

آیا پیش‌بینی زلزله امکان پذیر است؟

امکان پذیر است؟

قسمت اول

ترجمه و توضیح: سیاوش شایان

زمین‌لرزه‌های فاجعه‌آفرین یکی از مهلک‌ترین زمین‌لرزه‌های ثبت‌شده در تاریخ در نزدیکی شهرک معدنی تیان‌شان (Tianshan) در چین به وقوع پیوست و صدها هزار نفر را کشت. این زلزله مسبب هیچگونه پیش‌لرزه‌ای به همراه نداشت!

دانشمندان خوشبین در آمریکا و ژاپن و چین معتقدند که نهایتاً ما می‌توانیم در مورد پیش‌بینی‌های دراز مدت زلزله (۱۰۰ هزار سال تا ۱۰۰ سال)، پیش‌بینی‌های میان‌مدت (چند سال تا چند ماه) و پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت (چند روزه، تا چند ساعته) و موفقیت کلی این زمین‌لرزه‌ها و بزرگی آنها به توافقی دست یابیم. پیش‌بینی زلزله مسأله‌ای ترکیبی و پیچیده است و به هر حال احتمالاً چند سالی به طول می‌انجامد تا پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت زلزله قابلیت اعتماد خود را نشان دهند. چنین پیش‌بینی‌هایی عمدتاً بر اساس این عوامل خواهند بود: الگوهای زلزله‌های قبلی و تناوب زمین‌لرزه‌ها، تغییرات غیرعادی در شکاف‌های موجود در سنگها و صخره‌ها، تغییر در مناطقی موجود در سنگها، حرکات عمودی یا افقی سنگها، تغییر در سرعت امواج لرزه‌ای از میان سنگها، نمودهای لرزه‌ای در امتداد گسله‌ها، تغییر در مقاومت الکتریکی زمین، تغییر در مقدار گاز رادیواکتیو رادون حل شده در آب‌های زیرزمینی و شاید مشاهده بی‌نظمی‌های رفتاری در حیوانات.

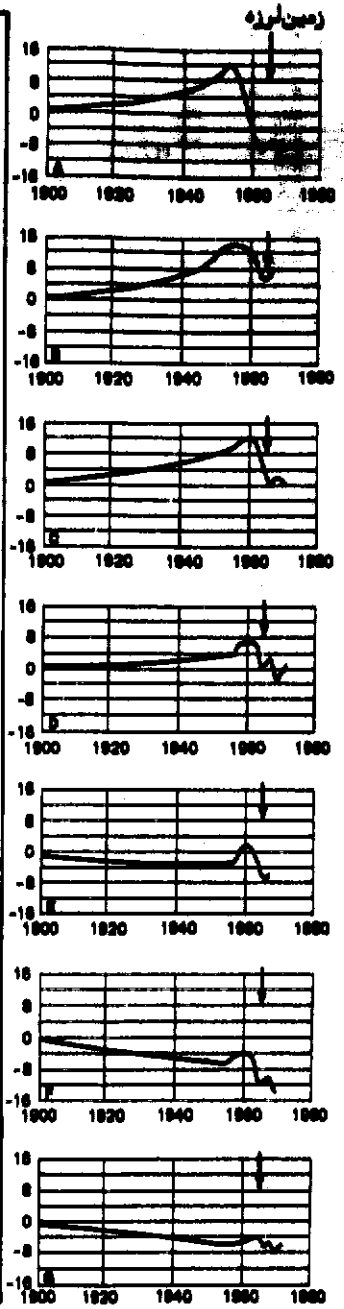
میزان بالازدگی یا فرونشینی، به ویژه تغییرات غیرعادی و سریع در این مورد ممکن است در پیش‌بینی زلزله دارای معنی و مفهوم خاصی باشد. مثلاً تا ده سال قبل از زلزله سال ۱۹۶۴ در نزدیکی شهر نیگاتا (Niigata) در ژاپن، (با بزرگی $7/5$) بالازدگی غیرعادی در پوسته زمین وجود داشت (شکل ۱).

در اوایل سال ۱۹۶۶ دانشمندی که با سازمان زمین‌شناسی آمریکا (U.S.G.S) کار می‌کردند آماس پالم دیل (Palmdale) را کشف نمودند (شکل ۲). بالازدگی با آماس مذکور که به هنگام نقشه‌برداری و ترازبندی شناخته شد در دهه ۱۹۶۰ به خوبی گسترش یافته و مشخص شده بود. در اوایل دهه ۱۹۷۰ احتمالاً امروزه این آماس بیشتر شده و گمانش گسترش یافت. کل مقدار بالازدگی در منطقه‌ای به وسعت ۸۴۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع به اندازه نیم متر است. قسمتهایی از این آماس از هنگام کشف تاکنون خالی شده و فرونشسته است مثلاً زمینهای نزدیک به پالم دیل از

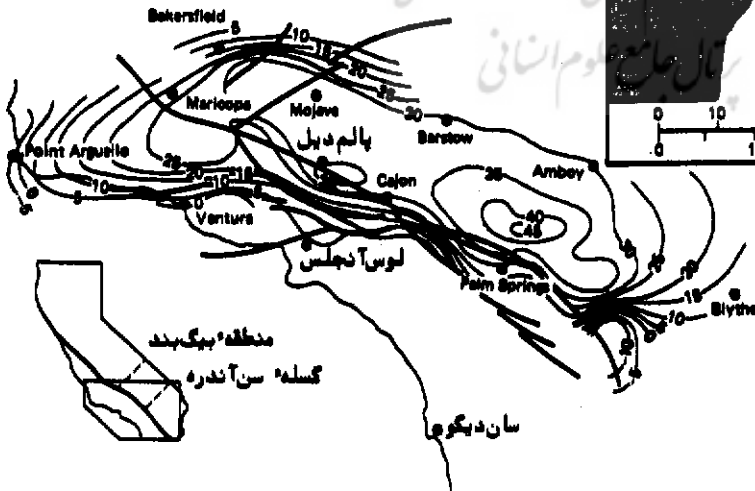
پیش‌بینی زلزله یکی از زمینه‌های مهم در تحقیقات علمی است. ژاپنیا در این زمینه نخستین کوششها را به کار برده و به برخی موفقیتها دست یافتند. آنان برای پیش‌بینی زلزله از اطلاعات اولیه مربوط به فرکانس (تناوب) وقوع و تکرار زلزله‌ها، اندازه‌گیری خمیدگی سطح آبها و مخاهدات مناطقی زمین بهره بردارند. ژاپنیا دریافتند که وقوع زمین‌لرزه در منطقه مورد مطالعه آنان معمولاً توأم با هجوم لرزه‌های کوچکی است که چند ماه قبل از لرزه اصلی شروع شده‌اند. علاوه بر اینها خمیدگی در پوسته زمین قویاً با فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای همبستگی داشته و قبل از وقوع زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی نزدیک به ۵، خمیدگیهای غیر عادی در پوسته زمین صورت گرفته است. همچنین ژاپنیا قبل از وقوع زمین‌لرزه‌ها نوسانات مناطقی غیر معمول در زمین را گزارش داده‌اند.

در سال ۱۹۷۵ میلادی دانشمندان چینی نخستین پیش‌بینی موفقیت‌آمیز از یک زلزله بزرگ را به انجام رسانیدند. زمین‌لرزه "های چنگ" (Haicheng) که در چهارم فوریه سال ۱۹۷۵ به وقوع پیوست $7/3$ بزرگی داشت و به ۹۰ درصد ساختمانهای شهر ۹۰ هزار نفری "های چنگ" خسارت وارد کرد و با آنها را ویران نمود. پیش‌بینی کوتاه مدت زمین‌لرزه مذکور بر اساس وقوع پیش‌لرزه‌هایی بود که حدود ۴ روز قبل از زمین‌لرزه اصلی صورت می‌گرفتند. در روزهای اول و دوم فوریه تعدادی لرزه با بزرگی کمتر از یک به وقوع پیوست و در سوم فوریه یعنی ۲۴ ساعت قبل از زمین‌لرزه اصلی پیش‌لرزه‌ای با بزرگی $2/4$ به وقوع پیوست و بلاخره طی ۱۷ ساعت بعد هفت‌لرزه با بزرگی بیش از ۳ ثبت گردید. آنگاه به‌طور ناگهانی تا ۶ ساعت قبل از وقوع زمین‌لرزه اصلی پیش‌لرزه‌ها متوقف شدند و آنگاه زمین‌لرزه‌ای با بزرگی $7/3$ در مقیاس ریختر انجام گردید.

متأسفانه پیش‌لرزه‌ها همیشه نشانه زلزله‌های بزرگ نیستند و زلزله‌های بزرگ نیز همیشه پیش‌لرزه ندارند. در سال ۱۹۶۶ میلادی



شکل ۱- بالازدگیهای غیرعادی در پوسته زمین که حدود ۱۰ سال قبل از وقوع زلزله با بزرگی ۷/۵ در نیکاتای ژاپن در سال ۱۹۶۴ مشاهده شدند. بالازدگیهای مذکور با ترسیم تغییرات در نقاط با ارتفاع مشخص در زمان معین اندازهگیری شدهاند. نقاط سیاه در این شکل موقعیت نقاط با ارتفاع مشخص را نشان می دهد و نمودارها مربوط به این نقاطند. (از کتاب پیش بینی زلزله، ۱۹۷۵).



شکل ۲- تغییر ارتفاع در منطقه آماس پالم دیل از ۱۹۵۹ تا ۱۹۷۴. فاصله منحنی های میزان ۵ سانتی متر است (از جی، بنت، ۱۹۷۷).

سال ۱۹۹۶ تا اوایل ۱۹۷۴، حدود ۳۵ سانتی متر بالاتر و از سال ۱۹۷۴ تا ۱۹۷۷، حدود ۱۷ سانتی متر فرونشست.

شکل ۳- پیش‌بینی زلزله براساس نبود لرزه‌های در امتداد گسله‌های فعال، نقشه برداری از زمین لرزه‌های کوچک سطح لغزش را در امتداد گسله سن آندره مشخص نمود که مربوط به چهار زلزله متوسط (با بزرگی ۲ تا ۵) می‌باشد. یک "نبود" ممکن است این ظن را تقویت کند که لغزش بعدی و زمین لرزه مربوطه در جایی صورت خواهد گرفت که بین زلزله‌های وقوع یافته، دیگر قرار گرفته باشد. (از آر. ای. والاس ۱۹۷۴).

میزان حرکت در امتداد بخشهایی از گسله سن آندره قبل از وقوع زلزله‌های اخیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت است و چهار لرزه متوسط از سالهای ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۳ در امتداد گسله مذکور انجام گرفته و به صورت تجربی نبوده‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

نبوده‌های لرزه‌ای در پیش‌بینی میان مدت زلزله‌ها بسیار مفید بوده‌اند. از این طریق هشت زمین لرزه به‌طور موفقیت آمیز پیش‌بینی شده‌اند که شامل یک زمین لرزه با بزرگی ۷/۲ در سال ۱۹۷۳ در جنوب آلاسکا و یک زمین لرزه با بزرگی ۷/۳ در همان سال در مکزیکو بود.

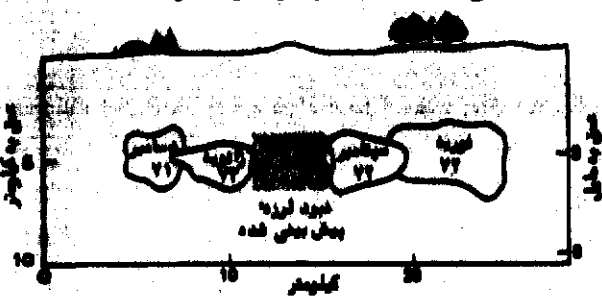
همچنانکه دانشمندان سرگرم مطالعه الگوهای لرزه‌ای نسبی بوده‌اند دو طرز تلقی خود را نشان دادند: اول اینکه قبل از وقوع زمین لرزه بزرگتر گاهی در لرزه‌های کوچک و متوسط پدیده‌ای می‌گردد و دوم اینکه زمین لرزه‌های کوچکتر متعادل به آنند که در اطراف محل وقوع زلزله بزرگتر که نهایتاً به وقوع خواهد پیوست، حلقه‌ای را تشکیل دهند. چنین حلقه‌ای میان‌تهی می‌باشد و در زلزله کولینکا (Coalinga) با بزرگی ۶/۲ در سال ۱۹۸۳ در کالیفرنیا، ۱۰ ماه قبل از وقوع زلزله اصلی این حلقه تشکیل شد. متأسفانه تا قبل از وقوع زمین لرزه اصلی این حلقه مورد توجه قرار نگرفت و ضوابط کمی برای شناسایی چنین حلقه‌هایی اگر چه مورد تحقیق قرار گرفته ولی هنوز مورد تعصب و بالایش قرار نگرفته است.

مقاومت الکتریکی مقدار مقاومتی است که یک ماده در مقابل جریان الکتریکی از خود نشان می‌دهد. هادی‌هایی چون مس و آلومینیوم دارای مقاومت بسیار پایینی هستند در حالی که عناصری چون کوارتز مثل عایق عمل کرده و دارای مقاومتی بسیار بالا در مقابل جریان الکتریکی است. رویهمرفته زمین هادی خوبی است اما مقاومت آن با مقدار آب زیرزمینی موجود در محل و برخی عوامل دیگر تغییر می‌کند. اگر از دو نقطه دور از یکدیگر به فاصله چند کیلومتر یک جریان الکتریکی به زمین وارد گردد در صورتی که سنگها در مقابل آن مقاومت از خود نشان دهند، تغییر در ولتاژ

شکل ۳- پیش‌بینی زلزله با تغییر در سرعت امواج لرزه‌ای (امواج P). سرعت امواج اولیه ممکن است ماهها قبل از وقوع زلزله کاهش یابد و درست قبل از وقوع زلزله افزایش پیدا کند تا به حد معمولی برسد. (از آر. ای. والاس ۱۹۷۴).

نبوده‌های لرزه‌ای به صورت مناطقی توصیف شده‌اند که در امتداد نواحی فعال گسله‌ای قرار گرفته و قابلیت تولید زلزله‌های بزرگ را دارند ولی اخیراً در آنها زمین لرزه‌های بزرگ به وقوع پیوسته است. گمان می‌رود که این مناطق فشارهای تکتونیکی را ذخیره می‌کنند و بنابراین گاندهای زمین لرزه‌های آینده می‌باشند. مبانی نبود لرزه‌ای به صورت کلی در مثالی در شکل ۴ بیان شده است.

پیش‌بینی زمین لرزه براساس نبود حرکت در امتداد گسله



شکل ۳- پیش‌بینی زلزله براساس نبود لرزه‌های در امتداد گسله‌های فعال، نقشه برداری از زمین لرزه‌های کوچک سطح لغزش را در امتداد گسله سن آندره مشخص نمود که مربوط به چهار زلزله متوسط (با بزرگی ۲ تا ۵) می‌باشد. یک "نبود" ممکن است این ظن را تقویت کند که لغزش بعدی و زمین لرزه مربوطه در جایی صورت خواهد گرفت که بین زلزله‌های وقوع یافته، دیگر قرار گرفته باشد. (از آر. ای. والاس ۱۹۷۴).

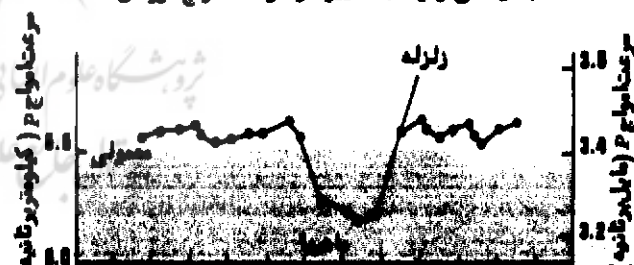
میزان حرکت در امتداد بخشهایی از گسله سن آندره قبل از وقوع زلزله‌های اخیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت است و چهار لرزه متوسط از سالهای ۱۹۷۱ تا ۱۹۷۳ در امتداد گسله مذکور انجام گرفته و به صورت تجربی نبوده‌های لرزه‌ای را نشان می‌دهد.

نبوده‌های لرزه‌ای در پیش‌بینی میان مدت زلزله‌ها بسیار مفید بوده‌اند. از این طریق هشت زمین لرزه به‌طور موفقیت آمیز پیش‌بینی شده‌اند که شامل یک زمین لرزه با بزرگی ۷/۲ در سال ۱۹۷۳ در جنوب آلاسکا و یک زمین لرزه با بزرگی ۷/۳ در همان سال در مکزیکو بود.

همچنانکه دانشمندان سرگرم مطالعه الگوهای لرزه‌ای نسبی بوده‌اند دو طرز تلقی خود را نشان دادند: اول اینکه قبل از وقوع زمین لرزه بزرگتر گاهی در لرزه‌های کوچک و متوسط پدیده‌ای می‌گردد و دوم اینکه زمین لرزه‌های کوچکتر متعادل به آنند که در اطراف محل وقوع زلزله بزرگتر که نهایتاً به وقوع خواهد پیوست، حلقه‌ای را تشکیل دهند. چنین حلقه‌ای میان‌تهی می‌باشد و در زلزله کولینکا (Coalinga) با بزرگی ۶/۲ در سال ۱۹۸۳ در کالیفرنیا، ۱۰ ماه قبل از وقوع زلزله اصلی این حلقه تشکیل شد. متأسفانه تا قبل از وقوع زمین لرزه اصلی این حلقه مورد توجه قرار نگرفت و ضوابط کمی برای شناسایی چنین حلقه‌هایی اگر چه مورد تحقیق قرار گرفته ولی هنوز مورد تعصب و بالایش قرار نگرفته است.

مقاومت الکتریکی مقدار مقاومتی است که یک ماده در مقابل جریان الکتریکی از خود نشان می‌دهد. هادی‌هایی چون مس و آلومینیوم دارای مقاومت بسیار پایینی هستند در حالی که عناصری چون کوارتز مثل عایق عمل کرده و دارای مقاومتی بسیار بالا در مقابل جریان الکتریکی است. رویهمرفته زمین هادی خوبی است اما مقاومت آن با مقدار آب زیرزمینی موجود در محل و برخی عوامل دیگر تغییر می‌کند. اگر از دو نقطه دور از یکدیگر به فاصله چند کیلومتر یک جریان الکتریکی به زمین وارد گردد در صورتی که سنگها در مقابل آن مقاومت از خود نشان دهند، تغییر در ولتاژ

پیش‌بینی زلزله با تغییر در سرعت امواج لرزه‌ای



شکل ۳- پیش‌بینی زلزله با تغییر در سرعت امواج لرزه‌ای (امواج P). سرعت امواج اولیه ممکن است ماهها قبل از وقوع زلزله کاهش یابد و درست قبل از وقوع زلزله افزایش پیدا کند تا به حد معمولی برسد. (از آر. ای. والاس ۱۹۷۴).

نبوده‌های لرزه‌ای به صورت مناطقی توصیف شده‌اند که در امتداد نواحی فعال گسله‌ای قرار گرفته و قابلیت تولید زلزله‌های بزرگ را دارند ولی اخیراً در آنها زمین لرزه‌های بزرگ به وقوع پیوسته است. گمان می‌رود که این مناطق فشارهای تکتونیکی را ذخیره می‌کنند و بنابراین گاندهای زمین لرزه‌های آینده می‌باشند. مبانی نبود لرزه‌ای به صورت کلی در مثالی در شکل ۴ بیان شده است.

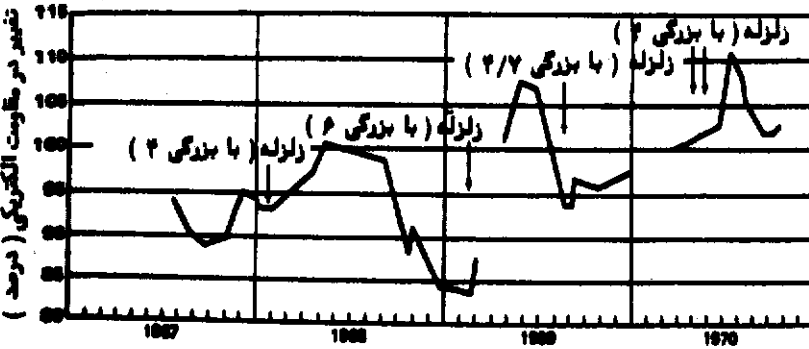
به سوی یک روش پیش‌بینی

برای انجام یک پیش‌بینی قابل اعتماد از زلزله و انجام روش پیش‌بینی مذکور راه درازی در پیش رو داریم. از سوی دیگر درباره پدیده‌های هم‌دارنده قبلی در زلزله‌ها، مقدار قابل ملاحظه‌ای از اطلاعات اولیه در حال گردآوری است. مثلاً اخیراً از طریق اندازه‌گیری فشار دریافت‌هایم که الگوی فشارهای وارده در گسله

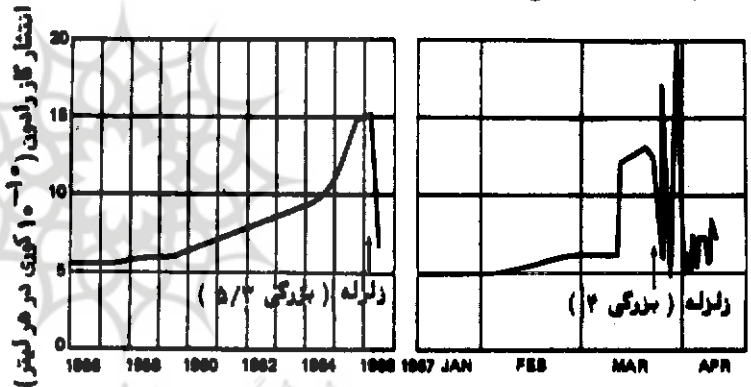
صورت می‌گیرد. در آمریکا، شوروی و چین قبل از وقوع زمین‌لرزه‌ها تغییراتی در مقاومت الکتریکی زمین گزارش شده است (شکل ۵). مقدار گاز رادیواکتیو رادون^۵ که در آب چاههای عمیق به صورت محلول وجود دارد ممکن است قبل از وقوع زلزله افزایش قابل توجهی پیدا کند (شکل ۶). استفاده از فن هم‌دارنده گاز رادون در چاههای عمیق امیدبخش به نظر می‌رسد و در کشورهای شوروی، چین و آمریکا به دقت مورد مطالعه قرار گرفته است.^۶

شکل ۵- تغییر در مقاومت الکتریکی پوسته

زمین قبل از وقوع زلزله که در آمریکا، چین و شوروی اندازه‌گیری شده است، اطلاعات اولیه این نمودار از علائم هم‌دارنده زلزله‌های اتحاد شوروی در فاصله سالهای ۱۹۶ تا ۱۹۷۰ اخذ شده است. اندازه‌گیریهای مذکور با ارسال جریان‌های الکتریکی به زمین و ثبت تغییرات ولتاژ در فاصله چند کیلومتری انجام شده است. روی هم رفته مشاهده شده است که قبل از وقوع زلزله کاهش در مقاومت پوسته زمین وجود دارد (از کتاب پیش‌بینی زلزله، ۱۹۷۵).



شکل ۶- مقدار گاز رادیواکتیو رادون حل شده در آب چاههای عمیق ممکن است قبل از وقوع زلزله به طور مشخصی افزایش یابد. دو مثالی که در این شکل نشان داده شده قبل از وقوع زلزله در اتحاد شوروی ثبت شده‌اند. زلزله سال ۱۹۶۶ (سمت چپ) بزرگی ۵/۳ و پس‌لرزه ۱۹۶۷ (سمت راست) دارای بزرگی ۲ بوده است. این فن در شوروی و چین هر دو مورد استفاده قرار گرفته ولی هنوز در آمریکا مورد استفاده قرار نگرفته است (از کتاب پیش‌بینی زلزله، ۱۹۷۵).



سن آندره^{۱۱} در ناحیه بیگ‌بند (Big Bend) در حال تغییر می‌باشد (شکل ۷). تا اواخر دهه ۱۹۷۰ اغلب اندازه‌گیریهای انجام شده دال بر این است که فشارهای شمالی - جنوبی سعی دارند گسله را قفل کنند. به مرحله در انتهای سالهای دهه ۱۹۷۰ الگوی فشارها نشان داد که این فشارها به آرامی در حال تغییرند به طوری که درهم فشرده‌گی شمالی - جنوبی گسترش شرقی - غربی به همراه دارد. دیگر پدیده‌ای که تغییر را به خوبی نشان می‌دهد مقدار گاز رادون منقشره از چاهها و عمیدگی سطح آب در چاههاست که به وسیله تابل سنج (عمیدگی سنج) ها اندازه‌گیری شده است. این اطلاعات وقوع یک زلزله بزرگ را در آینده‌ای نزدیک در امتداد گسله سن آندره نه تأیید می‌کند و نه آن را رد می‌نماید. برخی از مشاهداتی که همزمان با زلزله صورت گرفته است شاید در آینده دارای مفهوم و معنی مشخصی باشد. به ویژه تغییرات انجام شده در جهت فشارهای وارده ممکن است اهمیت داشته باشد زیرا حرکت

رفتار غیرعادی حیوانات گاه قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ گزارش شده است مثل موعوم کردن غیرعادی در سگها^۷، خودداری از تخمگذاری به وسیله ماکیان، خروج مارها از لانه‌های خود که حتی در رستمان موجب بیخ زدن آنها می‌شود. فرار اسبها و گاوها و سایر چهارپایان که ضمن فرار به صورت دایره‌ای دور خود می‌چرخند^۸، خروج موشهای صحرائی از لانه‌های زیرزمینی به شکلی که همچون دارو خورده‌ها و گنج‌ها عمل می‌کنند و همه اینها نمونه‌هایی از رفتار غیرعادی حیوانات در مواقع قبل از وقوع زلزله‌های بزرگ است. قبل از وقوع زلزله بزرگ "های چنگ" رفتار غیرعادی در حیوانات مشاهده شده و در سال ۱۹۷۱ در زلزله سان فرناندو (San Fernando) نیز دیده شده^۹، متأسفانه تشخیص رفتار غیرعادی در حیوانات قدری مشکل بوده و قابلیت اعتماد به آن کم و ارزیابی آن نیز مشکل است. با این حال به این موضوع علاقه نشان داده شده و تحقیقاتی در این زمینه در حال انجام است^{۱۰}.

توضیحات:
 محدثات فشار ذخیره شده
 (گسل گسل) از
 (گسل گسل) (گسل گسل)
 (گسل گسل) (گسل گسل)
 بزرگ سالهای ۱۸۵۷ و ۱۹۰۶



شکل پنجم: چهار قسمت عمده گسله سن آندره در کالیفرنیا. نشان دهنده مناطق شکستگی زمین در جریان زلزله های ۱۸۵۷ و ۱۹۰۶ و نیز حداکثر فشار ذخیره شده (گسل گسل) از آخرین زلزله تاکنون. برآوردهای احتمالی برای زلزله های چند دهه آینده نیز در این شکل نشان داده شده است. (برای توضیح بیشتر به متن و نیز به مراجع مشخص معرفی شده مراجعه کنید.)

امتداد گسله واساچ (Wasatch) در یوتا (Utah) اطلاعات ارزشمندی را برای برنامه ریزیهای تخلیل خطرات زلزله از طریق برنامه ریزیهای مناسب کاربری زمین، کدبندی ساختمانها و مهندسی طراحی فراهم ساخته که در پیش بینی های کوتاه مدت این اطلاعات فراهم نمی گردید.

به عنوان مثال در مورد پیش بینی های دراز مدت زلزله گسله سن آندره در کالیفرنیا را در نظر می گیریم. شکل ۷ چهار بخش عمده این گسله را نشان می دهد که از لحاظ فعالیت های تاریخی و قبل از تاریخ از یکدیگر متمایز شده اند و مشاهدات لرزه ای، اندازه گیریهای فشاری و مطالعات میدانی این چهار بخش را مشخص ساخته اند. در بخش جنوبی این منطقه احتمال وقوع زلزله های با بزرگی حداکثر ۸ وجود دارد در حالی که این قسمت جایی است که در دورانیهای قبل از تاریخ در آن زلزله های صورت نگرفته و در چند صد ساله اخیر نیز شواهدی مبنی بر وقوع زلزله وجود ندارد. با این وجود وقایع اخیر زمین شناسی که در آن منطقه به ثبت رسیده نشان می دهند که زمین لرزه های بزرگی در آنجا مورد انتظار است. در محلی نزدیک به ایندیو (Indio) در کالیفرنیا چند جویبار از چندین متری یکدیگر می گذرند و در آنجا یک مخروط افکنه مربوط به اواخر دوره پلیستوسن با حدود ۷۰۰ متر گستردگی وجود دارد. میزان جابه جایی سطوح گسله ها در این قسمت حدود چند سانتی متر بر سال و میزان فشار

شرقی - غربی می تواند به جابه جایی گسله کمک نموده و ایجاد لرزه را تسهیل کند. ممکن است برخی از زمین شناسان بگویند که چون گسترش شرقی - غربی در گسله به وقوع می پیوندد، احتمال وقوع یک زلزله بزرگ در امتداد گسله سن آندره بسیار محتمل می باشد. با در نظر گرفتن این امر که حدود یکصد سال از وقوع آخرین زلزله بزرگ در امتداد سن آندره می گذرد، وقوع یک زمین لرزه بزرگ در هر زمان از آینده دور از انتظار نیست و باعث تمجب نخواهد شد.

پیش بینی دراز مدت زلزله

اگرچه پیشرفت در پیش بینی کوتاه مدت زلزله انتظارات را برآورده ساخته، پیش بینی دراز مدت شامل ارزیابی خطر و تجزیه و تحلیل های احتمالی (احتمالاتی) در امتداد گسله های فعال سریعتر از حد مورد انتظار بوده است. روشهای پیش بینی که بر اساس کارهای میدانی استوار می باشند توسعه پیدا کرده و میزان حرکت سطوح گسله ها را نسبت به یکدیگر محاسبه نموده و به مدلی در مورد بازگشت - وقفه در مورد زلزله های بزرگ دست یافته اند و زمین شناسان شروع کرده اند به اظهار مطالبی نظیر اینکه "مثلاً در طول ۲۰ سال آینده احتمال وقوع زلزله بزرگ در یک بخش از گسله زیاد است. حتی بحثهایی صورت گرفته که بازگشت زلزله در امتداد گسلی چون سن آندره در کالیفرنیا و در

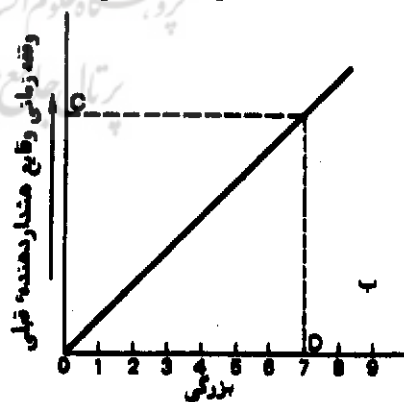
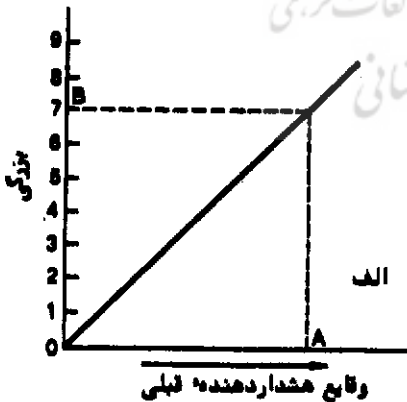
وارد شده حدود ۲ سانتی متر بر سال برآورد شده است. بنابراین بخش جنوبی گسله سن آندره را می توان یک نبود لرزه‌ای بالغ محسوب نمود که فشار تراکمی آن حدود ۱۱ متر می باشد (گس سطح گسلی ذخیره شده در سنگها ۱۲). بنا بر دلایل فوق زمین‌شناسان بر این باورند که این بخش از گسله در آینده‌ای نزدیک شاهد وقوع یک زلزله بزرگ خواهد بود. شکل ۷ احتمالات کلی دیگری را در مورد سایر بخشهای زلزله بیان داشته است اما این احتمالات فقط برآورد های سرانگشتی است و اطمینان کامل را نشان نمی دهد. باید در نظر داشت که هنوز ممکن است رفتار پیچیده گسله سن آندره را گول بزند. زمین لرزه ۲۴ آوریل ۱۹۸۲ (با بزرگی ۶/۲) در نزدیکی سان خوزه (San Jose) در امتداد قسمتی از گسله اتفاقی افتاد که احتمال کمی برای وقوع چنان زلزله‌ای می رفت.

زمین لرزه ۲۸ اکتبر ۱۹۸۳ در بوراپیک (Bozrah Peak) در آیداهوی مرکزی دیگر داستان موفقیت آمیز در ارزیابی خطرات و سوانح زمین لرزه به صورت درازمدت است. ارزیابیهای قبلی در مورد گسله لاست ریور (Lost River) نشان می دادند که گسله فعال است. زمین لرزه‌ای که به وقوع پیوست بزرگی برابر با ۷ داشت. دو نفر را کشت و ۱۵ میلیون دلار خسارت به بار آورد. این زلزله دامنه‌ای پر شیب با ارتفاع چند صد متر ایجاد کرد و شکافهایی در امتداد ۳۶ کیلومتری گسله به وجود آورد. مطلب مهم در وقوع این زمین لرزه آن بود که دامنه‌های شیبدار و گسله‌هایی به وسیله زلزله تولید شد که بر روی سطوح شیبدار قبلی تحمیل شدند و به مفید بودن نقشه برداری دقیق از سطوح گسلی تولید شده از زلزله‌های قبل از تاریخ اعتباری می بخشید. مسلم است که زمین در اینجا مجدداً شکسته خواهد شد!

حتی اگر در امر پیش بینی زلزله راه درازی در پیش داشته باشیم، اندیشیدن بر روی مدلها بسیار جالب است. فرض کنید که می توانیم یک سری ارتباطات در مورد بزرگی و زمان وقوع زلزله را

به هم ربط دهیم و پیش بینی انجام دهیم. اولین قدم ما در این مورد شناسایی تجربی ارتباطات در بین وقایع هشدار دهنده قبلی (مثل فعالیت پیش لرزه‌ها، خمیدگیهای غیر معمول، انفجار گاز رادون) و سپس شناسایی بزرگی احتمالی زمین لرزه می باشد. وقایع هشدار دهنده را می توان در یک منطقه اندازه گیری و ارزیابی کرد و با شدت آنها را مشخص نمود. بعد می توانیم منتظر شویم که بین این وقایع و بزرگی زلزله ارتباط مستقیمی پیدا کنیم و بعد به صورت تجربی مشاهدات خویش را در روی شکلی مثل شکل ۸ الف نشان دهیم. سپس با یک سری مشاهدات معین از وقایع هشدار دهنده (مثل نقطه A در شکل ۸ الف) می توانیم بزرگی احتمالی زلزله را پیش بینی نامقیم (نقطه B در همان شکل). همچنین می توانیم فرض کنیم که ارتباطی بین وجود وقفه‌ها در وقایع هشدار دهنده وجود دارد (زمان بین شروع وقایع هشدار دهنده اولیه و زمان وقوع زلزله) و از این طریق بزرگی زلزله مورد انتظار را حدس بزنیم (شکل ۸ ب). این ارتباطات به صورت تجربی از مشاهدات مستقیم یک فعالیت لرزه‌ای معین کسب می شوند. حال شدت زلزله پیش بینی شده را در نقطه B در شکل ۸ الف در نظر بگیرید و شکل ۸ ب را برای پیش بینی وقفه‌های زمانی بین وقایع هشدار دهنده (نقطه C) مورد استفاده قرار دهید. بنابراین اکنون بزرگی زلزله را می دانیم و اگر بدانیم که وقایع هشدار دهنده از چه زمانی شروع شده اند می توانیم زمان زلزله مورد نظر را محاسبه نامقیم. خیلی ساده به نظر می رسد ولی این پنداری بیش نیست زیرا هیچک از این ارتباطات از دقت کافی برای پیش بینی زمین لرزه‌های واقعی برخوردار نیستند. علاوه بر این باید عامل نهفته‌ای چون خطاهای اندازه گیری را در نظر گرفت در عین حال جستجو در مورد پیش بینی وقوع زمین لرزه امکان پذیر و ارزشمند است و ممکن است با کوشش و جدیت خویش نهایتاً به این مقصود نایل شویم.

ادامه دارد.



شکل ۸ الف و ب - روش تئوریک پیش بینی چگونگی بزرگی زلزله و زمان احتمالی وقوع آن. نمودار الف برای پیش بینی بزرگی بر اساس وقایع هشدار دهنده قبلی است. نمودار ب برای پیش بینی وقفه زمانی وقایع هشدار دهنده از بزرگی پیش بینی شده قبلی زلزله می باشد (برای توضیحات به متن مراجعه کنید).

پایه‌ها

در صورتی که زمین در هر دو وجود ندارد ولی اندکی قبل از وقوع زلزله یا آتشفشان مقدار این گاز در مناطق مورد تهدید افزایش پیدا می‌کند و با اندازه‌گیری میزان آن می‌توان به بروز سوانح مذکور پی برد.

در زمین‌شناسی، سه ساعت قبل از بروز زلزله سنگها شروع به لرزه کشیدن کردند. در زلزله اخیر استانهای گیلان و زنجان در کشورمان، در مورد رفتار سنگها قبل از شروع زلزله حسابا یک گزارش مشاهده شده است. بر اساس این گزارش در منطقه زلزله زده مذکور قبل از بروز زلزله چند توله سگ به وسیله مادرشان از کنار دیوار به زیر درختان منتقل شده و ماندت صاحب سگ نیز از انجام این عمل باعث عشم سگ شده است. با این حال سگ مذکور توله‌های خود را به زیر درخت منتقل ننموده و اعضای خانواده سگ نیز که گمان حادثه‌ای را با مشاهده این رفتار سگ برده بودند شب را در حیاط خانه به سر می‌بردند. زلزله در همان شب اتفاق می‌افتد و اعضای خانواده صاحب سگ به دین طریق نجات می‌یابند.

۸- در مورد رفتار غیر عادی چهارپایان قبل از وقوع زلزله‌ها مطالب زیادی منتشر شده است. از جمله فرار آنها از مناطق شهری و خروج از شهر در جریان زلزله سال ۱۹۰۶ جامائیکا، نگره کشیدن قبل‌ها در جریان زلزله شبر لاهور پاکستان که با خروج مردم از خانه‌ها توأم بود و باعث نجات عده زیادی از مردم شد. در جریان زلزله اخیر در گیلان و زنجان نیز یک گزارش در مورد رم کردن یک اسب و خروج وی از طویلک مطالعه شده است. خانواده صاحب اسب مذکور با دیدن هراسانی اسب به فکر افتادند که شاید اتفاقی در شرف وقوع است و در بیرون خانه به سر می‌برند که زلزله خانه را ویران نمود و این خانواده جان سالم به در بردند.

۱- نمونه‌هایی از رفتار غیر عادی در قبل زلزله از حیوانات اهلی خانگی، حیوانات محبوس در قفس باغ وحشها، مورچه‌ها، قورباغه‌ها و گربه‌ها همبها نیز در زلزله‌های مهم جهان گزارش شده است.

۲- منجمه در ژاپن مطالعه بر روی رفتار گبوترا در بخشهای مطالعات لرزه‌نگاری انجام می‌گیرد.

۱- گسله سن آندره در گالینریای آمریکا حدود ۱۳۰۰ کیلومتر طول دارد و بین دو کله قارای آمریکای شمالی و اقیانوس آرام قرار دارد. فعالیت این گسله از ۳۰ میلیون سال قبل آغاز شده و تا کنون زلزله‌های متعدد روی رها شده است که آخرین آنها زلزله گالینریا در سال ۱۹۸۹ بوده و مهمترین آن در سده اخیر زلزله ۱۸ آوریل ۱۹۰۶ بوده است که طی آن شهر سانفرانسیسکو خسارات عده دید.

۱۲- مجموع فشارهای انباشته شده و آزاد نشده در گسله را می‌توان فشار تراکمی نامید.

۱۳- مقدار سطح گسلی که باید در نتیجه فشارهای وارده جا به جا می‌شده است ولی با پادار مانده که سطح گسلی گفته می‌شود.

۱- گاز رادیواکتیو رادون (Rn) از جمله گازهای بی اثر و کمیاب است. عنصر ۸۶ در جدول مندلیف بوده و جرم اتمی آن ۲۲۲ می‌باشد. این گاز در دمای معمولی بی رنگ است و چگالی برابر ۹ گرم در لیتر دارد. در $۲۲^{\circ}C$ به جوش می‌آید و در $۲۱۰^{\circ}C$ ذوب می‌گردد.

۲- گاز دیگری که اخیراً در پیش بینی زلزله و آتشفشان مورد استفاده و بررسی قرار گرفته گاز هیدروژن است. این گاز به صورت

۱- در اندازه گیری مقاومت الکتریکی لایه‌های زمین باید توجه داشت که در این روش لایه‌های از خود واکنش نشان می‌دهند که در مقایسه با عمل قرارگیری آنها دارای ضخامت کافی باشند در غیر این صورت روشهای دیگری چون مطالعات لرزه‌شناسی توصیه می‌شود.

۲- بسته به هدف در اندازه گیری مقاومت الکتریکی فاصله دو نقطه اندازه گیری متفاوت است و روشهای مختلفی نیز در این مورد افعال می‌گردد. دو نقطه اندازه گیری منظور دو نقطه‌ای است که در آنها الکترودهایی نصب می‌گردد تا جریان الکتریکی بین آن دو نقطه محاسبه شود. در این روش هم از جریان برق متناوب و هم از جریان غیر متناوب می‌توان استفاده کرد. مقاومت الکتریکی لایه‌ها بدین ترتیب از فرمول $R = \rho \frac{L}{A}$ محاسبه می‌گردد که در آن R مقاومت الکتریکی، L شدت جریان، A اختلاف پتانسیل بین دو الکترود و K ضریب فاصله الکترودها می‌باشد.

۳- در متن و نقل آمده است که در صورتی که اختلاف پتانسیل صحیح می‌باشد.

۴- گاز رادیواکتیو رادون (Rn) از جمله گازهای بی اثر و کمیاب است. عنصر ۸۶ در جدول مندلیف بوده و جرم اتمی آن ۲۲۲ می‌باشد. این گاز در دمای معمولی بی رنگ است و چگالی برابر ۹ گرم در لیتر دارد. در $۲۲^{\circ}C$ به جوش می‌آید و در $۲۱۰^{\circ}C$ ذوب می‌گردد.

۵- گاز دیگری که اخیراً در پیش بینی زلزله و آتشفشان مورد استفاده و بررسی قرار گرفته گاز هیدروژن است. این گاز به صورت