

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ماهیت

زلزله

(اقدامات قبل، حین و بعد از وقوع آن)



شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۷۸۰-۱۲-۹
ISBN: 978-964-2780-12-9

نام کتاب:	ماهیت زلزله (اقدامات قبل، حین و بعد از وقوع آن)
تألیف:	دکتر غلامرضا پورحیدری، دکتر سیده زیبا ایوبیان، اشرف سادات موسوی
ناشر:	مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران، ۱۳۸۶
شمارگان:	۳۰۰۰۰
تاریخ و نوبت چاپ:	چاپ چهارم - بهار ۹۰
چاپ:	
بها:	۶۰۰۰ ریال

سرشناسه	پورحیدری غلامرضا، ۱۳۴۱
عنوان و نام پدیدآور	ماهیت زلزله (اقدامات قبل، حین و بعد از وقوع آن) / دکتر غلامرضا پورحیدری، دکتر سیده زیبا ایوبیان، اشرف سادات موسوی
مشخصات نشر	تهران، مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی هلال ایران، ۱۳۸۶
چاپ	وزارت ارشاد
مشخصات ظاهری	۴۸ ص:، مصور، نمودار، ۱۹/۵×۹ س م.
شابک	۹۷۸-۹۶۴-۲۷۸۰-۱۲-۹
وضعیت فهرست‌نویسی	فیپا
یادداشت	کتاب حاضر به مناسبت پنجم دی ماه روز ملی ایمنی در برابر زلزله منتشر شده است.
یادداشت	کتابنامه: ص. ۴۸
موضوع	زلزله
موضوع	زلزله - پیش‌بینی‌های ایمنی
شناسه افزوده	ایوبیان، سیده زیبا
شناسه افزوده	موسوی، اشرف سادات
رده بندی کنگره	۱۳۸۶ م۲/۸۶پ / ۵۳۴/۲ QE
رده بندی دیویی	۵۵۱/۲۲
شماره کتابخانه ملی	۱۱۴۲۷۹۳
کلیه حقوق اعم از چاپ، تکثیر و نسخه‌برداری برای ناشر محفوظ است، کلیه حقوق مؤلفان محفوظ می‌باشد. (نقل مطالب یا ذکر مأخذ بالامانع است)	
نشانی: تهران، میدان فلسطین، خ ایتالیا، مؤسسه آموزش عالی علمی - کاربردی هلال ایران، شماره ۱	
تلفن: ۶۰-۸۸۹۹۳۹۵۹ دورنگار: ۷-۸۸۹۵۴۰۰ کدپستی: ۱۴۱۶۴۴۹۹۳	
وب سایت: www.helal-uast.ac.ir پست الکترونیکی: ihasee@rcs.ir	

تقدیم به

**قربانیان زلزله بم و آنهایی که با
همه وجود به یاری آنها شتافتند.**

و

تقدیم به

**کسانی که می خواهند زلزله را باور
کنند و با اقدامات لازم ایمن زندگی
کنند.**

فهرست مطالب	
صفحه	عنوان
۱	پیش گفتار
۲	۱- مقدمه
۴	۲- ساختار زلزله
۴	۲-۱- کانون و مرکز زلزله
۶	۲-۲- گسل
۷	۲-۳- امواج
۹	۳- علل زلزله
۱۰	۳-۱- نظریه حرکت ارتجاعی
۱۱	۳-۲- فعالیت های انسان
۱۲	۴- پراکندگی
۱۲	۴-۱- زلزله های تکتونیک
۱۳	۴-۲- زلزله های آتشفشانی
۱۴	۵- مکان های زلزله
۱۵	۶- اثرات زلزله
۱۶	۶-۱- تکان خوردن و لغزش زمین
۱۷	۶-۲- آتش سوزی
۱۸	۶-۳- امواج سونامی و سیل
۲۰	۶-۴- بیماری
۲۰	۷- کاهش خسارت

۲۲	۷-۱- طراحی سازه
۲۴	۷-۲- برنامه آمادگی در شرایط اضطراری
۲۵	۸- مطالعه زلزله‌ها
۲۶	۸-۱- اندازه‌گیری زلزله
۳۰	۸-۲- پیش‌بینی زلزله
۳۳	۸-۳- ساختار درونی زمین
۳۶	۹- لرزش‌های بیرون از کره زمین
۳۷	۱۰- اقدامات قبل از وقوع زلزله
۳۸	۱۰-۱- بررسی خطرات در خانه
۳۸	۱۰-۲- شناسایی مکان‌های امن در داخل و خارج خانه
۳۹	۱۰-۳- آموزش خود و اعضای خانواده
۴۰	۱۰-۴- همراه داشتن وسایل ضروری (بسته نجات)
۴۰	۱۰-۵- طرح یک برنامه ارتباط اضطراری
۴۱	۱۰-۶- آمادگی افراد جامعه
۴۱	۱۱- اقدامات در هنگام وقوع زلزله
۴۲	۱۱-۱- اگر در داخل خانه هستید
۴۳	۱۱-۲- اگر در خارج خانه هستید
۴۴	۱۱-۳- اگر در یک وسیله نقلیه در حال حرکت هستید
۴۴	۱۱-۴- اگر در زیر آوار مانده‌اید
۴۵	۱۲- اقدامات پس از وقوع زلزله
۴۸	فهرست منابع

پیشگفتار

در گذرگاه تاریخ، حوادث طبیعی متعددی همچون سیل، زلزله، خشکسالی، توفان و ... در سرزمین پهناور ایران به وقوع پیوسته است. در این میان زلزله یکی از مهم‌ترین حوادثی بوده که خسارات جانی و مالی فراوانی بر جای گذاشته است. از جمله می‌توان به زلزله‌های تبریز، بوئین‌زهر، رودبار، اردبیل، بم و لرستان اشاره نمود که ده‌ها هزار نفر در این حوادث جان خود را از دست داده‌اند.

زلزله دلخراش بم که در سحرگاه ۵ دی ۱۳۸۲ به وقوع پیوست و شماری از هموطنانمان را در دل کویر به آغوش خاک سپرد، در واقع نقطه عطفی شد در تاریخ حوادث ایران، تا مسئولین و دولتمردان ایران اسلامی با رویکردی تازه، راهکارهای مناسبی را به منظور کاهش اثرات ناشی از بلایای طبیعی برگزینند. بی‌تردید، جامعه با شناخت، آموزش و آمادگی جهت مقابله با حوادث، خود بزرگترین و بهترین عامل در کاهش خسارات ناشی از بلایا خواهد بود.

بدین منظور کتاب «ماهیت زلزله و اقدامات قبل، حین و بعد از وقوع آن» جهت شناخت اجمالی از این بلای طبیعی برای آگاهی عموم تهیه شده است.

۱- مقدمه

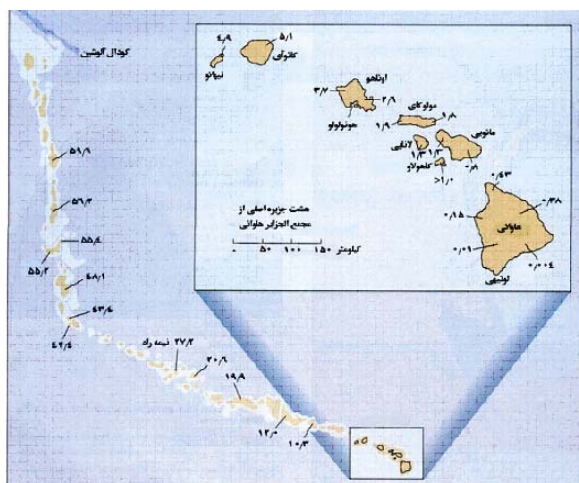
زلزله، تکان خوردن زمین در اثر حرکت سریع پوسته سخت خارجی زمین است. زلزله هنگامی رخ می‌دهد که نیروی کششی ذخیره شده در درون زمین و در پوسته سخت و صخره‌ای آن، ناگهان آزاد می‌شود و این انرژی رها شده از طریق امواج زلزله به سطح زمین منتقل می‌شود. به مطالعه زمین‌لرزه و امواجی که بوجود می‌آورد زلزله‌شناسی^۱ و به دانشمندانی که در مورد زمین‌لرزه مطالعه می‌کنند زلزله‌شناس می‌گویند.

میزان تخریب یک زلزله به بزرگای^۲ و طول مدت آن، و یا میزان تکانه‌های ایجاد شده بستگی دارد. البته طراحی یک ساختمان و مصالح بکار رفته در آن نیز در میزان تخریب ایجاد شده مؤثر است. زمین‌لرزه ممکن است خیلی کوچک و نامحسوس باشد و یا در طول هزاران کیلومتر دورتر باعث ایجاد تکانه شود. در عین حال زلزله می‌تواند باعث تغییر شکل زمین شود، و ساختمان‌ها و دیگر ساختارهای روی آن را تخریب کند، و نیز ایجاد سونامی^۳ (امواج بسیار بزرگ دریا) بنماید. این خرابی‌ها می‌تواند تلفات بسیاری را در بر داشته باشد.

در تمام دنیا روزانه چندصد زمین‌لرزه رخ می‌دهد و شبکه جهانی زلزله‌نگاری در هر روز در حدود یک میلیون زلزله را ثبت می‌نماید. زلزله‌های بزرگ جهان، مانند زلزله آلاسکا ۱۹۶۴ که میلیون‌ها دلار خرابی به بار آورد، هر چند سال یک بار رخ

^۱.Seismology^۲.Magnitude^۳.Tsunami

می‌دهد. زلزله‌هایی با شدت متوسط، مانند لرزش لومپرتای کالیفرنیا ۱۹۸۹، و لرزش کوبه ژاپن ۱۹۹۵ تقریباً بیست بار در هر سال رخ می‌دهد. این گونه زلزله‌ها نیز می‌تواند میلیون‌ها دلار خسارت به بار آورد و باعث مرگ یا جراحت بسیاری از مردم شود.



در ۵۰۰ سال اخیر، میلیون‌ها نفر در سراسر دنیا در اثر زلزله کشته شده‌اند، از آن جمله می‌توان از زلزله تانگ‌شان چین در ۱۹۷۶ نام برد که بیش از ۲۴۰۰۰۰ نفر کشته بر جای گذاشت. در سراسر جهان، زلزله خرابی‌های ساختاری و مالی بسیاری ایجاد نموده‌است. اقدامات احتیاطی مانند آموزش و برنامه‌ریزی برای مقابله با زلزله و نیز مقاوم‌سازی و انعطاف‌پذیر کردن ساختمان‌ها می‌تواند خسارات مالی و جانی ناشی از زلزله را کاهش دهد.

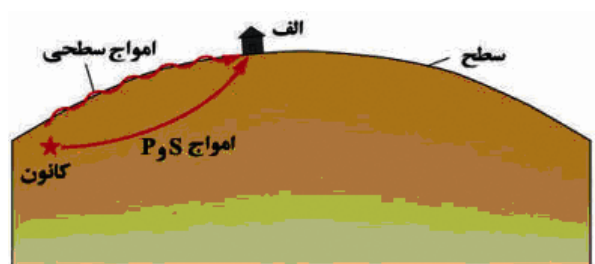
۲- ساختار زلزله

زلزله‌شناسان بخش‌هایی از یک زمین‌لرزه، مانند آنچه در سطح پوسته زمین هنگام زلزله رخ می‌دهد را آزمایش می‌کنند، تا ببینند چگونه این انرژی از درون زمین به بیرون حرکت می‌کند، چگونه ایجاد خرابی می‌نماید و باعث لغزش گسل‌های ایجاد شده در سطح زمین می‌گردد. گسل همان شکاف پوسته زمین است که صخره‌های یکی از دو طرف شکاف حرکت کرده است. زلزله‌شناسان در مورد اثرات زلزله و اینکه چگونه می‌شود وقوع آن را پیش‌بینی کرد و برای کاهش بروز خرابی‌های ناشی از تکان زمین آماده شد، با فعالیت زلزله‌های گوناگون اطلاعات خوبی بدست آورده‌اند.

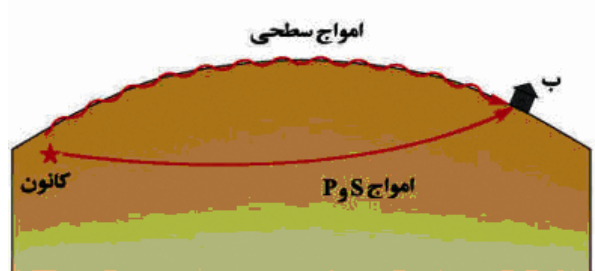
۲-۱- کانون و مرکز زلزله

نقطه‌ای در درون زمین و در طول پارگی و از هم گسیختگی یک گسل زمین‌شناسی که زلزله از آن منشأ می‌گیرد را کانون یا هیپوسانتر و نقطه‌ای که مستقیم در بالای کانون و در سطح زمین وجود دارد را مرکز زلزله می‌گویند. امواج زلزله از کانون بطور شعاعی به اطراف گسترش می‌یابد و در نهایت در طول پارگی گسل شکل می‌گیرد. اگر کانون نزدیک سطح باشد - عمق بین ۰ تا ۷۰ کیلومتر- زلزله با کانون سطحی ایجاد می‌شود. اگر این عمق متوسط باشد و یا در زیر پوسته باشد - عمق بین ۷۰ تا ۷۰۰ کیلومتر- یک زلزله با کانون عمیق ایجاد می‌شود. زلزله‌های با کانون سطحی، زلزله‌های بزرگ‌تر و مخرب‌تری هستند، زیرا

به سطح زمین که دارای صخره‌های محکم‌تری است، نزدیک‌ترند و بنابراین نیروی کششی بیشتری ایجاد می‌کنند.



الف) ایستگاه نزدیک کانون

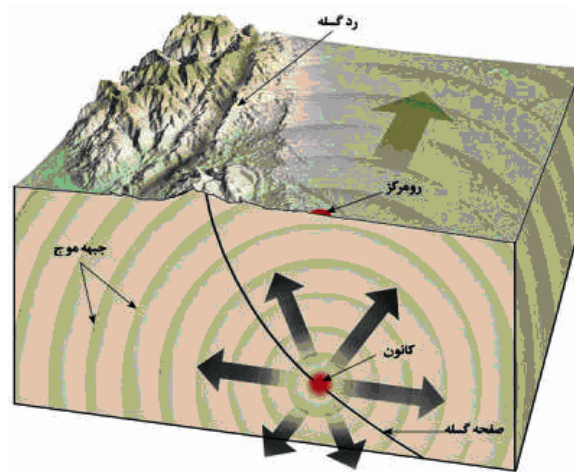


ب) ایستگاه دور از کانون

زلزله‌شناسان از مشاهدات خود دریافته‌اند که بیشتر زلزله‌ها سطحی هستند و بیشتر آنها نیز در لبه‌های صفحه رخ می‌دهند - مناطقی که صفحات پوسته زمین در مقابل هم حرکت می‌کنند (صفحه تکتونیک). بقیه زلزله‌ها از جمله زلزله‌های با کانون عمیق، می‌توانند از مناطق برخورد صفحه‌ها، که یک صفحه تکتونیک بر روی یا زیر صفحه دیگر حرکت می‌کند منشأ بگیرد.

۲-۲- گسل

تنش و فشار در پوسته زمین ایجاد گسل می نماید که در نهایت منجر به زمین لرزه می گردد. ویژگی های زلزله بیش از همه به نوع لغزش گسل یا حرکت در طول گسلی که ایجاد زلزله می کند، بستگی دارد. زمین شناسان گسل ها را براساس جهت لغزش تقسیم بندی می کنند. سطح بین دو طرف یک گسل نسبت به سطح زیرین، همیشه عمودی نیست و بیشتر با یک زاویه به درون زمین فرو می رود. هنگامی که صخره روی سطح گسل به درون زمین و به سمت پایین می رود، گسل را یک گسل نرمال و معمولی می خوانند. هنگامی که دیواره ها نسبت به دیواره پایین، به سمت بالا می لغزد به آن گسل معکوس می گویند. هم گسل معمولی و هم معکوس، جابجایی عمودی و یا حرکت یک طرف گسل به سمت بالای طرف دیگر را ایجاد می کنند که در سطح به شکل گسل پاره نمایان می شود. گسل های ضربه ای- لغزشی نوع دیگر گسل هستند که جابجایی افقی یا لغزش در کنار یکدیگر را در پی دارند. این نوع آخر اغلب در طول لبه های بین دو صفحه ای که در کنار هم می لغزند، دیده می شود.



۳-۲- امواج

حرکت ناگهانی صخره‌ها در طول یک گسل ایجاد ارتعاش می‌کند که انرژی را از زمین به شکل موج منتقل می‌کند. امواجی که از زیر سطح زمین به صخره‌ها منتقل می‌شود را امواج بدنه می‌گویند که خود بر دو نوع است: اولیه یا P، و ثانویه یا S. امواج S به امواج شکافنده که زمین را به جلو و عقب حرکت می‌دهد، نیز معروف است.

زلزله‌ها حامل امواج سطحی نیز هستند که از مرکز زلزله به سطح زمین بیرون می‌آید. دو نوع امواج سطحی عبارتند از: **ری‌لی**، که بنام پزشک انگلیسی لردری‌لی و امواج **لاو**، بنام دانشمند انگلیسی نامیده‌شد. امواج سطحی نیز با ایجاد تکان زمین، زیرسازه‌های ساختمانی و مانند آن، خرابی سازه‌ای ایجاد می‌کنند.

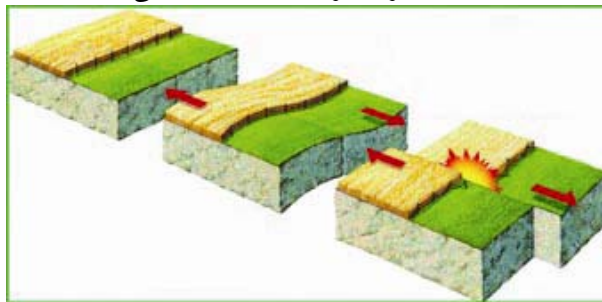
امواج بدنه، یا امواج P و S، از کانون زلزله و از درون گسل در حال شکاف که به اطراف گسترش می‌یابد، شروع می‌شود. امواج P امواج فشاری هستند زیرا مواد سخت و صخره‌ای را در مسیر خود به جلو و عقب و در جهت امواج حرکت می‌دهند و به تناوب صخره‌ها را فشرده و منبسط می‌نمایند. امواج P سریع‌ترین امواج لرزه‌ای هستند که در صخره‌های محکم با سرعت ۶ تا ۷ کیلومتر بر ثانیه طی مسیر می‌کنند. پس از امواج P امواج S می‌آیند، که بیش از آنکه صخره‌ها را بفشارند، در طول مسیر آنها را می‌شکافند یا می‌پیچانند. این امواج با سرعت ۳/۵ کیلومتر بر ثانیه حرکت می‌کنند و باعث می‌شوند مواد صخره‌ای به بالا و پایین و عمود بر مسیر امواج حرکت کنند، و منجر به متلاشی شدن صخره‌ها گردد. هر دو نوع موج P و S به درون زمین حرکت می‌کنند، و درست مانند امواج نور درون شیشه منعکس یا شکسته می‌شود. زلزله‌شناسان با آزمایش این شکست می‌توانند دریابند که منشأ زمین‌لرزه در کجا قرار دارد.

در سطح زمین، امواج ری‌لی در مسیر امواج باعث حرکت ذرات صخره‌ای به جلو، بالا، عقب و پایین می‌شوند. این حرکت چرخشی تقریباً شبیه قطعه‌ای جلبک دریایی است که در امواج اقیانوس گرفتار شده، و در یک مسیر چرخشی به سمت ساحل در تلاطم است. نوع دوم امواج سطحی یا همان امواج لاو، باعث می‌شود که صخره‌ها بطور افقی یا در کنار هم و با زاویه عمودی

نسبت به مسیر امواج، بدون جابجایی عمودی حرکت کنند. امواج ری لی و لاو همیشه آهسته تر از امواج P و اغلب آهسته تر از امواج S حرکت می کنند.

۳- علل

بیشتر زلزله ها ناشی از لغزش ناگهانی در مسیر یک گسل زمینی است. لغزش گسل ها، ناشی از حرکت صفحات تکتونیک زمین می باشد. این مفهوم را نظریه حرکت ارتجاعی و یا الاستیک می گویند. صفحات تکتونیک بسیار آهسته حرکت می کنند، و روی یک لایه ضعیف تر صخره ای شناورند. هنگامی که صفحات



به هم برخورد می کنند و یا در کنار هم می لغزند، فشار در درون پوسته صخره ای، ایجاد می شود. زلزله هنگامی رخ می دهد که فشار درون پوسته (به آهستگی و در طول صدها سال افزایش یابد و در نهایت) از مقاومت صخره ها فزون تر می گردد. به علاوه زلزله در نتیجه فعالیت های انسان همچون پرکردن ذخایر نیز رخ می دهد که باعث افزایش فشار در درون پوسته زمین می گردد.

۱-۳- نظریه حرکت ارتجاعی

در سال ۱۹۱۱ یک زلزله‌شناس آمریکایی اثرات زلزله ۱۹۰۶ کالیفرنیا را بررسی کرد و نظریه حرکت ارتجاعی و الاستیک را ارائه داد تا بتواند ایجاد برخی از زلزله‌هایی که اکنون دانشمندان می‌دانند در مناطق تکتونیک، و اغلب نزدیک لبه‌های صفحه رخ می‌دهد، را توجیه نماید. این نظریه بیان می‌دارد که در هنگام زلزله، صخره‌های زیر فشار ناگهان می‌شکنند، و یک شکستگی در طول گسل ایجاد می‌کنند. هنگامی که یک گسل می‌لغزد، حرکت ایجادشده در پوسته سخت و صخره‌ای ایجاد ارتعاش می‌نماید. این لغزش نیروی کششی منطقه را به محیط صخره‌ای اطراف منتشر می‌نماید. تغییرات ایجاد شده در نیروهای کششی باعث پس‌لرزه می‌شود (زلزله‌های کوچکی که پس از زلزله اولیه رخ می‌دهد)، که از لغزش‌های گسل اصلی یا گسل‌های کنار آن در منطقه تحت فشار ایجاد می‌شود. لغزش از کانون آغاز می‌شود و در طول صفحه گسل حرکت می‌کند، امواج را در طول سطح شکاف به اطراف منتشر می‌کند. در هر طرف گسل، صخره‌ها به جهات مختلف منحرف می‌شوند. شکاف گسل در طول گسل و به شکل نامنظمی پیش می‌رود، این ایست‌های ناگهانی حرکات شکاف، به ارتعاش منجر می‌شود که به شکل امواج زمین‌لرزه منتشر می‌گردد. پس از زلزله، نیروی کششی دوباره شروع به جمع‌شدن می‌کند تا اندازه آن بیش از نیروهای نگهدارنده

صخره‌ها شود، و در این هنگام دوباره گسل حرکت می‌کند و زلزله دیگری به وقوع می‌پیوندد.

۲-۳- فعالیت‌های انسان

شکاف گسل تنها علت زلزله نیست؛ فعالیت‌های انسان نیز می‌تواند بطور مستقیم یا غیرمستقیم باعث زلزله‌های بزرگ شود. تزریق مایع به چاه‌های عمیق برای دفع زباله‌ها، پرکردن ذخایر با آب، و انفجار ناشی از آزمایش‌های هسته‌ای زیرزمینی می‌تواند بطور محدود ایجاد زمین‌لرزه نماید. این فعالیت‌ها، نیروی کششی درون صخره‌های نزدیک محل فعالیت را افزایش می‌دهد و صخره‌ها شروع به لغزش می‌کنند و به راحتی در طول گسل‌هایی که از پیش وجود داشته‌اند، حرکت می‌کنند. با وجود اینکه زلزله ناشی از فعالیت‌های انسان، می‌تواند خطرناک باشد اما اطلاعات مفیدی را نیز فراهم می‌آورد. پیش از معاهده منع آزمایش‌های هسته‌ای، دانشمندان می‌توانستند زمان پیشرفت و رسیدن موج P را از یک زلزله شناخته‌شده ناشی از انفجار ناشی از آزمایشات هسته‌ای زیرزمینی تشخیص دهند. دانشمندان از این اطلاعات برای مطالعه امواج زمین‌لرزه و شناخت بهتر ساختمان درونی کره زمین استفاده کردند.

دانشمندان دریافته‌اند که با بالا رفتن سطح آب در یک مخزن، فشار آب در خلل و منافذ درون صخره نیز در طول **گسل منطقه**

بالا می‌رود، که خود می‌تواند باعث لغزیدن صخره‌ها، و ایجاد زمین‌لرزه بشود. اولین مدرک در مورد زمین‌لرزه ناشی از مخزن در سال ۱۹۳۵ از پرکردن دریاچه مید پست سد هوور در سواحل نوادا در ایالت آریزونا بدست آمد. پیش از ساخت سد، به ندرت در آن منطقه زمین‌لرزه روی می‌داد، اما لرزه‌نگارها در بین سال‌های ۱۹۳۶ و ۱۹۴۶ توانستند دست کم ۶۰۰ زمین‌لرزه با کانون سطحی ثبت کنند. هرچند بیشتر ذخایر، نتوانستند ایجاد زلزله نمایند.

۴- پراکندگی

زلزله‌شناسان تواتر و محل بیشتر زمین‌لرزه‌های قرن بیستم را ثبت نموده و زمین‌لرزه‌های طبیعی را بطور کلی به دو دسته تقسیم کرده‌اند: بین‌صفحه‌ای و درون‌صفحه‌ای. زلزله‌های بین‌صفحه‌ای شایع‌ترین زلزله‌ها هستند که ابتدا در طول لبه‌های صفحه رخ می‌دهند. زلزله‌های درون‌صفحه‌ای زمانی رخ می‌دهد که پوسته درون یک صفحه می‌شکند. هر دو نوع زلزله ممکن است ناشی از نیروهای تکتونیک و یا آتشفشانی باشند.

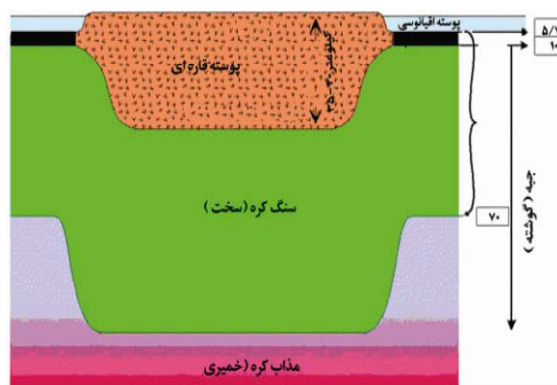
۴-۱- زلزله‌های تکتونیک

زلزله‌های تکتونیک ناشی از آزادشدن ناگهانی انرژی ذخیره‌شده در درون صخره‌های یک گسل هستند. انرژی آزادشده از نیروی کششی صخره‌ها که در اثر حرکت آن‌ها در

درون زمین است آغاز می‌شود که به آن تغییر شکل تکتونیک می‌گویند. این اثر شبیه پاره‌شدن ناگهانی و برگشت یک کش کشیده شده است.

۴-۲- زلزله‌های آتشفشانی

زلزله‌های آتشفشانی نزدیک آتشفشان‌های فعال رخ می‌دهد اما فرایند لغزش گسل در آن همانند زلزله‌های تکتونیک است. زلزله‌های آتشفشانی در اثر حرکات به سمت بالای **ماگما** در زیر آتشفشان رخ می‌دهد که صخره‌ها را در محل خود در فشار قرار می‌دهد و ایجاد زلزله می‌نماید. همان‌طور که مایع ماگما در سطح آتشفشان بالا می‌رود، توده‌های صخره را حرکت می‌دهد و می‌شکند و باعث لرزش‌های مداوم می‌گردد که خود ساعت‌ها و روزها به طول می‌انجامد. زلزله‌های آتشفشانی در مناطقی رخ می‌دهد که فوران آتشفشانی وجود دارد مانند آبشار رشته کوه‌های شمال غربی اقیانوسیه، ژاپن و ایسلند.

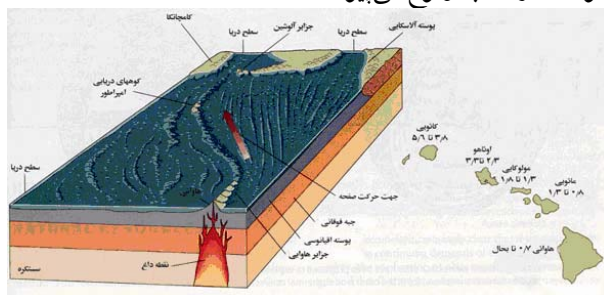


۵- مکان‌های زلزله

زلزله‌شناسان با استفاده از شبکه‌های جهانی ایستگاه‌های زلزله‌نگار توانسته‌اند نقشه کانون‌های زلزله در سراسر دنیا را بطور دقیق ترسیم کنند. نظریه صفحات تکتونیک از نظریات متعدد و اکتشافات گذشته برخاسته و اکنون دانشمندان با استفاده از نظریه صفحات تکتونیک، حرکات صفحات زمین و اینکه چگونه این حرکت ایجاد زمین‌لرزه می‌کند را توجیه می‌نمایند. به علاوه، با استفاده از دانش صفحات تکتونیک می‌توانند محل زمین‌لرزه، تشکیل کوه و گودال‌های عمیق اقیانوس‌ها را توضیح دهند و پیش‌بینی کنند که کدام مناطق بیش از همه توسط زمین‌لرزه تخریب می‌شود. روشن است که بیشتر زمین‌لرزه‌های بزرگ در مناطقی رخ می‌دهد که در ظاهر در لبه‌های صفحه‌ها قرار دارند: رشته‌کوه‌های بلند و گودال‌های عمیق اقیانوس. زلزله‌های درون صفحه یا درون صفحه‌ای در مقایسه با هزاران زلزله‌ای که هر سال در لبه‌های صفحه رخ می‌دهد، نادر هستند ولی می‌توانند بسیار بزرگ و مخرب باشند.

زلزله‌هایی که در مناطق اطراف اقیانوسیه و در لبه‌های صفحه اقیانوسیه رخ می‌دهند، تقریباً باعث ۸۰٪ انرژی آزادشده زمین‌لرزه در سراسر دنیا هستند. ژاپن نیز هر سال با بیش از **۱۰۰۰ لرزه** بالای ۳/۵ بزرگ می‌لرزد. سواحل غربی امریکای شمالی هم قطب‌های

فعال زمین‌لرزه هستند و هر سال هزاران زمین‌لرزه کوچک و متوسط در آن به وقوع می‌پیوندد.



زمین‌لرزه‌های درون‌صفحه‌ای کمتر از زلزله‌های لبه صفحه‌ای اتفاق می‌افتد، اما هنوز در اثر شکسته شدن توده‌های صخره‌ای درونی رخ می‌دهد. زلزله‌های ۱۸۱۱ و ۱۸۱۲ مادرید نو، میسوری، دو طیف از نمونه‌های حوادث بین‌صفحه‌ای هستند. دانشمندان تخمین زده‌اند که زلزله‌های اصلی این سری تقریباً بزرگای ۸/۰ ریشتر داشته و حداقل ۱۵۰۰ پس‌لرزه داشته‌است.

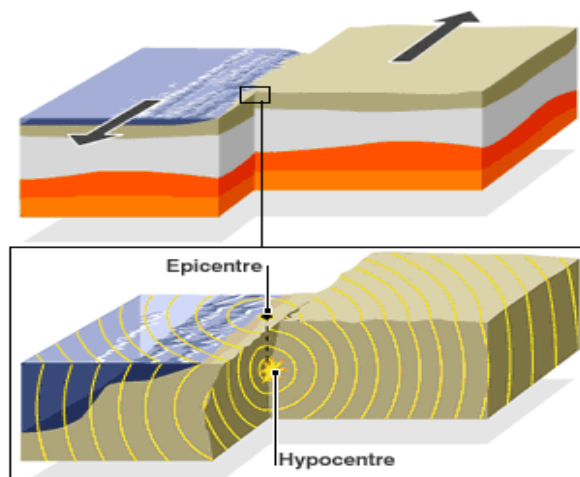
۶- اثرات زلزله

لرزش‌های زمین باعث لغزش سطح آن و دیگر حرکات صخره‌ای می‌گردد که خود از اصلی‌ترین علل حوادث مخربی هستند که در هنگام زلزله رخ می‌دهند. اثرات اولیه‌ای که همراه با زلزله رخ می‌دهند عبارتند از: خرابی و خسارت اموال و دارایی‌ها، مرگ و میر، آتش‌سوزی و امواج سونامی. اثرات ثانویه همچون خسارت‌های اقتصادی، بیماری، نداشتن خوراک و آب پاکیزه، نیز پس از یک زلزله بزرگ اتفاق می‌افتد.



۱-۶- تکان خوردن و لغزش زمین

امواج زلزله باعث حرکت زمین، تکان خوردن ساختمان‌ها و ویرانی نسبی یا کامل سازه‌های ضعیف می‌شوند. تکان خوردن زمین باعث می‌شود خاک و مصالح ساختمانی زیر سازه‌ها سست شود و تغییرات جدی را در خاک‌های با ذرات ریز ایجاد شود.



هنگام یک زلزله، خاک ماسه‌ای که از آب اشباع شده‌است، تبدیل به یک گل مایع می‌شود که به آن پدیده مایع شدن می‌گویند. با ضعیف شدن پی خاکی زیر سازه‌ها و ساختمان‌ها، این فرآیند مایع شدن باعث تخریب می‌شود. تکان خوردن سبب می‌شود که توده‌های صخره‌ای و بزرگ زمین بیرون بزنند و موجب رانش خطرناک زمین، رانش گل و ریزش صخره‌ها بشود که خود می‌تواند باعث تلفات جانی یا خسارات مالی بیشتر گردد.

۲-۶- آتش‌سوزی

خطر دیگر تهدید کننده پس از زلزله، آتش‌سوزی است، مانند آتش‌سوزی که پس از زلزله ۱۹۲۳ توکیو رخ داد. در زلزله سال ۱۹۲۳، در توکیو و یوکوهاما ۱۳۰۰۰۰ نفر جان باختند و بسیاری نیز در دیگر شهرها، با شعله‌های سهمگین آتش ناشی از وزش باد به هلاکت رسیدند. میزان خسارت ناشی از آتش‌سوزی پس از



زلزله به نوع مصالح بکار رفته در ساختمان، اینکه آیا لوله‌های آب سالم بماند، و اینکه آیا خطوط گاز طبیعی بشکند یا نه، بستگی دارد. شکستن خطوط گاز می‌تواند باعث آتش‌سوزی‌های متعدد شود و **عدم سلامت** لوله‌های آبرسانی و نرسیدن آب به منطقه آتش‌سوزی، مهار آن را با مشکل مواجه نماید. با برنامه‌ریزی پیش از وقوع زلزله، استفاده از مصالح ساختمانی نسوز، اجرای نظام‌نامه آتش‌نشانی و بهبود مهارت‌های همگانی مقابله با آتش‌سوزی می‌توان به گونه‌ای مطلوب آتش‌سوزی را کاهش داد.

۳-۶- امواج سونامی و سیل

امواجی که در طول ساحل، با برخی از زلزله‌های بزرگی که مرکز آنها در زیر اقیانوس است همراه هستند را سونامی می‌نامند که می‌تواند مرگ و میر و خسارت بیشتری از خود زمین‌لرزه بوجود آورد. سونامی اغلب از امواج متعدد اقیانوس ایجاد می‌شود که از میان گسل بیرون می‌آید و یکی پس از دیگری در ساحل طی مسیر می‌کند. بعلاوه، می‌تواند بدون هشدار قبلی به محل‌هایی بسیار دورتر از مرکز زلزله ضربه بزند. امواج سونامی را اغلب به امواج جزر و مدی نسبت می‌دهند، اما نیروهای جزر و مدی باعث ایجاد آن نمی‌شود و سونامی هنگامی رخ می‌دهد که یک گسل بزرگ در کف اقیانوس ناگهان می‌لغزد. صخره‌های جابجا شده،

آب بالای آن را مانند یک پاروی عظیم حرکت می‌دهد و ایجاد یک موج خیلی قوی آب در سطح اقیانوس می‌نماید. امواج اقیانوسی که از منشأ زلزله بیرون می‌آید در طول اقیانوس حرکت می‌کند تا به خطوط ساحلی برسد. با رسیدن به فلات قاره‌ای، (قسمتی از پوسته زمین که نسبت به کف اقیانوس در محل اتصال به زمین شیب صعودی دارد) ارتفاع امواج افزایش می‌یابد. سونامی با اثرات فاجعه‌بار خود مانند سیل‌های بسیار شدید و غرق کردن بسیاری از انسان‌ها، ساحل را می‌شوید و خسارات مالی فراوانی ایجاد می‌نماید.



زلزله می‌تواند در دریاچه‌ها و سدها نوسان ایجاد نماید و یا به شدت آن را به جلو و عقب تکان دهد. نوسانات آب را سایش می‌گویند. سایش می‌تواند باعث خرابی دیواره‌های سدها و ویرانی آن‌ها و در نهایت بروز سیل و خرابی ناشی از جریان رو به پایین آب سد بشود.

۴-۶- بیماری

زلزله‌های فاجعه‌بار به ویژه در کشورهای توسعه‌نیافته، ممکن است با خطر بروز بیماری‌های مسری همراه باشد. خرابی خطوط آبرسانی، دفع فاضلاب و تخریب تأسیسات بیمارستانی و نیز بی‌خانمانی، شرایطی را ایجاد می‌کند که می‌تواند به گسترش بیماری‌های مسری مانند آنفولانزا و بیماری‌های ویروسی دیگر کمک کند. گاه نبودن منابع غذایی، آب پاکیزه و وسایل گرم‌آب نیز می‌تواند مشکلات جدی در بهداشت و سلامتی ایجاد نماید.

۷- کاهش خسارت

جلوی وقوع زلزله را نمی‌توان گرفت، اما به کمک راهکارهای ارتباطی، طراحی درست سازه‌ای، برنامه آمادگی در شرایط اضطراری آموزش و استانداردهای ساختمانی می‌توان خرابی‌هایی را که ایجاد می‌کند به خوبی کاهش داد. در واکنش به مرگ و میرهای فجیع و هزینه‌های هنگفت بازسازی پس از زلزله‌های گذشته، بسیاری از کشورها آژانس ایمنی و هماهنگی زلزله تأسیس کرده‌اند. این آژانس‌ها برای مهندسان قوانینی فراهم می‌آورد تا ایشان بتوانند برای توسعه و ساختمان‌سازی هماهنگی‌هایی را بوجود آورند. ساختمان‌هایی که بر اساس این قوانین ساخته می‌شوند بهتر می‌توانند در برابر زلزله مقاومت کنند و کاهش خطرات ناشی از زلزله را تضمین می‌کنند.



این ساختمان‌ها هم در مرکز شهر بم قرار داشتند و آسیب جدی ندیدند.

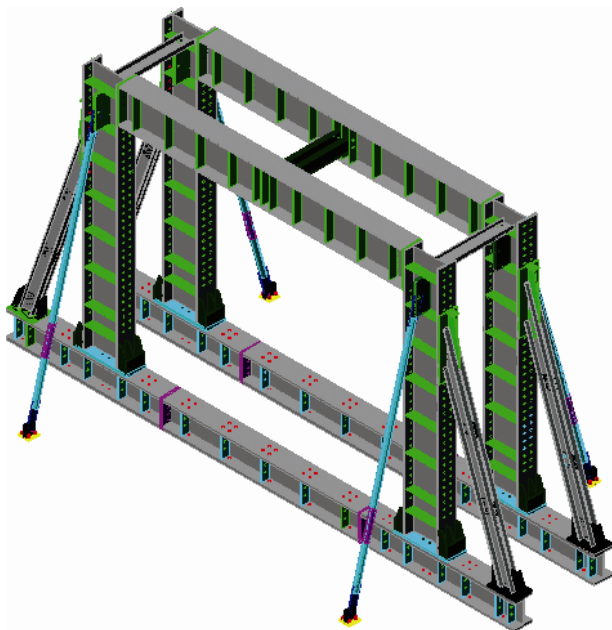
به کمک سیستم هشدار وقوع سونامی، می‌توان جلوی بروز برخی خسارات را گرفت، زیرا امواج سونامی بسیار آهسته حرکت می‌کنند. هنگامی که شواهدی از بروز یک زلزله در زیر دریا در زلزله‌نگار دیده می‌شود، زلزله‌شناسان خیلی فوری اخطار را مخابره می‌کنند. امواج سونامی از امواج لرزه‌ای P و S آهسته‌تر حرکت می‌کنند- در اقیانوس آزاد، ممکن است حدود ده برابر آهسته‌تر از امواج لرزه‌ای صخره‌های زیر خود حرکت کنند. این کندی حرکت به زلزله‌شناسان فرصت می‌دهد تا هشدار مربوط به سونامی را اعلام کنند تا مردمی که در خطر احتمالی می‌باشند به عنوان یک اقدام پیشگیرانه برای کاهش میزان آسیب و مرگ و میر بتوانند منطقه ساحلی را تخلیه نمایند. دانشمندان این خبر را از طریق بی‌سیم یا تلفن به مراکز هشدار سونامی ارسال می‌نمایند.

مهندسان با استفاده از مصالح انعطاف‌پذیر و مقاوم‌شده، خسارات ساختمانی ناشی از زلزله را کاهش می‌دهند به گونه‌ای که ساختمان بتواند در برابر لرزش ایستادگی کند. از ۱۹۶۰ تاکنون، دانشمندان و مهندسان در طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله که با معماری مدرن و مصالح فعلی سازگار باشد، پیشرفت‌های زیادی کرده‌اند. آنها با استفاده از الگوهای رایانه‌ای می‌توانند واکنش یک ساختمان را در برابر انواع تکانه‌های زمین پیش‌بینی کنند، و آن را با حوادث واقعی لرزه‌ای مانند زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن مقایسه نمایند. آنها با تحلیل حرکات ساختمان در شدیدترین و خطرناک‌ترین مناطق زلزله‌خیز در مدل‌های رایانه‌ای خرابی احتمالی را پیش‌بینی می‌کنند و پیشنهادهای لازم برای تقویت سازه را ارائه می‌دهند.

۱-۷- طراحی سازه

زمین‌شناسان و مهندسان با استفاده از نقشه‌های ارزیابی خطر مانند نقشه‌های مناطق خطر زمین‌شناسی و لرزه‌ای درمی‌یابند که گسل‌ها کجا هستند و چگونه باید ساختمان نزدیک آن‌ها را بسازند که ایمن بماند. مهندسان با استفاده از نقشه‌های خطر زمین‌شناسی می‌توانند بطور متوسط حرکات زمین را در یک منطقه مشخص پیش‌بینی کنند و از این پیش‌بینی در مراحل طراحی و مهندسی پروژه‌های ساختمانی عظیم بهره ببرند، به

علاوه با دردست داشتن نقشه های ارزیابی خطر از ساخت و ساز بر روی گسل های بزرگ پرهیز می کنند و از مقاوم سازی مناسب ساختمان در برابر زلزله در مناطقی که مستعد تکانه های شدید هستند اطمینان حاصل می نمایند. آنها با استفاده از نقشه های ارزیابی خطر برای مقاوم سازی سازه های قدیمی نیز کمک می گیرند.



در مناطق شهری دنیا، خطر زلزله در ساختمان های مقاوم سازی نشده که از آجر، سنگ یا بلوک های بتونی ساخته شده اند، بزرگ تر است زیرا این مصالح نمی تواند در مقابل نیروهای افقی ناشی از امواج بزرگ لرزه ای مقاومت نماید. خوشبختانه،

خانه‌های تک‌خانوار چوبی که با قوانین جدید سازه‌ای ساخته می‌شوند، خیلی خوب در برابر زمین‌لرزه مقاومت می‌کنند. هرچند ممکن است این خانه‌ها تا حدودی آسیب ببینند، ولی بعید است ویران شوند، زیرا نیروی اسکلت‌الواری که محکم به هم متصل شده است، حتی در حوادثی که حرکات عمودی و افقی زمین بسیار قوی است، به راحتی بار سبک سقف و طبقات بالا را تحمل می‌کند.

۷-۲- برنامه آمادگی در شرایط اضطراری

برنامه‌های آموزش مقابله با زلزله در کاهش مرگ و میر و آسیب‌های ناشی از زلزله بسیار مؤثر بوده‌است و خود مردم در خانه‌ها یا اداره‌هایشان می‌توانند اقدامات پیشگیرانه زیادی را انجام دهند تا خطر کم شود. حفاظ و بست برای طبقات، احتمال افتادن اشیاء و ایجاد آسیب را کم می‌کند. نگهداری یک کیت یا بسته نجات زلزله در خانه و یا اداره نیز بخش مهمی از این آمادگی به شمار می‌رود.

در خانه، برنامه آمادگی زلزله عبارت است از نگهداری یک کیت زلزله و اطمینان از اینکه ساختمان از نظر سازه‌ای به قدر کافی مستحکم است. اطلاعات لازم برای تهیه یک کیت زلزله را نیز می‌توان از جمعیت هلال‌احمر بدست آورد. هنگام وقوع یک زلزله، افرادی که در خانه هستند باید با پناه‌بردن به زیر یک میز

محکم، خود را از اشیاء در حال سقوط و شیشه‌ها محفوظ نگه‌دارند. پس از زلزله، مردم باید از ساختمان‌ها بیرون بیایند، و در محوطه‌های باز گردهم آیند، و خود را برای پس‌لرزه‌ها آماده نمایند. به علاوه باید به اخبار اورژانس مربوطه از رادیو گوش بدهند، و از ساختمان‌هایی که به شدت آسیب‌دیده‌است دور شوند، و از مناطق ساحلی که خطر سونامی هست نیز فاصله بگیرند.

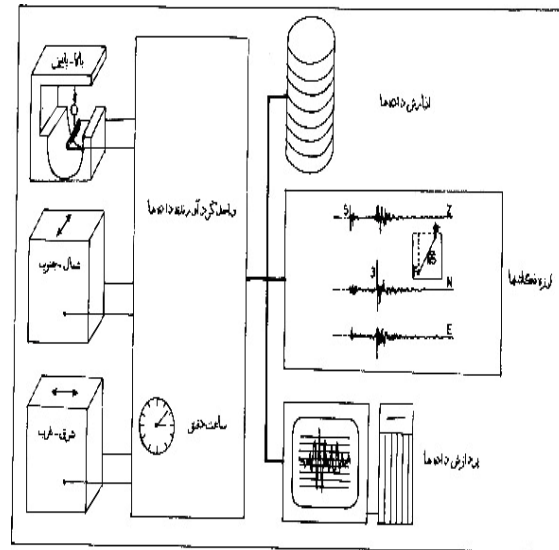
در بسیاری از کشورها، آژانس‌های اضطراری دولت، برنامه‌های واکنش به زلزله ترتیب داده‌است. در برخی مناطق پرمخاطره مانند ژاپن و مکزیک، هم اکنون زلزله‌نگارهای پیشرفته و قوی در مناطق شهری به اداره مرکز متصل شده‌است که در عرض چند دقیقه پس از یک زلزله، بزرگای قابل ثبت است و مرکز زلزله در نقشه نمایش داده می‌شود، و اطلاعات مربوط به شدت تکانه توسط رادیو مخابره می‌شود تا در کمک‌رسانی استفاده شود.

اقدامات، توصیه‌ها و نکات ایمنی که قبل، حین و بعد از وقوع زلزله بایستی انجام شود در بخش‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ آمده است.

۸- مطالعه زلزله‌ها

زلزله‌شناسان با استفاده از دستگاه زلزله‌نگار و سنجش الگو و اندازه‌گیری زلزله‌ها اطلاعات زیادی در مورد زلزله‌ها و بدست

می‌آورند و از آن در کشفیات زمین‌شناسی استفاده می‌کنند. آنها با استفاده از تعداد زیادی زلزله‌نگار که در سراسر دنیا وجود دارد



شمایی از تجهیزات یک پایگاه زلزله نگاری و مرکز پردازش.

می‌توانند بطور دقیق محل مرکز زلزله و همچنین بزرگای و یا اندازه و مشخصات لغزش زمین را نشان دهند.

۱-۸- اندازه‌گیری زلزله

یک زلزله‌نگار آنالوگ از یک پایه که به زمین متصل گردیده‌است و می‌تواند با حرکت زمین حرکت کند، و یک فنر یا سیم که یک وزنه به آن آویزان است و هنگام زلزله بی‌حرکت می‌ماند، تشکیل شده‌است. در مدل‌های قدیمی‌تر، پایه از یک غلطک کاغذ چرخان تشکیل می‌شود و وزنه ثابت به یک قلم

سوزنی یا وسیله نوشتنی وصل می‌شود که روی کاغذ چرخان قرار دارد. با عبور موج زلزله، وزنه ثابت و نوشت افزار شروع به ثبت حرکات پایه روی کاغذ غلطکی متصل به آن می‌شود. نوشت افزار اطلاعات مربوط به تکانه‌های زلزله‌نگار را روی یک کاغذ به شکل نمودار زلزله ثبت می‌کند. دانشمندان نیز از زلزله‌نگارهای دیجیتالی، و سیستم‌های کامپیوتری سنجش زلزله استفاده می‌کنند که می‌تواند حوادث زلزله را ضبط نمایند. انواع دیجیتالی زلزله‌سنج از دیسک‌های چندبار مصرف یا بازنوشتنی برای ضبط اطلاعات استفاده می‌کنند. گاه نیز یک ساعت، یک چاپگر و یک مولد برق را به آن متصل می‌کنند تا زمان رسیدن موج زلزله را بطور دقیق ثبت نماید و با نمودارهای دیجیتالی اطلاعات ثبت شده را چاپ کند. برخی از زلزله‌سنج‌ها دیجیتالی و قابل حمل هستند؛ و زلزله‌شناسان می‌توانند در زلزله‌های فاجعه‌بار و عظیم که شبکه‌ها تخریب شده‌اند و ایستگاه‌های ثبت زلزله نیز دیگر کار نمی‌کند، آن را برای مطالعه پس‌لرزه‌ها با خود ببرند.

در دنیا بیش از ۱۰۰۰ ایستگاه ثبت زلزله وجود دارد و یکی از راه‌هایی که زلزله‌شناسان می‌توانند بزرگی زلزله را اندازه بگیرند اندازه‌گیری بزرگای زلزله و یا دامنه حرکات زمین در حین زلزله است. زلزله‌شناسان با مقایسه مقیاس‌های بکار رفته در ایستگاه‌های مختلف، مرکز زلزله را پیدا می‌کنند و درمی‌یابند که زلزله در روی زمین رخ داده‌است یا در اقیانوس. به علاوه این کار به مردم

نیز کمک می‌کند تا برای خرابی‌ها و خسارات وارده آماده شوند (مثل سونامی). هنگامی که مشاهدات متعدد در سرتاسر دنیا امکان‌پذیر باشد، می‌توان با استفاده از سیستم‌های متمرکز و متصل به یکدیگر، مرکز زلزله را خیلی سریع مکان‌یابی نمود. حداقل سه ایستگاه برای مکان‌یابی یا محاسبه مرکز زلزله لازم است. زلزله‌شناسان مرکز زلزله را با مقایسه زمان‌های رسیدن امواج زلزله به ایستگاه‌ها تخمین می‌زنند، و در نهایت مسافتی را که موج طی کرده پیدا می‌کنند. زلزله‌شناسان با استفاده از جدول مدت‌زمان حرکت، به مرکز زلزله پی می‌برند. با ایستگاه‌های زلزله‌نگار موجود در سرتاسر دنیا، که بسیاری از آنها به کمک ماهواره سیگنال‌های دیجیتالی فراهم می‌کنند، زلزله‌های دور در فاصله ۱۰ کیلومتری از مرکز زلزله و در حدود ۱۰ تا ۲۰ کیلومتر از کانون زلزله را می‌توان مکان‌یابی کرد. شبکه‌های زلزله‌نگار محلی ویژه نیز می‌توانند مرکزهای محلی زلزله را در چند کیلومتری تعیین نمایند.

همه مقیاس‌های اندازه‌گیری اعداد نسبی می‌دهند که هیچ واحد فیزیکی ندارد. اولین مقیاس اندازه‌گیری زلزله در سال ۱۹۳۵ توسط زلزله‌شناس امریکایی چارلز ریشتر ارائه گردید. مقیاس ریشتر، دامنه یا ارتفاع امواج سطحی زلزله را اندازه می‌گیرد. این یک مقیاس لگاریتمی است، و بنابراین هر واحد اندازه‌گیری بعدی ده برابر افزایش را در دامنه نمودار نشان می‌دهد.

این به آن علت است که گستره جابجایی زمین توسط امواج زلزله، می تواند از یک میلی متر تا چندین متر تفاوت داشته باشد. ریشتر برای این گستره عظیم در مقیاس ها از لگاریتم ارتفاع امواج ثبت شده استفاده کرد. بنابراین بزرگای ۵ ریشتر در واقع ده برابر بیشتر از بزرگای ۴ ریشتر است؛ در حالی که 10×10 یا ۱۰۰ برابر بزرگتر از مقیاس ۳ می باشد.

امروزه، زلزله شناسان ترجیح می دهند برای اندازه گیری شدت زلزله، از انواع مقیاس های گوناگون استفاده کنند که به آن مقیاس بزرگای لحظه ای می گویند. زلزله شناسان ابتدا بزرگای لحظه ای را با استفاده از اندازه گیری لحظه لرزش یک زلزله، یا قدرت آن براساس محاسبه ناحیه و میزان جابجایی لغزش ها محاسبه می کنند. بزرگای لحظه ای نیز با حاصل ضرب این دو مقیاس بدست می آید که برای زلزله های بالای ۷ از بقیه مقیاس ها که تنها بخشی از امواج زلزله را نشان می دهند قابل اعتمادتر است و می تواند اندازه کلی آن را نشان دهد. بزرگای لحظه ای زلزله ۱۹۰۶ سان فرانسيسکو ۷/۶، زلزله ۱۹۶۴ آلاسکا ۹/۰ و زلزله ۱۹۹۵ کوبه ژاپن ۷/۰ بود، در مقایسه با مقیاس ریشتر برای همان زلزله ها به ترتیب ۸/۳، ۹/۲ و ۶/۸ بودند.

بزرگی زلزله را نیز می توان همانند شدت زلزله اندازه گیری کرد که عبارت است از اندازه گیری اثرات یک زلزله. پیش از

اختراع زلزله‌نگار، مردم بزرگی زلزله را تنها از روی اثرات آن بر روی انسان‌ها یا زمین یا ساختمان‌های ساخته دست بشر می‌شناختند. این مشاهدات اساس مقیاس‌های شدت زلزله هستند که برای اولین بار در سال ۱۸۷۳ توسط ام. اس. روسی زلزله‌شناس ایتالیایی و فورل دانشمند سوئیسی ارایه شدند. این مقیاس‌ها پس از چندی در سال ۱۹۰۲ با مقیاس مرکالی توسط ژیوسپ مرکالی دانشمند ایتالیایی ارایه شد. در سال ۱۹۳۱ وود و فرانک نیومن، زلزله‌شناسان آمریکایی، براساس شرایط ایالت کالیفرنیا استانداردهای ژیوسپ مرکالی را کمی تغییر دادند و مقیاس تعدیل‌شده مرکالی را ارایه دادند. بسیاری از زلزله‌شناسان در سراسر دنیا نیز برای اندازه‌گیری بزرگی زلزله براساس اثرات آن هنوز از این مقیاس تعدیل‌شده استفاده می‌کنند. مقیاس تعدیل‌شده مرکالی تکان‌های زمین را با توصیف کلی از واکنش مردم نسبت به تکانه‌ها و تخریب ساختمان‌ها در هنگام لرزش اندازه می‌گیرد. خرابی ساختمان‌های بخصوص، لغزش زمین، توصیف خرابی از گزارش‌های محلی توسط مردم بدست می‌آید.

۲-۸- پیش‌بینی زلزله‌ها

زلزله‌شناسان برآنند تا احتمال وقوع یک زلزله را بطور دقیق از نظر وقوع زمانی، مکانی و بزرگی پیش‌بینی کنند. در پیش‌بینی وقوع زلزله، محاسبات مربوط به اینکه چگونه حین زلزله، حرکت

قوی زمین می‌تواند یک منطقه را تحت تأثیر قرار دهد نیز لحاظ می‌گردد. دانشمندان با استفاده از مستندات زلزله‌های ثبت‌شده می‌توانند بطور تخمینی بگویند که کجا و چه زمانی حرکات قوی لرزه‌ای ممکن است، رخ دهد. آنان برای اینکه بدانند میزان تکرار مورد انتظار چقدر است، به ترسیم نقشه‌های زلزله‌های گذشته پرداخته‌اند. زلزله‌شناسان با استفاده از ماهواره‌های مکان‌یاب جهانی (GPS) می‌توانند حرکات زمین را در طول گسل‌های بزرگ اندازه بگیرند و حرکت نسبی سالانه و چندسانتی‌متری پوستهٔ صخره‌ای را در طول گسل‌ها دنبال کنند. این اطلاعات می‌تواند به پیش‌بینی زلزله کمک کند. حتی با دقیق‌ترین مقیاس‌های زلزله‌های گذشته نیز، نتیجه‌گیری دربارهٔ لرزش‌هایی که در آینده رخ می‌دهد در پردهٔ ابهام مانده‌است. این بدان معنی است که هر پیش‌بینی مفید زلزله باید احتمال وقوع زلزله را در یک منطقهٔ مشخص در یک محدودهٔ زمانی معین تخمین بزند و آن را با وقوع آن به عنوان یک حادثهٔ تصادفی مقایسه نماید.

برای پیش‌بینی زلزله، نظریهٔ حرکت ارتجاعی یک راه کلی است، زیرا بیان می‌دارد تا زمانی که نیروی کششی در طول یک گسل از قدرت مقاومت تودهٔ صخره‌ها بیشتر شود، یک زلزله بزرگ نمی‌تواند رخ دهد. زلزله‌شناسان زمانی را که نیروی کششی در طول گسل می‌تواند به اندازهٔ کافی بزرگ بشود تا ایجاد زلزله نماید را می‌توانند تخمین بزنند. به عنوان نمونه، پس از

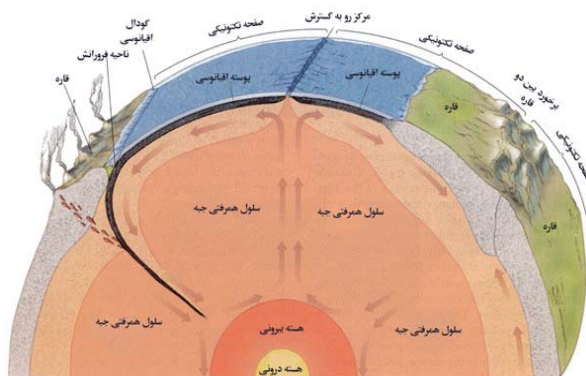
زلزله ۱۹۰۶ سانفرانسیسکو، مقیاس‌ها نشان داد که در ۵۰ سال پیش از آن، گسل سان‌آندره‌آس در نقاطی در طول گسل در حدود ۳/۲ متر جابجایی یا حرکت داشته‌است. بیشترین لغزش گسل در ۱۹۰۶ در حدود ۶/۵ متر بود، که در نهایت ۵۰ سال \times ۶/۵ متر \div ۳/۲ متر، یعنی در حدود ۱۰۰ سال طول می‌کشد تا برای ایجاد یک زلزله مشابه انرژی لازم دوباره ذخیره شود.

دانشمندان تغییرات دیگر در طول گسل‌های فعال را نیز برای پیش‌بینی فعالیت‌های آینده اندازه گرفته‌اند، که شامل تغییر قابلیت صخره‌ها در هدایت الکتریسته، تغییرات سطح آب زمین، و تغییر در گوناگونی سرعتی که امواج لرزه‌ای از منطقه مورد علاقه خود عبور می‌کند. البته هیچ یک از این روش‌ها، برای پیش‌بینی زمان وقوع زلزله موفق نبوده‌است.

زلزله‌شناسان نیز روش‌هایی را برای تخمین سال وقوع زلزله‌های گذشته پیدا کرده‌اند. علاوه بر اطلاعات مربوط به زلزله‌های ثبت‌شده، دانشمندان به تاریخچه زمین‌شناسی اطلاعات مربوط به زلزله‌ها پیش از اینکه انسان وسیله‌ای داشته‌باشد تا بتواند آن را اندازه بگیرد نیز پرداخته‌اند. این زمینه تحقیق را پیشینه زلزله‌شناسی یا پالئوسیسمولوژی (پالئو در یونانی یعنی «باستانی») می‌گویند. زلزله‌شناسان اکنون می‌توانند تعیین کنند که در چه زمان زلزله‌های گذشته رخ داده‌است.

۳-۸- ساختار درونی زمین

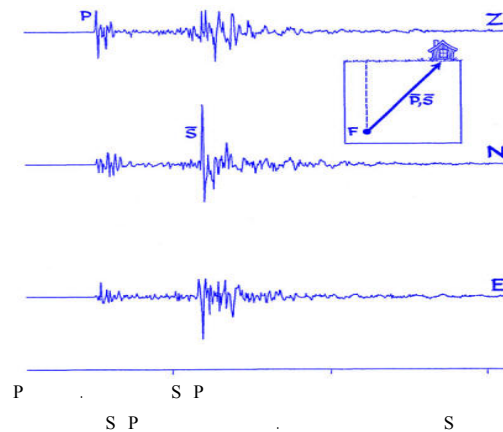
زلزله‌شناسان با مطالعه زلزله‌ها اطلاعات بیشتری در مورد ساختمان کره زمین پیدا می‌کنند. زلزله‌ها فرصت مناسبی را به دانشمندان می‌دهند تا بتوانند واکنش درونی زمین را هنگامی که موج زلزله از میان آن عبور می‌کند، ببینند. البته برای دانشمندان، اندازه‌گیری عمق و ساختمان‌های زمین‌شناسی در درون زمین با استفاده از امواج زمین‌لرزه از اندازه‌گیری فاصله آن از سطح زمین بسیار مشکل‌تر است. با این حال زلزله‌شناسان با استفاده از امواج زلزله، توانسته‌اند بگویند درون زمین از چهار منطقه تشکیل شده است: پوسته، گوشته، هسته بیرونی و هسته درونی.



حرکت صفحه‌ها که از محل پشته‌های اقیانوسی از یکدیگر دور می‌شوند و در مناطق دراز گودال‌ها فرو می‌روند. پدیده‌ای که ناشی از جریان‌های گرمایی درون زمین است.

مطالعات گسترده در مورد امواج زلزله از دهه‌های گذشته در قرن ۱۹ آغاز گردید که مردم دنیا در رصدخانه‌ها، زلزله‌نگار قرار دادند. تا سال ۱۸۹۷، دانشمندان توانسته بودند نمودارهای زلزله را

از زلزله‌های دور بدست آورند تا امواج P و S را که از اعماق زمین طی مسیر کرده‌بودند، بشناسند. بعدها - در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰- زلزله‌شناسان با مطالعه این نمودارها نواحی سایه‌ای موج P و S - مناطقی در طرف دیگر زمین و مقابل کانون زلزله در سطح کره زمین که امواج P و S به آن نمی‌رسند - را کشف کردند. نواحی سایه‌ای نشان داد که این امواج برخی از ساختمان‌های بزرگ زمین‌شناسی سیاره را به شدت جابجا کرده‌است.



زلزله‌شناسان با استفاده از این مقیاس‌ها به یافتن مسیری پرداخته‌اند که امواج زمین طی مسیر کرده‌اند. موهوروویچ دانشمند کروات در سال ۱۹۰۴ نشان داد که مسیر گذر امواج P و S نشان می‌دهد که یک لایه سطحی صخره‌ای یا پوسته، بر روی صخره‌های محکم‌تر زیرین وجود دارد. او مطرح کرد

که در درون زمین، امواج توسط ناهمگنی‌ها، تفاوت شیمیایی و ساختمانی صخره‌ها بازتابیده می‌شوند. با کشف وی، تقابل بین پوسته و گوشته زیرینش به عنوان ناهمگنی موهو یا موهوروویچ شناخته شد.

در سال ۱۹۰۶ ریچارد دیکسون اولدهام، از مرکز زمین‌شناسی هند، با استفاده از زمان رسیدن امواج لرزه‌ای P و S نتیجه گرفت که زمین باید یک هسته بزرگ و جدا داشته باشد. او با مقایسه امواج سریع‌تر P نسبت به امواج S ساختار درونی زمین را حدس زد و خاطرنشان کرد که امواج P با ناهمگنی‌هایی همچون ناهمگنی موهو شکسته می‌شود. در سال ۱۹۱۴ بنو گوتنبرگ زلزله‌شناس آلمانی - امریکایی با استفاده از سیر امواج منعکس شده در این لبه‌های بین گوشته و هسته زمین توانست شعاع هسته را در حدود ۳۵۰۰ کیلومتر تخمین بزند. در سال ۱۹۳۶ خانم اینگه له‌مان زلزله‌شناس دانمارکی یک ساختار کوچکتری را در مرکز کشف کرد، که همان هسته درونی زمین است و او شعاع آن را با اندازه‌گیری زمان سیر امواج زلزله‌های اقیانوسیه جنوبی در حدود ۱۲۱۶ کیلومتر تخمین زد. همانگونه که امواج از میان زمین عبور کردند و به رصدخانه دانمارک رسیدند، او توانست بر اساس سرعت و زمان رسیدن آن‌ها حدس بزند که این امواج می‌بایست از یک هسته درونی منعکس شده باشند. در مطالعات بیشتر در

مورد امواج زلزله، زلزله‌شناسان دریافتند که هسته بیرونی مایع و هسته درونی جامد می‌باشد.

۹- لرزش‌های بیرون از کره زمین

حوادث مشابه لرزه‌ای در دیگر سیارات و قمرهای آنها نیز رخ می‌دهد و مأموریت‌های علمی به قمر زمین یعنی کره ماه و مریخ اطلاعاتی را در این مورد فراهم کرده‌است. با مأموریت اخیر گالیله به قمرهای ژوپیتر نیز ممکن است شواهدی از لرزش‌ها را در آن‌ها بدست آورد.

بین سال‌های ۱۹۶۹ و ۱۹۷۷، دانشمندان به عنوان بخشی از برنامه آپولوی آمریکا، تجارب لرزه‌ای منفعلانه‌ای را پیش گرفتند. فضانوردان نیز ایستگاه‌های زلزله‌نگار در پنج ایستگاه در کره ماه ایجاد کردند که هریک از این ایستگاه‌ها در سال حدود ۶۰۰ تا ۳۰۰۰ ماه‌لرزه را ثبت کرد، و این یک نتیجه تعجب‌آور بود زیرا که کره ماه صفحه تکتونیک، آتشفشان فعال یا سیستم‌های گودال اقیانوسی ندارد.

بیشتر ماه‌لرزه‌ها، بزرگایی کمتر از ۲/۰ در مقیاس ریشتر داشتند. دانشمندان با استفاده از این اطلاعات توانستند ساختار درونی کره ماه را حدس بزنند و فرکانس و تواتر این ماه‌لرزه‌ها را نیز دریابند.

علاوه بر ماه و زمین، مریخ نیز تنها جسم سیاره‌ای دیگر است که روی آن زلزله‌نگار گذاشته شده است. در سال ۱۹۷۶ فضاییمای وایکینگ ۱ و ۲ دو زلزله‌نگار به مریخ فرستاد. متأسفانه، دستگاه وایکینگ ۱ نتوانست اطلاعاتی را به زمین مخابره کند و دستگاهی که روی وایکینگ ۲ سوار بود در عرض یک سال تنها یک حرکت موجی ارسال نمود و دانشمندان نتوانستند ساختار درونی مریخ را با تنها موج مخابره شده دریابند.



۱۰- اقدامات قبل از وقوع زلزله

زلزله اغلب بدون اطلاع قبلی و گاه شدید رخ می‌دهد و شناختن مناطق پرخطر و برنامه‌ریزی پیشگیرانه، باعث کاهش خطرات جدی و جراحت و فوت ناشی از آن می‌شود. مقاوم‌سازی در سقف و فونداسیون، محکم کردن چراغ‌ها و روشنایی‌ها به سقف و پیروی از استانداردهای مربوط به زلزله در ساختمان‌ها باعث کاهش اثر و شدت زمین‌لرزه می‌گردد.

۱۰-۱- بررسی خطرات در خانه

- ☀ قفسه‌ها را به دیوارها محکم کنید.
- ☀ اجسام بزرگ و سنگین را در قفسه‌های پایین‌تر قرار دهید.
- ☀ اقلام شکستنی نظیر شیشه‌های آذوقه، لیوان‌ها و ظروف چینی را در طبقات پایین کابینت نگهدارید و درب آن را محکم ببندید.
- ☀ وسایل سنگین نظیر تابلوها و آینه‌ها را دور از تخت‌خواب، صندلی و محل نشستن افراد آویزان کنید.
- ☀ روشنایی‌ها را ثابت و محکم کنید.
- ☀ سیم‌کشی‌های معیوب و فرسوده و نشی اتصالات گاز را برطرف کنید چرا که خطر آتش‌سوزی دارد.
- ☀ آب گرم‌کن را به دیوار و کف محکم کنید.
- ☀ هرگونه شکاف عمیق را در سقف و یا فونداسیون خانه تعمیر کنید و در صورت وجود آسیب و شکاف ساختمانی در خانه با یک کارشناس مشورت کنید.
- ☀ محصولات قابل اشتعال مانند اسپری حشره‌کش را به شکلی امن در کابینت‌های دربسته و در قسمت پایین قرار دهید.

۱۰-۲- شناسایی مکان‌های امن در داخل و خارج خانه

- زیر مبلمان و اثاثیه محکم و سنگین نظیر میز

■ کنار یک دیوار داخلی

■ دور از جاهایی که احتمال ریختن خرده شیشه وجود

دارد مثلاً نزدیک پنجره، آینه، تابلو و یا جایی که

قفسه‌های سنگین احتمال سقوط دارد.

■ در فضای باز، دوری از ساختمان‌ها، درخت‌ها، خطوط

تلفن و برق و پل‌های هوایی توصیه می‌شود.

۳-۱۰- آموزش خود و اعضای خانواده

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد زلزله با ستاد حوادث

غیرمترقبه و یا جمعیت هلال‌احمر منطقه خود و تلفن ندای امداد

جمعیت (۱۴۷) تماس بگیرید.



به کودکان بیاموزید که به چه شکل و چه موقع برای کسب

اطلاعات بیشتر با شماره ۱۱۵، ۱۱۰ و یا آتش‌نشانی و یا مراکز

دیگر تماس بگیرند.

به تمامی اعضای خانواده خود بیاموزید که چگونه و چه وقت

جریان گاز و آب و اتصال برق را قطع کنند.

۴-۱۰- همراه داشتن وسایل ضروری (بسته نجات)

- ✖ چراغ قوه و رادیوی کوچک با باتری اضافه
- ✖ کیف کمک‌های اولیه و دستورالعمل استفاده از آن
- ✖ دربازکن ساده
- ✖ داروهای لازم و ضروری
- ✖ کارت‌های اعتباری و پول نقد
- ✖ کفش‌های مناسب

۵-۱۰- طرح یک برنامه ارتباط اضطراری

از آنجا که احتمال می‌رود اعضای خانواده در هنگام وقوع زلزله از هم جدا باشند (زمانی که بزرگترها در محل کار و بچه‌ها در مدرسه هستند)، باید برنامه‌ای برای دور هم جمع شدن بعد از حادثه وجود داشته باشد.

از یک دوست یا فامیل در خارج از شهر محل زندگی خود بخواهید رابط اعضای خانواده باشد تا اعضا براحتی و در صورت نیاز با وی ارتباط برقرار کنند، زیرا پس از حادثه برقراری تماس با مسافت‌های طولانی راحت‌تر است. مطمئن شوید که تمامی اعضای خانواده اسم، آدرس و شماره تلفن فرد رابط را همراه دارند.

۶-۱۰- آمادگی افراد جامعه

- ➡ اگر می‌توانید در روزنامه محلی خود بخش ویژه‌ای را پیرامون اطلاعات مورد نیاز به هنگام وقوع زلزله (به همراه اطلاعات مربوط به شماره تلفن دفاتر اورژانس، جمعیت هلال‌احمر و بیمارستان‌ها) برای آگاهی عموم منتشر کنید.
- ➡ در منزل هفته‌ای یک بار به تعیین و مکان‌یابی خطرات بپردازید.
- ➡ جهت آماده‌سازی گزارش‌های ویژه برای افراد معلول با نیروهای جمعیت هلال‌احمر و اورژانس محلی همکاری کنید.
- ➡ برای تمرین آموزش‌های مربوط به زلزله در منزل نکاتی را فراهم آورید و در محل مناسب نصب نمایید.
- ➡ با نمایندگان شرکت‌های آب، برق و گاز در مورد نحوه قطع این خطوط صحبت و مشورت کنید.
- ➡ با یکدیگر کار کنید تا بدین وسیله آموخته‌های خود را در مورد ساختمان‌ها، برنامه‌های تغییر و تبدیل در ساختمان، تحقیق و بررسی خطرات احتمالی و در نهایت برنامه اضطراری خانواده و همسایگان با یکدیگر بکار گیرید.

۱۱- اقدامات در هنگام وقوع زلزله

- سعی کنید در هنگام زمین‌لرزه در جایی امن پناه بگیرید.
- مراقب باشید که برخی زلزله‌ها در واقع پیش‌لرزه هستند و زلزله عظیم‌تری ممکن است در راه باشد. برای رسیدن به محل امن حرکات خود را با قدم‌های کوتاه به حداقل برسانید. تا زمانی که

لرزش متوقف شود و مطمئن شوید که خروج از محل مانعی ندارد، در داخل بمانید.



۱-۱۱- اگر در داخل خانه هستید:

❖ تا توقف لرزش‌ها در زیر یک میز محکم و سفت و یا لوازم و اسباب مناسب دیگر از خود محافظت کنید. اگر در نزدیکی شما میزی نیست، سر و صورت خود را با کمک بازوان بپوشانید و در یک گوشه به حالت چمباتمه قرار بگیرید.

❖ خود را از معرض شیشه‌ها، پنجره‌ها، درب و دیوارهای بیرونی، کتابخانه، بوفه و روشنایی و هر چیزی که احتمال ریزش و سقوط دارد، دور نگهدارید.

❖ اگر در رختخواب هستید، همانجا بمانید تا زمانی که لرزش‌ها متوقف شود و برای محافظت از خود یک بالش روی سر خود نگه دارید. البته اگر زیر لوستر و یا در جایی هستید که احتمال سقوط اشیاء می‌رود به نزدیک‌ترین مکان

امن بروید.

❏ از یک درگاه برای پناهگاه استفاده کنید، بشرطی که نزدیک باشد و قابلیت تحمل بار را نیز داشته باشد.

❏ تا زمانی که لرزش‌ها متوقف شود در داخل خانه بمانید و در صورت اطمینان از خانه خارج شوید. تحقیقات نشان داده‌است که بیشترین صدمات زمانی رخ می‌دهد که افراد سعی در تغییر موقعیت در داخل و یا خروج از ساختمان دارند.

❏ احتمال دارد که جریان برق قطع شود و یا سیستم‌های اعلان خطر آتش‌نشانی و یا سیستم‌های آب‌پاش بکار بیافتد.

❏ به هیچ وجه از آسانسور استفاده نکنید.

۲-۱۱-اگر در خارج خانه هستید:

➡ سرجای خود بمانید. از کنار ساختمان‌ها، تیرهای برق و خطوط آب و برق دور شوید.

➡ اگر در فضای باز هستید تا زمانی که لرزش‌ها متوقف شود، همانجا بمانید. بیشترین خطر در بیرون ساختمان‌ها، درب‌های خروجی و در کنار دیوارهای خارجی وجود دارد و حرکت زمین در طول یک زمین‌لرزه بندرت علت اصلی مرگ و میر و جراحت می‌باشد. بیشتر افراد هنگام خروج از ساختمان و بواسطه ریزش آوار و دیوارها و حرکت و ریزش شیشه و سقوط اجسام کشته و یا مجروح می‌شوند.

۱۱-۳- اگر در یک وسیله نقلیه در حال حرکت هستید:

❏ خیلی سریع و در یک مکان امن خودرو را متوقف کنید و در داخل آن بمانید. از نزدیک شدن به ساختمان‌ها، درخت‌ها، پل‌های عابر پیاده و خطوط آب و برق و... خودداری کنید.

❏ با پایان لرزش زمین، با احتیاط به حرکت خود ادامه دهید، از حرکت در جاده، روی پل و یا سراسیمگی و دست‌اندازهایی که در اثر زلزله آسیب‌دیده است، پرهیزید.

۱۱-۴- اگر در زیر آوار مانده‌اید:

- ❑ کبریت روشن نکنید.
- ❑ برای پس زدن گرد و غبار حرکتی نکنید.
- ❑ دهانتان را با دستمال کاغذی و یا یک پارچه بپوشانید.
- ❑ به دیوار یا لوله ضربات ممتد بزنید تا امدادگران موقعیت شما را پیدا کنند. اگر سوت همراهتان بود از آن استفاده کنید. آخرین راه این است که فریاد بزنید، هرچند فریادزدن سبب استنشاق مقدار زیادی گرد و خاک می‌شود.

۱۲- اقدامات پس از وقوع زلزله

- مراقب پس لرزه‌ها باشید؛ پس‌لرزه‌هایی که بعد از زلزله به وقوع می‌پیوندد اغلب به شدت زلزله اصلی نیست اما باز هم می‌تواند مقاومت ساختمان را کم کند. بیشتر پس‌لرزه‌ها در اولین ساعات پس از وقوع زلزله اصلی به وقوع می‌پیوندد.
- از تلویزیون شارژی یا رادیوی باتری‌دار استفاده کنید؛ و

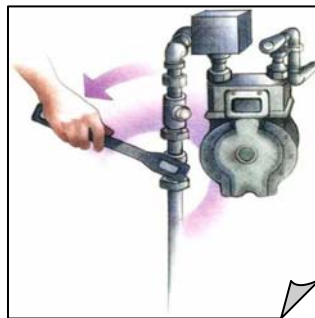
برای کسب آخرین اطلاعات به آنها گوش فرا دهید.

- تنها برای موارد اضطراری از تلفن استفاده کنید.
- درب کابینت‌ها را با احتیاط باز کنید و مراقب اجسامی که احتمال سقوط دارد، باشید.
- از مناطق آسیب‌دیده دور شوید؛ مگر اینکه پلیس، آتش‌نشانی یا نیروهای امدادی به کمک شما نیاز داشته باشند. تنها زمانی به منزل خود بازگردید که از امنیت آن توسط مسئولان اطمینان پیدا کنید.
- اگر در منطقه ساحلی زندگی می‌کنید، از احتمال وقوع سونامی آگاه باشید؛ سونامی همان امواج لرزه‌ایی دریاست. زمانی که مسئولان در مورد وقوع یک سونامی هشدار می‌دهند، احتمال بدهید که امواج خطرناکی در راه است و تا برقراری امنیت کامل از ساحل دور بمانید.
- به افراد آسیب‌دیده یا گيرافتاده کمک کنید؛ مساعدت و یاری به همسایه‌هایی که ممکن است به کمک خاصی نیاز داشته باشند بویژه بچه‌ها، سالمخوردگان و افراد ناتوان را فراموش نکنید. در صورت نیاز، کمک‌های اولیه را انجام دهید؛ افراد با جراحت‌های شدید را حرکت ندهید مگر اینکه در معرض خطر جدی ناشی از جراحت‌های بعدی باشند؛ در نهایت، درخواست کمک کنید.

➤ اگر دارو، گازوییل، سفیدکننده شیمیایی و یا مایع قابل اشتعال روی زمین ریخته شده است، آنرا تمیز کنید؛ اگر بوی گاز استشمام می کنید، خیلی سریع محل را ترک کنید.

➤ تأسیسات و مجرای دودکش (هواکش) را از نظر آسیب دیدگی بازرسی کنید؛ صدمات و آسیب های کوچک می تواند باعث بروز یک آتش سوزی گردد.

➤ نشی گاز را بررسی کنید؛ در صورت استشمام بوی گاز، شنیدن صدای ترکیدگی یا نشت گاز یک پنجره را باز کنید



و به سرعت ساختمان را ترک کنید. اگر توانستید شیر اصلی گاز را از بیرون ببندید و از خانه همسایه به شرکت گاز زنگ بزنید. اگر

بنا به هر دلیل، گاز را قطع کردید، تنها یک کارشناس باید آن را به حال عادی برگرداند.

➤ صدمات وارده به سیستم برق را بیابید؛ در صورت مشاهده جرقه، شکستگی و یا سیم های آب شده و یا استشمام بوی سوخته عایق، به سرعت فیوز را قطع کنید. اگر برای قطع

برق مجبور هستید از آب عبور کنید، حتماً با یک کارشناس برق مشورت کنید.

➤ صدمات وارده به خطوط آب و فاضلاب را بررسی کنید؛ اگر گمان می‌کنید که خطوط فاضلاب آسیب‌دیده است از توالت استفاده نکنید و یک لوله کش خبر کنید. اگر لوله آب آسیب‌دیده است با شرکت آب تماس بگیرید و از شیر آب استفاده نکنید و بجای آن، قالب‌های یخ را آب کنید.

فهرست منابع

1. McGeary David, Charles C Plummer , Diane H Carlson. "Physical Geology: Earth Revealed", 4th edition, Toronto, 2001.
2. A.S. Goudie, "Encyclopedia of Geomorphology", Rutledge, London and New York, 2004
۳. پروفیسور هاکانو موتوہیکو، حسنی نعمت، اسلامی محمدرضا، "زلزله در آلبوم تجربه نشر مرکز مطالعات بحران‌های طبیعی در صنعت" تهران، ۱۳۸۳