانون بازسازی به اجرا گذاشته شد. پس از انقلاب اسلامی سال ۱۳۵۷، سازمان دفاع غیرنظامی منحل و وظایف آن به نهاد بسیج مستضعفان (یا اتحادیه مردم انقلابی) محول شد.

پس از زلزله منجیل و اعلام دهه ۱۹۹۰ از طرف سازمان ملل به عنوان دهه بین‌المللی کاهش اثرات بلایای طبیعی، قانون تشکیل کمیته ملی کاهش اثرات بلایای طبیعی و آیین‌نامه اجرایی آن تصویب شد و در اسفندماه ۱۳۷۰ ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه کشور در وزارت کشور آغاز به کار نمود. در فروردین ماه ۱۳۸۲ طرح جامع امداد و نجات کشور توسط هیئت وزیران به تصویب رسید که به موجب آن ۱۳ وزارتخانه و ۸ سازمان و نهاد به عضویت ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه کشور درآمدند.

سیاست‌های کلی پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه

سیاست های کلی در ۹ بند توسط مقام معظم رهبری در تاریخ ۱۳۸۴/۲/۳ ابلاغ گردید.

۱ـ افزایش و گسترش آموزش و آگاهی و فرهنگ ایمنی و آماده‌سازی مسئولان و مردم برای رویارویی با عوارض ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه به ویژه خطر زلزله و پدیده‌های جوی و اقلیمی.

۲ـ گسترش و تقویت مطالعات علمی و پژوهشی و حمایت از مراکز موجود، به منظور شناسایی و کاستن از خطرات اینگونه حوادث با اولویت خطر زلزله.

۳ـ ایجاد مدیریت واحد با تعیین رئیس جمهور برای آمادگی دائمی و اقدام مؤثر و فرماندهی در دوره بحران:

۳-۱- ایجاد نظام مدیریت جامع اطلاعات به کمک شبکه‌های اطلاعاتی مراکز علمی ـ پژوهشی و سازمان‌های اجرایی مسئول، به منظور هشدار به موقع و اطلاع‌رسانی دقیق و بهنگام در زمان وقوع حادثه.

۳ـ۲- تقویت آمادگی‌ها و امکانات لازم برای اجرای سریع و مؤثر عملیات جست‌وجو و نجات در ساعات اولیه، امداد و اسکان موقت آسیب‌دیدگان، تنظیم سیاست‌های تبلیغاتی و اطلاع‌رسانی و سازماندهی کمک‌های داخلی و خارجی در زمینه‌های فوق.

۳ـ۳- در اختیار گرفتن کلیه امکانات و توانمندی‌های مورد نیاز اعم از دولتی و نهادهای عمومی غیردولتی و نیروهای مسلح در طول زمان بحران.

۴- تدوین برنامه‌های جامع علمی به منظور بازتوانی روانی و اجتماعی آسیب‌دیدگان و بازسازی اصولی و فنی مناطق آسیب‌دیده.

۵- گسترش نظامات مؤثر جبران خسارت نظیر انواع بیمه‌ها، حمایت‌های مالی و تشویقی، تسهیلات ویژه و صندوق‌های حمایتی.

۶ـ پیشگیری و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله در شهرها و روستاها و افزایش ضریب ایمنی در ساخت‌وسازهای جدید از طریق.

۱ـ ۶ مکان‌یابی و مناسب‌سازی کاربری‌ها در مراکز جمعیتی شهری و روستایی و تأسیسات حساس و مهم متناسب با پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در کشور.

۲ـ ۶ بهبود مدیریت و نظارت بر ساخت‌وساز با به کارگیری نیروهای متخصص و تربیت نیروی کار ماهر در کلیه سطوح و تقویت نظام مهندسی و تشکل‌های فنی و حرفه‌ای و استفاده از تجربه‌های موفق کشورهای پیشرفته زلزله‌خیز.

۳ـ ۶ ممنوعیت و جلوگیری از ساخت‌وسازهای غیرفنی و ناامن در برابر زلزله و الزامی کردن بیمه و استفاده از کلیه استانداردها و مقررات مربوط به طرح و اجرا.

۴ـ ۶ استانداردسازی مصالح پایه و اصلی سازه‌ای و الزامی کردن استفاده از مصالح استاندارد، با کیفیت و مقاوم و ترویج و تشویق فناوری‌های نوین و پایدار و ساخت سازه‌های سبک.

۵ـ ۶ تهیه و تصویب قوانین و مقررات لازم برای جرم و تخلف شناختن ساخت‌وسازهای غیرفنی.

۷ـ کاهش آسیب‌پذیری وضعیت موجود کشور در برابر زلزله با محوریت حفظ جان انسان‌ها از طریق.

۱ـ ۷ تدوین و اصلاح طرح‌های توسعه و عمران شهری و روستایی متناسب با پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در مناطق مختلف کشور.

۲ـ ۷ ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های دولتی، عمومی و مهم، شریان‌های حیاتی و تأسیسات زیربنایی و بازسازی و بهسازی بافت‌های فرسوده حداکثر تا مدت ۱۰ سال.

۳ـ ۷ـ ارائه تسهیلات ویژه و حمایت‌های تشویقی (بیمه و نظایر آن) به منظور ایمن‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های مسکونی، خدماتی و تولیدی غیردولتی.

۸ـ شناسایی پدیده‌های جوی و اقلیمی و نحوه پدیدار شدن خطرات و ارزیابی تأثیر و میزان آسیب آنها از طریق تهیه اطلس ملی پدیده‌های طبیعی، ایجاد نظام به هم پیوسته ملی پایش و بهبود نظام‌های هشدار سریع و پیش‌آگاهی بلندمدت با استفاده از فناوری‌های پیشرفته.

۹ـ تنظیم برنامه‌های توسعه ملی به‌گونه‌ای که در همه فعالیت‌های آن در همه سطوح، رویکرد «سازگاری با اقلیم» ملاحظه و نهادینه شود. بنابراین اقدامات ذیل باید انجام گیرد:

ـــ شناسایی شرایط اقلیمی و لحاظ نمودن آن به عنوان یکی از محورهای اساسی آمایش سرزمین.

ـــ تهیه، تدوین و ساماندهی نظام‌های جامع مدیریت بلایای جوی و اقلیمی.

ـــ شناسایی تغییر اقلیم و آثار و پیامدهای آن در پهنه سرزمین و اتخاذ راه‌کارهای مناسب.

سازمان مدیریت بحران کشور

قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور نیز در ۱۳۸۷/۲/۳۱ به تصویب مجلس شورای اسلامی رسید. طبق ماده ۶ این قانون، سازمان مدیریت بحران کشور به منظور ایجاد مدیریت یکپارچه در امر سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی، ایجاد هماهنگی و انسجام در زمینه‌های اجرائی و پژوهشی، اطلاع‌رسانی متمرکز و نظارت بر مراحل مختلف مدیریت بحران و ساماندهی و بازسازی مناطق آسیب‌دیده و استفاده از همه امکانات و لوازم موردنیاز وزارتخانه‌ها، موسسات و شرکت‌های دولتی و عمومی، بانک‌ها و بیمه‌های دولتی، نیروهای نظامی و انتظامی، موسسات عمومی غیردولتی، شوراهای اسلامی، شهرداری‌ها، تشکل‌های مردمی، موسساتی که شمول قانون بر آن‌ها مستلزم ذکر نام است، دستگاه‌های تحت امر مقام معظم رهبری و نیروهای مسلح در صورت تفویض اختیار معظم‌له، جهت بهره‌مندی بهینه از توانمندی‌های ملی منطقه‌ای و محلی در مواجهه با حوادث طبیعی و سوانح پیش‌بینی نشده تشکیل می‌گردد. این سازمان، وابسته به وزارت کشور بوده و رئیس آن به پیشنهاد وزیر کشور و تایید شورای عالی و حکم وزیر کشور منصوب می‌گردد.

حادثه خیزی کشور ایران

ساختمان زمین شناسی فلات ایران به همراه سیستم چین خوردگی و کوهزائی آلپ در دوران سوم زمین شناسی شکل گرفته است. ایران نیز در قسمت میانی کمربند پر تنش آلپ–هیمالیا قرار گرفته که هنوز به حالت تعادل نهایی نرسیده و این موضوع باعث می‌شود که هر از چندگاهی در یک نقطه از کشور زمین لرزه‌ای مخرب رخ دهد. حرکت رو به شمال صفحه عربستان با سرعت بیش از ۳۰ میلیمتر در سال سبب بازشدگی دریای سرخ و فشردگی و کوتاه شدن خرده صفحات ایران و ترکیه شده است. این فشردگی مداوم سبب چین خوردگی ایران و قرار گرفتن کشور ما در معرض تنش دائمی گردیده که عامل اصلی بیشتر زمین لرزه های ایران است. جدول ۱ مروری بر زلزله‌های کشور در حدود صد سال گذشته دارد. همانگونه که آمار مندرج در جدول نشان می‌دهد، در سالهای اخیر به میزان قابل ملاحظه‌ای از میزان تلفات جانی ناشی از زلزله‌ها کاسته شده، که می‌تواند نشانگر تاثیر بکارگیری استانداردهای، دستورالعمل‌ها، و مصالح جدید ساخت و ساز باشد.

جدول ۱: زلزله‌های عمده کشور در طی صد سال اخیر.

عنوان زلزله	تلفات	بزرگی	زمان	تاریخ
زمین لرزه ۱۳۹۶ تهران البرز	۱	۴٫۲	۰۰:۵۴	۶ دی ۱۳۹۶
زمین‌لرزه ۱۳۹۶ ملارد	۳	۵٫۲	۲۳:۲۷	۲۹ آذر ۱۳۹۶
زمین‌لرزه ۱۳۹۶ ایلام	–	۵٫۳	۱۸:۵۳	۲۹ آبان ۱۳۹۶
زمین‌لرزه ۱۳۹۶ کرمانشاه	۵۷۹	۷٫۳	۲۱:۴۸	۲۱ آبان ۱۳۹۶
زمین‌لرزه ۱۳۹۶ خراسان رضوی	۲	۶٫۱	۱۰:۴۹	۱۶ فروردین۱۳۹۶
زمین‌لرزه مورموری (۱۳۹۳)	-	۶٫۲	۰۷:۰۲	۲۷ مرداد۱۳۹۳
زمین‌لرزه گوهران (۱۳۹۲)	-	۶٫۲	۰۶:۳۸	۲۱ اردیبهشت۱۳۹۲
زمین‌لرزه سراوان (۱۳۹۲)	۱ ایران ۳۴ پاکستان	۷٫۸	۱۵:۱۴	۲۷ فروردین۱۳۹۲
زمین‌لرزه دشتی (۱۳۹۲)	حداقل ۶۰	۶٫۳	۱۶:۲۲	۲۰ فروردین۱۳۹۲

عنوان زلزله	تلفات	بزرگی	زمان	تاریخ
زمین‌لرزه زهان	۵	۵٫۵	۲:۰۳۸	۱۵ آذر۱۳۹۱
زمین‌لرزه‌های اهر و ورزقان (۱۳۹۱)	۳۰۶	۶٫۴ و ۶٫۳	۱۶:۵۳	۲۱ مرداد۱۳۹۱
زمین‌لرزه کهنوج (۱۳۹۰)	۲	۵٫۳	۰۵:۳۵	۲۵ خرداد۱۳۹۰
زمین‌لرزه فهرج (۱۳۸۹)	۱۱	۶٫۵	۱:۴۲	۲۹ آذر۱۳۸۹
زمین‌لرزه دامغان (۱۳۸۹)	۱۹	۵٫۹	۰۴:۲۶	۵ شهریور۱۳۸۹
زمین‌لرزه بندرعباس (۱۳۸۷)	۷	۶٫۱	۱۵:۳۰	۲۰ شهریور۱۳۸۷
زمین‌لرزه بروجرد (۱۳۸۵)	۷۰	۶٫۱	۰۵:۳۷	۱۱ فروردین۱۳۸۵
زمین‌لرزه قشم (۱۳۸۴)	۱۳	۶٫۰	۱۳:۵۲	۶ آذر۱۳۸۴
زمین‌لرزه زرند (۱۳۸۳)	حداقل ۶۰۲	۶٫۴	۰۵:۵۵	۴ اسفند۱۳۸۳
زمین‌لرزه مازندران (۱۳۸۳)	حداقل ۳۵	۶٫۳	۱۷:۰۸	۸ خرداد۱۳۸۳
زمین‌لرزه بم (۱۳۸۲)	**حداقل ۳۰٬۰۰۰**	۶٫۶	۰۵:۲۶	۵ دی۱۳۸۲
زمین‌لرزه بوئین‌زهرا (۱۳۸۱)	۲۶۲	۶٫۵	۰۷:۲۸	۱ تیر۱۳۸۱
زمین‌لرزه قائن (۱۳۷۶)	۱٬۵۶۷	۷٫۳	۱۲:۵۷	۲۰ اردیبهشت۱۳۷۶
زمین‌لرزه رودبار و منجیل (۱۳۶۹)	**حداقل ۴۰٬۰۰۰**	۷٫۴	۰۰:۳۰	۳۱ خرداد۱۳۶۹
زمین‌لرزه طبس	۱۵۰۰۰	۷٫۸	۱۹	۲۵ شهریور۱۳۵۷
زمین‌لرزه دشت‌بیاض و فردوس	۱۲۰۰۰	۷٫۳	۱۴:۱۷	۹ شهریور۱۳۴۷
زمین‌لرزه بوئین‌زهرا (۱۳۴۱)	**حدود ۲۰ هزار نفر**	۷٫۲	۲۳	۱۰ خرداد۱۳۴۱
زمین‌لرزه سنگچال آمل	۱۲۰۰	۶٫۶	۰۰:۴۲	۱۱ تیر۱۳۳۶
زمین‌لرزه فارسینج	۲۰۰۰	۶٫۸	۱:۴۵:۰۶	۲۲ آذر۱۳۳۶
زمین‌لرزه کاج‌درخت خراسان	۲۰۰۰	۵٫۷	۲۲:۲۱	۳ خرداد۱۳۰۲

مفهوم زلزله

۱,۱. مکانیزم ایجاد زمین‌لرزه

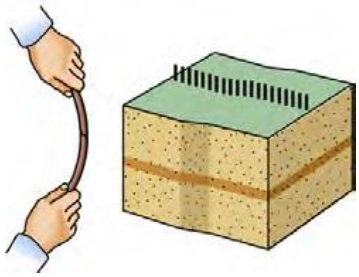
زلزله[۱] ناشی از شکست پوسته زمین بر اثر فشار، برش، یا کشش حاصل از نیروهای تکتونیکی است. این نیروها باعث حرکت و تغییر شکل پوسته زمین می‌شوند. شکل ۱ انباشتگی نیرو و تغییر شکل ناشی از آن را نمایش می‌دهد. منشاء این نیروها جریان‌های همرفتی در منتل یا گوشته زمین است. منتل[۲] یا گوشته سیالی با غلظت و دمای بالا بوده که لایهٔ زیرین پوسته سخت زمین را تشکیل می‌دهد. اصطکاک ناشی از جریان‌های همرفتی در این لایه به هنگام عبور از مجاورت پوسته باعث ایجاد نیروهای کششی، فشاری، و برشی بر پوسته شده که به آنها نیروهای تکتونیکی[۳] می‌گویند. این نیروها منشاء قطعه–قطعه شدن پوستهٔ زمین و ایجاد صفحات تکتونیک[۴] است. حرکت قطعات پوسته تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی را حرکات تکتونیکی[۵] می‌نامند. گسل‌ها[۶] محل شکستگی پوسته بر اثر نیروهای تکتونیکی است.

شکل ۲ نشان دهندهٔ شکست یک جسم بر اثر فزونی نیروی تغییر شکل دهنده بر پیوند بین مولکولی آن است. پیش از شکست اصلی، ترک‌ها و شکستگی‌های کوچکی در پوسته ایجاد می‌شود که موجب ایجاد پیش‌لرزه‌ها[۷] است. پس از هر شکست، پوسته بعد از حرکات کوچکتری که پس‌لرزه[۸] نامیده می‌شود، مجدداً بر اثر فشار و حرارت درونی جوش خورده و شکستگی آن ترمیم شده و انباشتگی فشار در پوسته بر اثر نیروهای تکتونیک ادامه می‌یابد. محل بروز شکست پوسته در درون زمین را کانون ژرفی[۹] و نزدیکترین نقطه بر سطح زمین بالای آن را مرکز سطحی[۱۰] زلزله می‌نامند.

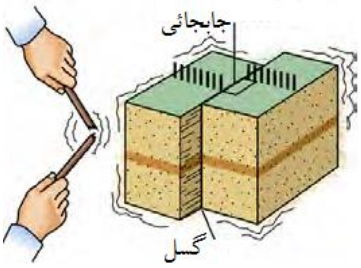
---

۱ Earthquake
۲ Mantle
۳ Tectonic Forces
۴ Tectonic Plates
۵ Tectonic Movements
۶ Faults
۷ Foreshocks
۸ Aftershocks
۹ Hypocenter (Focus)
۱۰ Epicenter

شکل ۳ نشان دهندهٔ مفهوم کانون ژرفی و مرکز سطحی است. گسل‌ها حسب نحوهٔ اعمال نیروهای تکتونیکی به سه دستهٔ عادی[۱] (ایجاد شده بر اثرکشش) شکل ۴، و معکوس[۲] (ایجاد شده بر اثر فشار) شکل ۵، امتداد لغز[۳] (ایجاد شده بر اثر برش) شکل ۶، تقسیم می‌شوند. تغییر شکل ایجاد شده بر سطح زمین تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی را می‌توان از طریق مشاهدات ماهواره‌ای تداخل‌سنجی راداری روزنه مصنوعی (InSAR[۴]) یا مشاهدات نقشه‌برداری اندازه گرفت. در این خصوص در فصل آتی بیشتر توضیح داده خواهد شد. گسل ایجاد شده می‌تواند بر روی زمین رخ‌نمود داشته باشد، که در آن صورت خط گسل[۵] قابل رؤیت خواهد بود. در غیر این صورت با گسل مخفی[۶] مواجه هستیم. گسلی که همچنان تحت نیروهای تکتونیکی قرار داشته و در نتیجه احتمال شکستکی مجدد آن وجود داشته باشد، گسل فعال[۷] و در صورتی که دیگر تحت تاثیر نیروهای تکتونیکی و تنش نباشد گسل غیر فعال[۸] نامیده می‌شود.

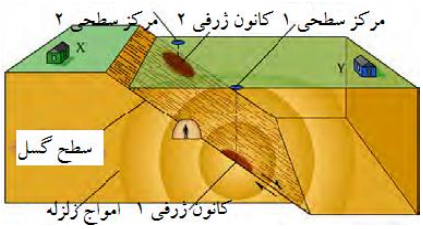


شکل ۱: فشار تغییر شکل دهنده (تنش) در پوسته و تغییر شکل (کرنش) ناشی از آن

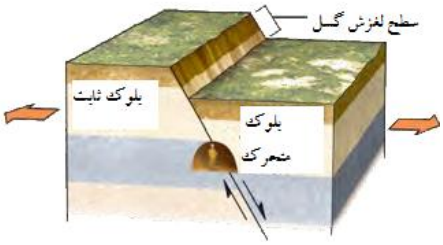


شکل ۲: شکستن پوسته بر اثر غلبهٔ فشار بر پیوند مولکولی بین ذرات پوسته و ایجاد گسل و جابجائی

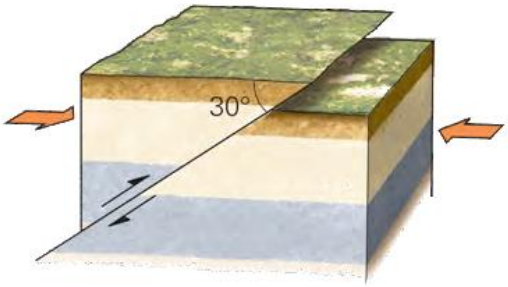
[۱] Normal
[۲] Reverse
[۳] Strike-Slip-Fault
[۴] Interferometric Synthetic Aperture Radar
[۵] Fault Trace
[۶] Blind Fault
[۷] Active Fault
[۸] Inactive Fault



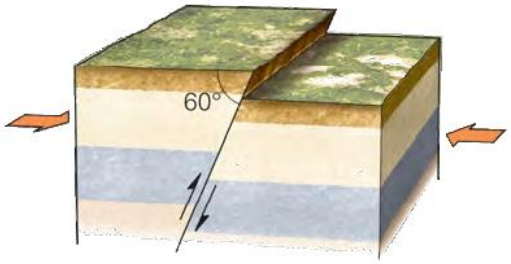
شکل ۳: سطح گسل و ارتباط کانون ژرفی و مرکز سطحی



شکل ٤: گسل عادی



شکل ۱-۵: گسل معکوس با زاویه شکست کوچک

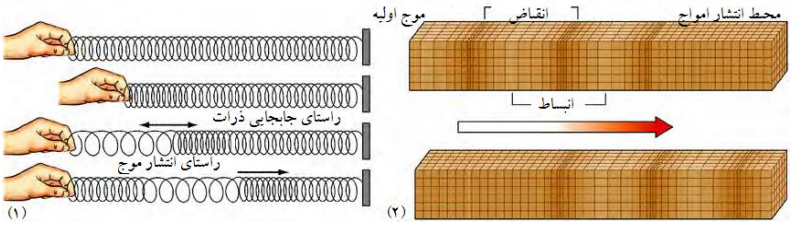


شکل ۲-۵: گسل معکوس با زاویه شکست بزرگ

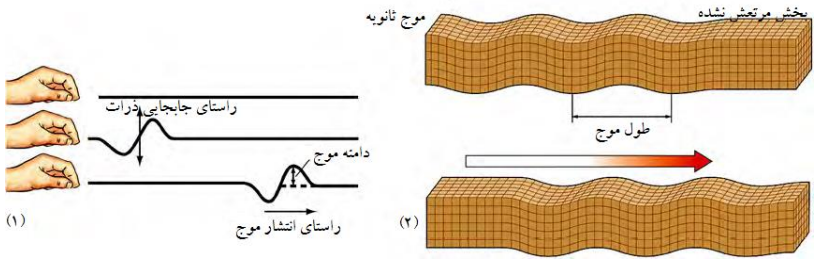
شکل ٦: گسل امتدادلغز

۱,۲. امواج زلزله

ارتعاشات ناشی از شکست پوسته و ایجاد گسل، به صورت امواج طولی (ارتعاش در امتداد انتشار) شکل ۷ ، و امواج عرضی (ارتعاش عمود بر انتشار) شکل ۸ ، منتشر می‌شوند. امواج طولی را بواسطه سرعت انتشار بیشتر، امواج اولیه[۱]، و امواج عرضی را بواسطه سرعت کمتر، امواج ثانویه[۲] می‌نامند. از اختلاف سرعت این دو موج و نیز اختلاف زمان دریافت آنها در حداقل سه ایستگاه زلزله نگاری، تعیین مکان کانون زلزله امکان‌پذیر است. شکل ۹ این تعیین موقعیت را بصورت شماتیک نشان می‌دهد.

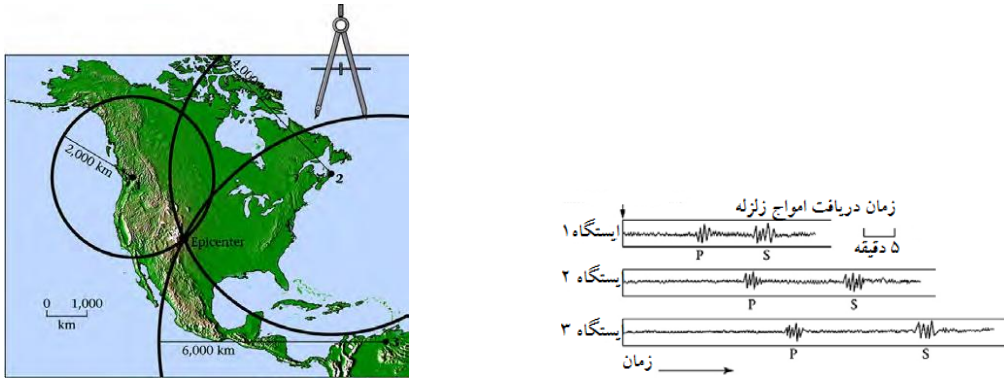


شکل ۷: تولید امواج اولیه (امواج طولی) در اثر انقباض و انبساط در فنر (۱) و ذرات یک جسم (۲)



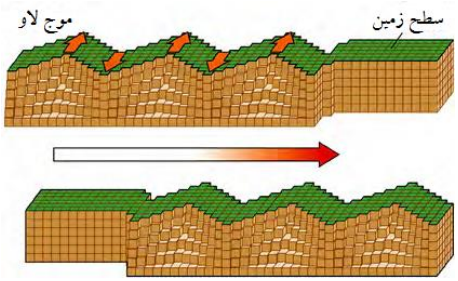
شکل ۸: تولید امواج ثانویه (امواج عرض) در اثر جابجایی عمود بر راستای انتشار در یک تار (۱) و ذرات یک جسم (۲)

[۱] Primary Wave
[۲] Secondary Wave

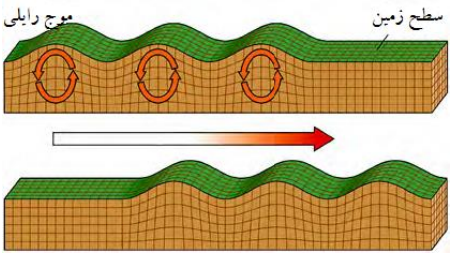


شکل ۹: اندازه‌گیری اختلاف زمان دریافت امواج S و P در سه ایستگاه لرزه‌نگاری و تعیین کانون زلزله از فاصله بین کانون و این سه ایستگاه به کمک این اختلاف زمان

علاوه بر دو موج یاد شده که در کل جسم زمین منتشر می‌شوند امواجی نیز در سطح زمین منتشر می‌شوند که به آنها امواج سطحی می‌گویند. امواج لاو[۱]، با ارتعاش برشی سطحی (شکل ۱۰)، و امواج رایلی[۲] با حرکت دورانی ذرات (شکل ۱۱)، از عمده امواج سطحی هستند. امواج لاو بلافاصله بعد از امواج S رسیده و بعد از آن امواج رایلی می‌رسند. کمتر بودن فرکانس امواج لاو از امواج S عامل تمایز آنها است.



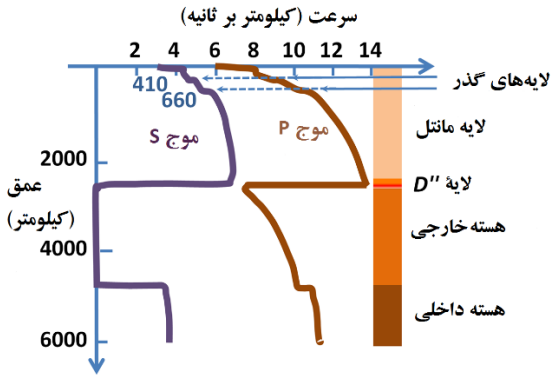
شکل ۱۰: موج سطحی لاو



شکل ۱۱: موج سطحی رایلی

[۱] Love Wave
[۲] Rayleigh Wave

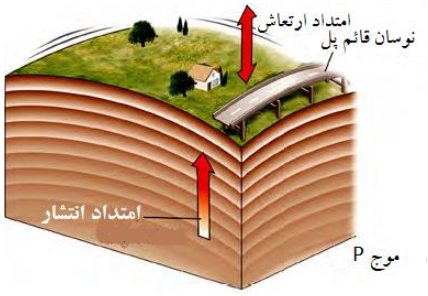
سرعت انتشار امواج زلزله به چگالی محیط انتشار بستگی دارد. هر چه تراکم ذرات یا چگالی جسم بیشتر باشد سرعت انتشار بیشتر است. انتشار امواج S تنها در جامدات امکان‌پذیر بوده، اما امواج P از جامدات و سیالات عبور می‌کند. دانشمندان علوم زمین از اصول ذکر شده برای تشخیص ساختار درونی زمین به کمک امواج زلزله استفاده می‌کنند. اثبات جامد بودن هستهٔ داخلی و سیال بوده هسته بیرونی زمین و نیز تشخیص سایر لایه‌های درونی زمین که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، حاصل دریافت امواج زلزله از ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در نقاط مختلف کرهٔ زمین است.



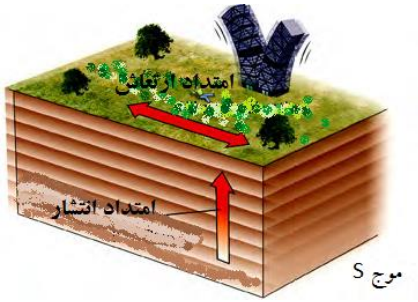
شکل **۱۲**: سرعت انتشار امواج P و S در لایه‌های درونی زمین.

۱,۳. تخریب ناشی از زلزله

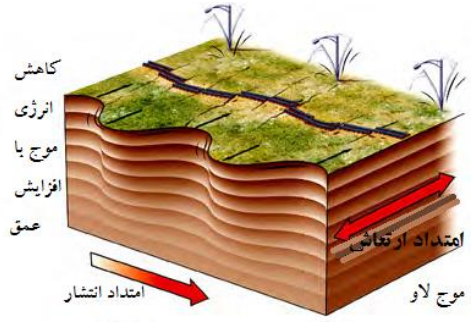
تخریبی که بر اثر زلزله رخ می‌دهد معلول عوامل مختلفی از جمله (۱) فاصله از کانون ژرفی، (۲) نحوهٔ جذب انرژی زلزله در طی انتشار آن در درون زمین، (۳) جنس مواد و لایه‌های درونی زمین و (۴) فرکانس زلزله است. همانگونه که شکل‌های ۱۳ – ۱۶ نشان می‌دهند امواج سطحی لاو و رایلی می‌توانند تخریب‌های بیشتری را بر ابنیه‌ها و زیر ساخت‌ها پدید آورند.



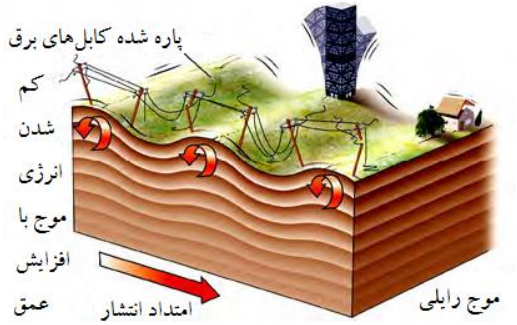
شکل ۱۳: نوسان ایجاد شده بر اثر موج P



شکل ۱٤: نوسانات ایجاد شده بر اثر موج S



شکل ۱۵: نوسانات ایجاد شده بر اثر موج سطحی لاو



شکل ۱۶: نوسانات ایجاد شده بر اثر موج سطحی رایلی

شکل‌های ۱۷ – ۲۲ نشان دهندهٔ مثال‌هائی از تخریب‌های حاصل از زلزله است. تخریبی مانند آنچه که در شکل ۱۷ نشان داده شده است نشان از عدم استحکام سازه داشته که مسلماً با رعایت کدها و استانداردهای مهندسی ساختمان قابل پیشگیری است. شکل‌های ۱۸ و ۱۹ نشان دهندهٔ سازه‌هائی مستحکمی بوده که تخریب حاصل به خاطر از بین رفتن پیوندهای مولکولی خاک و روان‌گرائی آن و در نتیجه سست شدن اتصال سازه به زمین است. اجتناب از این تخریب‌ها در حال حاضر بسیار پر هزینه و مستلزم پی‌هائی با ریشهٔ عمیق در خاک است. یافتن راه‌حل‌های مناسب‌تر در این خصوص هنوز در زمره موضوعات تحقیقاتی روز مجامع علمی و دانشگاهی است. تخریب نشان داده شده در شکل ۲۰، که معمولاً در دامنه‌ها رخ می‌دهد حاصل از لغزش و رانش زمین بر اثر روان‌گرائی خاک است، که تنها راه پیشگیری آن، اجتناب از ساخت و ساز در چنین دامنه‌هائی است. شکل ۲۱ نشان دهندهٔ تاثیر زلزله بر لایه‌های ماسه‌ای و حرکت و روان شده ماسه به سطح زمین و فرونشست زمین بر اثر این تخلیه است. شکل ۲۲ نشان‌دهندهٔ آتش‌سوزی است که در تاسیسات صنعتی نوعاً بر اثر عدم رعایت کدهای مربوط به مقاومت در مقابل زلزله رخ می‌دهد. شکل ۲۳ تصویری از زلزله اخیر کرمانشاه است که نشانگر پایداری کلی سازه و تخریب بخش‌هائی از سازه که می‌تواند به دلیل اجرای نامناسب باشد.

شکل ۱۷: تخریب کامل ساختمان بر اثر زلزله (ترکیه)

شکل ۱۸: واژگونی ساختمان بر اثر روان‌گرائی خاک (تایوان)

شکل ۱۹: تخریب پل طبقاتی بر اثر شکست ستون‌ها (ژاپن)

شکل ۲۰: تخریب حاصل از رانش زمین بر اثر زلزله (کالیفرنیا)

شکل ۲۱: چاله ایجاد شده به خاطر روانگرایی خاک بر اثر زلزله

شکل ۲۲: آتش‌سوزی ایجاد شده در تاسیسات نفتی بر اثر زلزله

شکل ۲۳: زمین لرزه کرمانشاه سال ۱۳۹۶

پیش نشانگرهای زلزله

۱,٤. ۲,۱ تعریف پیش نشانگر و انواع آن

هر تغییر غیر معمولی که پیش از وقوع یک زلزله رخ دهد می‌تواند به عنوان یک نشانه یا پیشانگر زلزله[۱] تلقی شود. همانگونه که پیشتر ذکر شد انباشتگی تنش و عبور این تنش از مقاومت پوسته زمین منجر به شکست آن به صورت ایجاد گسل‌ها و انتشار انرژی بصورت امواج زلزله خواهد شد. بنابر این پایش رفتار پوسته در مقابل تنش و اندازه‌گیری میزان کرنش پوسته و تغییرات آن می‌تواند معتبرترین پیش‌نشانگر وقوع زلزله باشد. اما به خاطر پیچیدگی رفتار پوسته در مقابل تنش، اطلاعات فعلی بشر برای بکارگیری این پیش‌نشانگر برای پیش‌بینی زمان وقوع زلزله بسیار ناکافی است. پایش تغییرات تنش پوسته بکمک مشاهدات نقشه‌برداری در ایستگاه‌های مرجع دائمی[۲] (CORS) مجهز به گیرنده‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای[۳] (GNSS)، شبکه‌های ملی ترازیابی می‌تواند به صورت نقطه‌ای صورت گیرد. به کمک تداخل سنجی راداری ماهواره‌ای[۴] (InSAR) می‌توان از تغییرات تنش و کرنش در حدفاصل بین ایستگاه‌های یاد شده اطلاع حاصل کرد. سازمان نقشه‌برداری کشور دارای شبکهٔ ایستگاه‌های دائمی تعیین موقعیت ماهواره‌ای برای هدف یاد شده بوده و بکارگیری تداخل سنجی ماهواره‌ای توسط آن سازمان و مراکز دانشگاهی صورت می‌پذیرد.

شکل ۲۴ نشان‌دهندهٔ نمونه‌ای از فرینج‌های حاصل از تداخل‌سنجی ماهواره‌ای است که مشخص کنندهٔ تغییرات ارتفاعی است. از تلفیق مشاهدات تعیین موقعیت ماهواره‌ای، ترازیابی و InSAR امکان پایش تغییر شکل پوسته برای پهنه‌بندی مناطق از نظر خطر وقوع زلزله فراهم می‌شود. چرا که مناطقی که بیشترین تغییرات تنش و کرنش را دارند محتمل‌ترین مناطق از نظر وقوع زلزله اند. به علاوه به کمک تکنیک‌های نقشه‌برداری یاد شده امکان تعیین جابجائی پس از وقوع زلزله وجود داشته که می‌تواند در مدیریت اقدامات امداد و نجات ملاک اولویت بندی قرار گیرد. مناطقی که بر اثر زلزله بیشترین جابجائی را داشته‌اند در آنها بیشترین احتمال خرابی و آسیب بر اثر زلزله وجود دارد. هر چند در سالهای اخیر

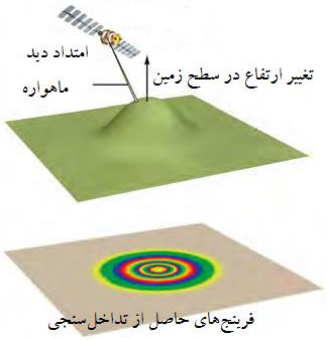
---

۱ Earthquake Precursor
۲ Continuously Operating Reference Station (CORS)
۳ Global Navigation Satellite System (GNSS)
۴ Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR)

توسط سازمان نقشه‌برداری کشور اقداماتی برای برآورد میزان آسیب ناشی زلزله صورت گرفته است اما هنوز پهنه‌بندی کشور از نظر لرزه‌ای صورت نگرفته است.

از دیگر پیش‌نشانگرهای زلزله می‌توان به: تغییرات میدان مغناطیسی و الکتریکی زمین، تغییر دمای زمین، تغییر مقدار الکترون‌های آزاد لایه یونسفر زمین، تغییر سطح آب در چاه‌ها، خروج گازهای آرگون و هلیم از چاه‌ها، پیش‌لرزه‌ها و رفتار غیر معمول برخی از حیوانات نام برد. تمام پیش‌نشانگرهای یاد شده معلول تغییر در تنش و کرنشی هستند که در مجاورت گسل بوجود آورندهٔ زلزله رخ می‌دهد. به علاوه هر چند وقوع زلزله ایجاد کنندهٔ این عوامل است، اما مشاهدهٔ آنها لزوماً بیانگر وقوع زلزله نیست. به عبارت دیگر پیش‌بینی وقوع زلزله بر مبنای این پیش‌نشانگرهای مستلزم اندازه‌گیری پارامترهای دیگری بوده که خود این پارامترها و نیز ارتباط آنها با یکدیگر ناشناخته است. بررسی و مطالعه بر روی پیش‌نشانگرهای ذکر شده در محافل علمی و پژوهشی جهان در جریان است.

چیزی که امروزه دانشمندان این حوزه در سطح جهان بر آن اتفاق نظر دارند پیش رو بودن راهی طولانی در پیش‌بینی زمان وقوع زلزله بر مبنای پیش‌نشانگرها است. بنابر این در هیچ یک از کشورهای پیشرفتهٔ جهان موضوعی تحت عنوان پیش‌بینی و اعلام زمان وقوع زلزله به جامعه وجود ندارد. اما پس از وقوع زلزله اطلاع به مردم از طرق مختلف معمول است. به عنوان مثال در ژاپن مردم می‌توانند با نصب برنامه‌ای بر روی تلفن‌های همراه، بلافاصله از وقوع زلزله‌های با بزرگایی معینی آگاه شوند. و از آنجائی که این اطلاع رسانی بصورت خودکار و برخط صورت می‌گیرد می‌تواند زودتر از امواج زلزله به مردمی که در فواصل دور از کانون زلزله قرار دارند برسد. بر همین اساس اقدامات پیش‌گیرانه متعددی من‌جمله کاهش سریع سرعت قطارهای تندرو و اعلام آماده‌باش به نیروهای امدادی می‌تواند صورت پذیرد. این نوع اطلاع رسانی تحت عنوان "سامانه‌های هشدار سریع زلزله" مطرح بوده که در بخش بعد به آن پرداخته خواهد شد.



شکل ۲۴: تعیین تغییرات ارتفاعی بکمک فرینج‌های حاصل از تداخل‌سنجی ماهواره‌ای

۲,۲. سامانه های هشدار سریع زلزله

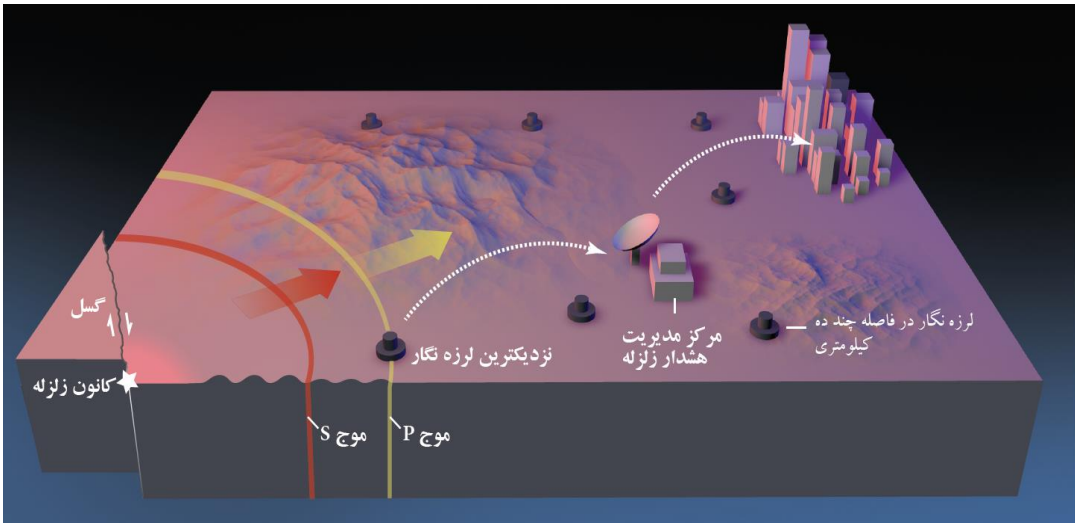
اساس کار سامانه هشدار سریع زلزله[۱] بر ارسال پیام هشدار بلادرنگ از طریق روش‌های مخابراتی بوده که با توجه به سرعت ۱ تا ۵ کیلومتر بر ثانیه امواج زلزله، زمانی کافی (که حسب فاصله کاربر از کانون زلزله می‌تواند در حد چند ثانیه تا چند دقیقه برسد) برای انجام اقدامات لازم برای کاهش خسارات جانی و مالی را پدید آورد.

همانگونه که پیشتر ذکر شد، هنگامی که زلزله‌ای رخ می‌دهد، امواج زلزله از نوع P، S و سطحی به صورت شعاعی از کانون زلزله منتشر می‌شوند. موج P که سرعت بیشتری نسبت به سایر امواج زلزله داشته و قدرت تخریب کمتری دارد، اگر به محض دریافت در نزدیکترین لرزه‌نگار برای اعلام هشدار وقوع زلزله به مرکز کنترل سامانه هشدار سریع و از آنجا به کاربران مخابره شود، مردم و مسئولین ذی‌ربط فرصتی برای اقدامات پیشگیرانه پیش از رسیدن امواج S و امواج سطحی که قدرت تخریبی بیشتر دارند، خواهند یافت.

با نصب اپلیکیشن‌های طراحی شده برای این منظور بر روی گوشی‌های هوشمند و کامپیوترها، زمان رسیدن و قدرت زلزله در مکان کاربر قابل محاسبه خواهد بود. این اطلاعات که می‌تواند منجر به اقدامات پیشگیرانه خودکار از خسارات جانی و مالی و نیز آمادگی مردم در مواجه با زلزله در ثانیه‌ها تا دقایقی (حسب فاصله کاربر از کانون زلزله) پیش از وقوع آن خواهد شد. شکل ۲۵ اجزای یک سامانه هشدار سریع زلزله را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

کسب اطلاع از وقوع زلزله بر مبنای هشدار سریع دریافتی می‌تواند باعث انجام اقدامات پیشگیرانه (خودکار و/یا دستی) در شبکه‌های برق، گاز و کاهش سرعت یا توقف قطارهای بین شهری و متروها، تخلیه آسانسورها برای مدت محدود تا پایان زلزله شود که می‌توان باعث کاهش قابل ملاحظه خسارات جالی و مالی ناشی از زلزله شود. اقدام پیشگیرانه خودکار حتی در ساختمان‌های عمومی و شخصی می‌تواند با نصب تجهیزات لازم، بسادگی صورت گیرد.

[۱] Earthquake Early Warning System



شکل ۲۵: دریافت امواج P در نزدیک‌ترین ایستگاه شبکه لرزه‌نگاری به کانون زلزله، انتقال این اطلاع به مرکز مدیریت هشدار زلزله از طریق شبکه مخابراتی، ارسال هشدار زلزله به کامپیوتر یا گوشی هوشمند کاربران برای انجام اقدامات پیشگیرانه.

مرکز جهانی آمادگی مواجهه با بلایا[۱] ایجاد یک سامانه هشدار سریع کارامد را بر این چهار اصل استوار می‌داند: (۱) گسترش دانش ریسک[۲] برای ایجاد درک صحیح و علمی از ریسک‌ها (مخاطرات و آسیب‌پذیری‌ها) و اولویت‌ها در سطوح معین، (۲) پایش[۳] مستمر و ساختاریافته تغییرات آسیب‌پذیری‌ها و ریسک‌ها در گذر زمان، (۳) توانمندی مقابله[۴] برای کاهش آسیب‌پذیری پیش از وقوع، تخلیه و عکس‌العمل‌ها وابسته به زمان برای پیش آگاهی، (۴) ارتباطات هشداری[۵] در جهت ایجادآمادگی و کاهش خسارات.

سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران چند سال قبل با بهره‌گیری از ظرفیت‌های داخلی و آژانس همکاری‌های بین المللی ژاپن (جایکا) اقدام به ایجاد مقدمات راه‌اندازی یک سامانه هشدار سریع زلزله نمود که ماحصل آن از طریق سایت مربوطه قابل دستیابی است. ایراد اصلی سامانه از دیدگاه هشدار سریع زلزله در گسل‌ها مورد پایش بوده که به واسطه نزدیکی آنها به تهران فاقد مزید بکارگیری آن در اقدامات پیش‌گیرانه در صورت رخداد زلزله در تهران است.

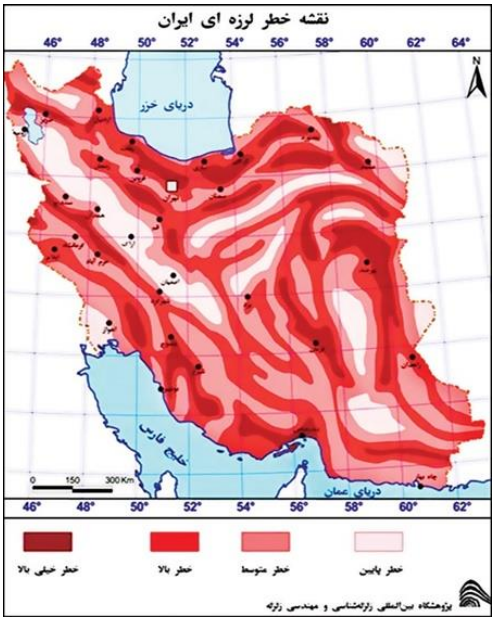
[۱] Global Disaster Preparedness Center
[۲] Risk knowledge
[۳] Monitoring
[۴] Response capability
[۵] Warning communication

بکارگیری امکانات مرکز لرزه‌نگاری کشور و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله می‌تواند بخش لرزه-نگارهای سامانه هشدار سریع با شرح فوق‌الذکر را تامین کرده و بنابراین تنها ایجاد بخش‌های پردازش و ارسال هشدار و نرم‌افزارهای مربوطه مورد نیاز خواهد بود.

جمع‌بندی و ارائه راهکارهای مواجهه با زلزله

راهکارها مواجه با زلزله را می‌توان به دو سطح حفاظت و بازگشت به شرایط اولیه تفکیک کرد. در سطح اول بی‌شک می‌بایست تمرکز بر مباحث پیشگیری، کاهش آسیب با ایجاد آمادگی و پیش بینی استوار باشد. در سطح دوم می‌بایست به مباحثی همچون مقابله و واکنش برای بازیابی و بازسازی را مد نظر قرار داد. بی‌شک توجه به موارد ذکر شده اساس هدایت مدیران برای تصمیم‌گیری سریعتر و روشن‌تر در مواقع بحران خواهد بود.

با توجه به اینکه که وقوع زلزله جزئی از طبیعت زمین است، لازم است همچون دیگر پدیده‌های طبیعت آن را شناخت و راهکارهای زندگی در کنار آن را آموخت. چنانکه آموخته‌ایم چگونه در مناطق پر باران کشور خانه‌هائی پایدار در مقابل بارندگی و در امان از رطوبت بسازیم و یا در مناطق کویری از مصالح موجود برای ساخت خانه‌های با عایق حرارتی خوب و با بکارگیری بادگیر موجبات خنک کردن طبیعی خانه‌ها را فراهم آوریم (دانش اخیر متاسفانه به واسطه تاثیرپذیر کور کورانه از الگوهای ساخت و ساز مدرن در معرض فراموشی قرار گرفته است). شاید تفاوت عمدهٔ زلزله با پدیده‌هائی طبیعی دیگر در فاصله زمانی تکرار آن باشد که باعث فراموشی و غفلت از وقوع آن می‌شود. اما بی‌شک، آگاهی از وقوع زلزله در جمهوری اسلامی ایران که در منطقه‌ای فعال از نظر تکتونیکی قرار دارد برای پیشگیری از خسارات جانی و مالی ناشی از آن و توسعه پایدار کشور از ضروریات است. شکل ۲۶ نشان دهنده نقشه لرزه‌خیزی کشور است. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود اکثر کشور در منطقه خیلی خطرناک و خطرناک از نظر وقوع زلزله قرار دارد.



شکل ۲۶: نقشه لرزه‌خیزی کشور.

مواجه با این پدیده می‌بایست از جنبه‌های گوناگون صورت گیرد که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

(۱) تدقیق نقشه‌های لرزه‌خیزی و پهنه‌بندی کشور از نظر خطر زلزله بر مبنای پایش مداوم کشور به کمک مشاهدات نقشه‌برداری (اندازه‌گیری‌های تعیین موقعیت ماهواره‌ای، ترازیابی و InSAR)، مشاهدات ژئوفیزیکی (لرزه‌ای و ثقلی) و در قالب سایر پیش‌نشانگرهای ذکر شده در بخش قبل.

(۲) تدوین استانداردهای و دستورالعمل‌های ساخت و ساز متناسب با خطر وقوع زلزله در مناطق مختلف. هر چه خطر زلزله در یک مکان بالاتر باشد لازم است تمهیدات پایداری لرزه‌ای بیشتری در کدهای ساختمانی مد نظر قرار گیرد. بی‌شک تدوین این دستورالعمل‌ها، پیش از تدقیق پهنه‌بندی کشور از نظر خطر زلزله می‌تواند موجود تحمیل هزینهٔ اضافی و یا ساخت سازه‌های فاقد مقاومت متناسب با خطر زلزله مناطق مختلف شود.

(۳) تشویق دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی به ارائه ایده‌های نو و بومی سازی روش‌های جدید ساخت ابنیه‌های پایدار در مقابل زلزله. اقدام اخیر لازم است با رویکرد ایجاد بازارهای کسب و کار جدید و کاهش هزینه‌های "ساخت ابنیه‌های پایدار در مقابل زلزله" صورت گیرد.

۳,۱. بررسی مشکلات و چالش های مدیریت بحران زلزله های اخیر

به عنوان درس‌های آموخته از زلزله‌های اخیر کشور مشکلات و چالش های مدیریت بحران در این خصوص را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- نقص در ساختار و سازمان موجود
- نبود قوانین مناسب در مراحل مختلف مدیریت سوانح
- عدم شفافیت در نقش ها، وظایف و مسئولیت‌ها
- نبود یا کمبود آمادگی در پاسخگویی به سوانح
- مشکلات هماهنگی مشارکت کنندگان در پاسخ به سوانح
- نبود سامانه جمع آوری اطلاعات آسیب ها و تلفات زلزله
- نبود زیرساخت های مورد نیاز برای جمع آوری و انتقال سریع اطلاعات به مراجع ذیربط به سبب نبود برنامه قبلی و مشکلات ایجاد شده در شبکه های مخابراتی

- ارائه آمار متفاوت کشته شدگان از منابع مختلف (مدیریت بحران استان، پزشکی قانونی و ...)
- عدم هماهنگی اقدامات کمک رسانی با میزان نیاز منطقه و تاخیر در امداد و نجات و از دست دادن زمان
- عدم وجود سامانه جامع ثبت اطلاعات کشته شدگان
- عدم ارجاع و بستری ساختار یافته مجروحان در بیمارستان ها و مراکز درمانی، آمار کم دقت از مجروحین
- عدم امکان تمیز مصدومین ناشی از زلزله و دیگر مصدومین
- نبود مرکز فرماندهی واکنش اضطراری در شهرهای آسیب دیده از زلزله باعث می شود تا امکان فرماندهی عملیات بصورت محلی میسر نباشد.
- عدم آمادگی برای مواجهه با بحران های بزرگ
- وجود تعدد فرماندهی در عملیات میدانی
- تداخل اقدامات و نبود مکانیزم کارآمد در جمع آوری و آنالیز اطلاعات مربوط به تلفات و خسارات
- نبود برنامه اقدامات اولیه در شرایط بحران (Initial Action Plan) که مشخص کننده اقدامات دستگاه های ذیربط در ساعات اولیه بعد از رخداد زلزله است
- حضور گروه ها و نهادهای مردمی بعد از رخداد زلزله و نبود هماهنگی بین آنها و مسئولین مربوطه
- نبود برنامه های عملیاتی مبتنی بر سناریو و ضعف ارتباط بین مدیران محلی و مدیران ارشد و دستگاه ها
- تکرار اشتباهات و نقایص گذشته و وجود کار موازی به جای کار مشارکتی

در چنین شرایطی اوضاع و احوال آسیب دیدگان از نظر دریافت کمک‌های امدادی، حمایت های درمانی، بهداشتی- روانی نامناسب و ناچیز و وضعیت بازسازی پس از سانحه به مراتب بدتر از امداد رسانی بوده است.

۳,۲. راهکارها و توصیه های سیاستی

(۱) زلزله یکی از پدیده‌های مرتبط با طبیعت زمین است. بنابر این اجتناب ناپذیر بوده و همچون سایر پدیده‌های طبیعت دیگر لازم است با شناخت آن، روش زندگی سالم و بی‌خطر با آن را آموخت و بکار بست.

(۲) با وجود معلوم بودن علت ایجاد زلزله، هنوز امکان پیش‌بینی زمان وقوع آن وجود ندارد. هر چند که پهنه‌بندی مناطق مختلف از نظر خطرِ لرزه‌ای میسر بوده و لازم است به آن توجه شود.

(۳) پیش از وقوع زلزله به واسطه تغییر ناگهانی در تنش و کرنش پوسته، تغییراتی در دمای پوسته، خاصیت مغناطیسی و الکتریکی، سطح آب چاه‌ها، گازهای هلیم و رادون ساطع شده از زمین و رفتار پاره‌ای از حیوانات در نزدیکی محل شکست پوسته رخ می‌دهد که به آنها اصطلاحاً پیش‌نشانگرهای زلزله می‌گویند. مطالعه بر روی زلزله و پیش‌نشانگرهای آن از مباحث تحقیقاتی روز در مراکز علمی و پژوهشی جهان بوده و هنوز راه طولانی در بکارگیری آنها برای پیش‌بینی زمان وقوع زلزله وجود دارد. به این دلیل اطلاع‌رسانی به جامعه از قریب‌الوقوع بودن زلزله بر اساس این پیش‌نشانگرها، نه تنها غیر علمی است بلکه باعث ایجاد نگرانی و اضطراب و هشدارهای ناصحیح نخواهد بود.

(۴) لزوم راه‌اندازی سامانه‌ای برای هشدار سریع رخداد زلزله، که با اعلام رخداد زلزله بلافاصله پس از دریافت آن در نزدیکترین ایستگاه و ارسال پیام اخطار به گوشی‌های هوشمند شهروندان و مسئولین مدیریت بحران باعث ایجاد آمادگی و به طبع آن کاهش خسارات در مناطق مجاور شده و نیز از آن برای مدیریت امداد و نجات و سازندگی لازم قرار داد.

(۵) ارتقاء جایگاه تشکیلاتی سازمان مدیریت بحران کشور در سطح ملی و استانی

مهمترین تحولی که در نظام مدیریت بحران کشور برای ساماندهی و برنامه ریزی اقدامات مرتبط با کاهش ریسک و مدیریت بحران تا پیش از وقوع زلزله اخیر به انجام رسید، تصویب سیاست های کلی نظام در مورد پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه در مجمع تشخیص مصلحت نظام و ابلاغ آن توسط مقام معظم رهبری در سال ۱۳۸۴ و همچنین تصویب لایحه تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور در سال ۱۳۸۷ است. البته قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران کشور به صورت آزمایشی برای مدت ۵ سال تصویب شده بود و بعد از آن

نیز برای دو سال نیز تمدید گردید. اصلاحیه قانون مذکور در مجلس شورای اسلامی در دست بررسی بوده است که زلزله کرمانشاه اتفاق می افتد.

(۶) آگاهی عمومی از مخاطرات زلزله و روش های کاهش ریسک. برای مثال، توجه به پیش لرزه ها باعث خروج مردم از منازل و کاهش تلفات جانی می گردد.

(۷) لزوم وجود سامانه ای مبتنی بر اطلاعات مکانی برای مدیریت اطلاعات بحران (نبودن چنین سامانه ای منجر به خدمت رسانی نامطلوب و از دست رفتن زمان طولانی امداد و نجات می شود.)

(۸) سامانه فرماندهی حادثه[۱] که در برگیرنده نحوه هماهنگی، سلسله مراتب و تعامل حوزه های مختلف در شرایط بحران است. اغلب دستگاه های عضو ستاد مدیریت بحران (بخصوص در دو روز اول حادثه) بصورت مستقل خدمت رسانی می کنند. در واقع نقش ها و مسئولیت ها در زمان بحران برای بسیاری از مدیران دستگاه های ذیربط بصورت صحیح تعریف نشده و از این رو عملکردهای موازی یا تداخلی در برخی حوزه ایجاد می گردد.

(۹) آموزش به منظور انجام اقدامات خودامدادی و دگرامدادی.

در اغلب زلزله ها پس از وقوع مردم منطقه و بازماندگان اولین گروهی هستند که تلاش می‌کنند تا اعضای خانواده و یا همسایگان خود را از زیر آوار نجات دهند. این اقدامات هر چند می‌تواند در لحظات ابتدایی تعداد زیادی از مردم را از زیر آوار نجات دهد، لیکن بدلیل ناآشنایی مردم با روش‌های صحیح امداد و نجات با مشکلاتی همراه شود و در پاره‌ای از موارد منجر به آسیب دیدگی افراد از جمله قطع نخاع به دلیل کشیدگی مصدومین از زیر آوار، لهیدگی و آسیب دیدگی اعضاء، عدم توجه به وضعیت شکستگی استخوان‌ها، عدم اطلاع از روش های جابجایی صحیح مصدومان، عدم توانایی در احیا و جلوگیری از خونریزی و ... می‌شود. پیشنهاد دیگر اجباری نمودن گذراندن دوره‌های امداد و نجات برای سربازان و استفاده از ظرفیت‌های موجود است.

[۱] Incident Command System

(۱۰) طراحی و تدوین سامانه ای ویژه برای هماهنگی و هدایت مناسب در توزیع منابع و اقلام بویژه کمک های مردمی.

آموزش به منظور همیاری و مشارکت در فعالیت های بعد از وقوع زلزله. متاسفانه یکی از مسائلی که بعد از وقوع زلزله ایجاد می گردد، عدم استفاده بهینه از منابع و کمک های ارسالی به سطح منطقه است. عدم آموزش مردم نسبت به همیاری و رعایت حال یکدیگر در زمان بحران باعث می شود که برای تصاحب منابع ارسالی نوعی رقابت و حتی در پاره ای موارد درگیری در بین مردم ایجاد گردد. این مساله همچنین سبب می شود که اقلام و کمک های ارسالی برای زمان بحران به صورت عادلانه در بین بازماندگان توزیع نشود. این معضل بخصوص در چند روز اول در سطح منطقه به وضوح قابل مشاهده است وکاروان های کمک های اعزامی اغلب در جاده ها یا بدو ورود به شهرها با ازدحام گروه هایی از مردم به درستی توزیع نمی‌شود.

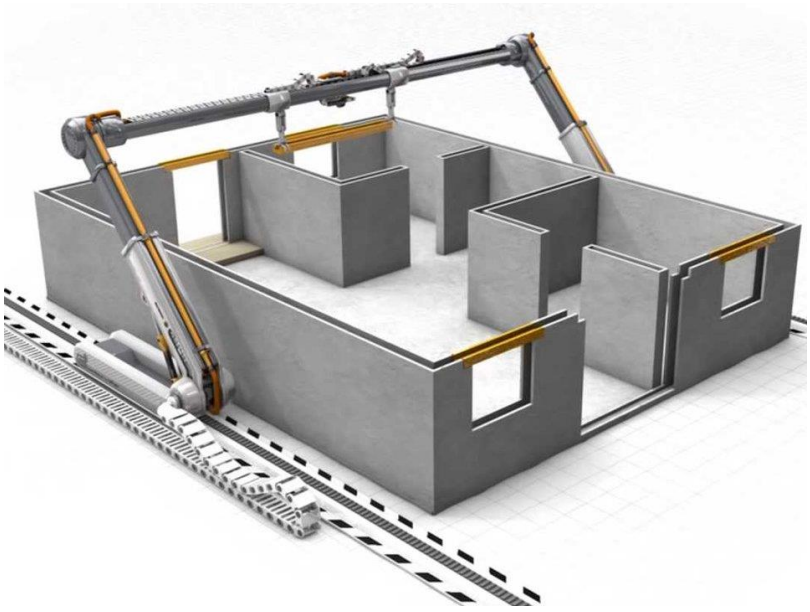
شکل ۲۷: توزیع نامناسب منابع و اقلام میان افراد مناطق زلزله زده

(۱۱) با توجه به دانشی که مکانیزیم ایجاد و انتشار امواج زلزله وجود دارد، با بکارگیری اصول فنی مربوطه در ساخت ابنیه‌ها، می‌توان صدمات ناشی از این پدیده را به سازه‌ها را بسیار کاهش داد.

ساخت ابنیه‌های پایدار در مقابل زلزله با دو رویکرد:

(الف) هدایت مردم در ساخت خانه‌های سبک و حتی‌الامکان پیش ساخته که ضمن کاهش هزینه‌های ساخت و امکان بهینه سازی‌های مختلف از جمله مصرف انرژی را نیز با توجه به مصالح جدید به همراه خواهد داشت. با دادن اولویت این تغییر سبک ساخت و ساز به مناطق آسیب دیده بر اثر زلزله، می‌توان از مزیت سرعت ساخت خانه‌های پیش‌ساخته نیز بهره جست. این بخش از صنعت ساختمان تا بدان حد از نو آوری و پیشرفت رسیده که امروزه بکارگیری پرینترهای سه بعدی برای ساخت خانه‌ای در یک شبانه روز و با قیمتی در حدود ده هزار دلار و نیروی انسانی یک یا دو نفر توسط برخی از کمپانی‌ها مطرح شده است (شکل ۲۸).

(ب) هدایت ساخت سازه‌های عمومی و دولتی به سمت تکنیک "عایق سازی لرزه‌ای پی" که نسل سوم روش‌های پایدارسازی سازه‌ها در مقابل زلزله است. نسل اول پایدارسازی تمرکز بر مقاوم‌سازی سازه در برابر ارتعاشات زلزله داشت، که روش معمول در کشور است (شکل ۲۹).



شکل ۲۸: نمونه ساخت سریع سرپناه با استفاده از فناوری های نوظهور

شکل ۲۹: نسل اول مقاوم سازی، اجرای بادبند

در این روش پایدار سازی، حتی با وجود عدم تخریب سازه، ساکنین ممکن است متحمل خسارات مالی و جانی حاصل از ارتعاشات شدید، به ویژه در طبقات فوقانی ساختمان شوند. در نسل دوم با بکارگیری قطعات انعطاف‌پذیر و جاذب ارتعاش سعی در کاهش ارتعاشات سازه در طبقات است (شکل ۳۰).

شکل ۳۰: نسل دوم مقاوم‌سازی، بکارگیری المان‌های جاذب (میراگر) ارتعاش برای کاهش اثرات ارتعاشی ناشی از زلزله

در نسل سوم که موثرترین تکنیک در مقاوم‌سازی در مقابل زلزله است عایق‌سازی لرزی سازه در پی با بکاری یکی از سه تکنیک: (۱) بالشتک‌های انعطاف‌پذیر (۲) فنر و میراگر و یا (۳) غلطک (شکل ۳۱) از انتقال مستقیم ارتعاشات زلزله به سازه جلوگیری شده و نهایتاً تنها نوسانات خطی کوچکی به سازه وارد شده که پایداری سازه در مقابل زلزله و نیز کاهش قابل ملاحظه آسیب‌های ناشی از ارتعاش زلزله را به همراه خواهد داشت.

شکل ۳۱: نسل سوم مقاوم سازی، عایق سازی لرزه‌ای پی سازه با بکارگیری (۱) بالشتک‌های انعطاف‌پذیر (۲) فنر و میراگر و (۳) غلطک

منابع

۱- سیاست‌های کلی نظام جمهوری اسلامی ایران در زمینه «پیشگیری و کاهش خطرات ناشی از سوانح طبیعی و حوادث غیرمترقبه»، مجمع تشخیص مصلحت نظام، ۱۳۸۴.

۲- مدیریت بحران، تن برگ دیودونیه، ترجمه علی ذوالفقاریان اصل، انتشارات حدیث، ۱۳۷۳.

۳- مدیریت بحران، اصول و راهنمای عملی برای دولت های محلی، جرالدجی هواتمر وتوماس ای درابک، ترجمه مرکز مطالعات برنامه ریزی شهرتهران، انتشارات شرکت پردازش و برنامه ریزی شهری،۱۳۸۳.

۴- مدیریت بحران زمین لرزه در ایران، فریبرز ناطقی الهی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول، ۱۳۷۸.

۵- مدیریت سوانح و حوادث غیر مترقبه، دبلیو نیک کارتر، انتشارات مرکز مطالعات و پژوهش های ارتش بیست میلیونی، ۱۳۷۱.

۶- قانون تشکیل سازمان مدیریت بحران سال ۱۳۸۷.

۷- گزارش های پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

۸- سامانه هشدار سریع سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران.

۹- مرکز جهانی آمادگی مواجهه با بلایا. (***Global Disaster Preparedness Center: Home***)