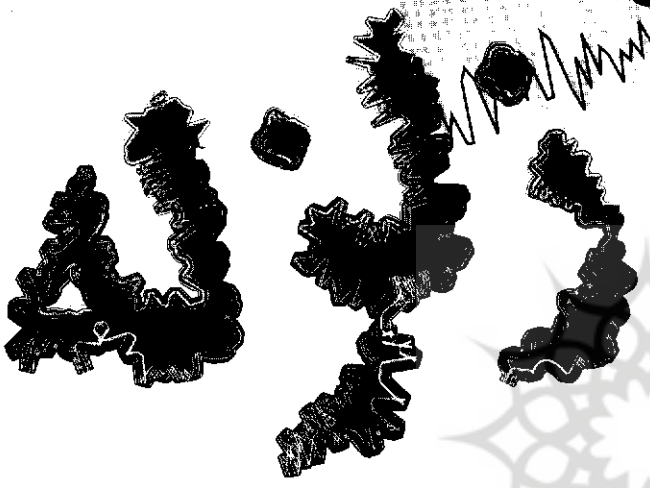
روح‌الله ندری*

پیش‌بینی زلزله



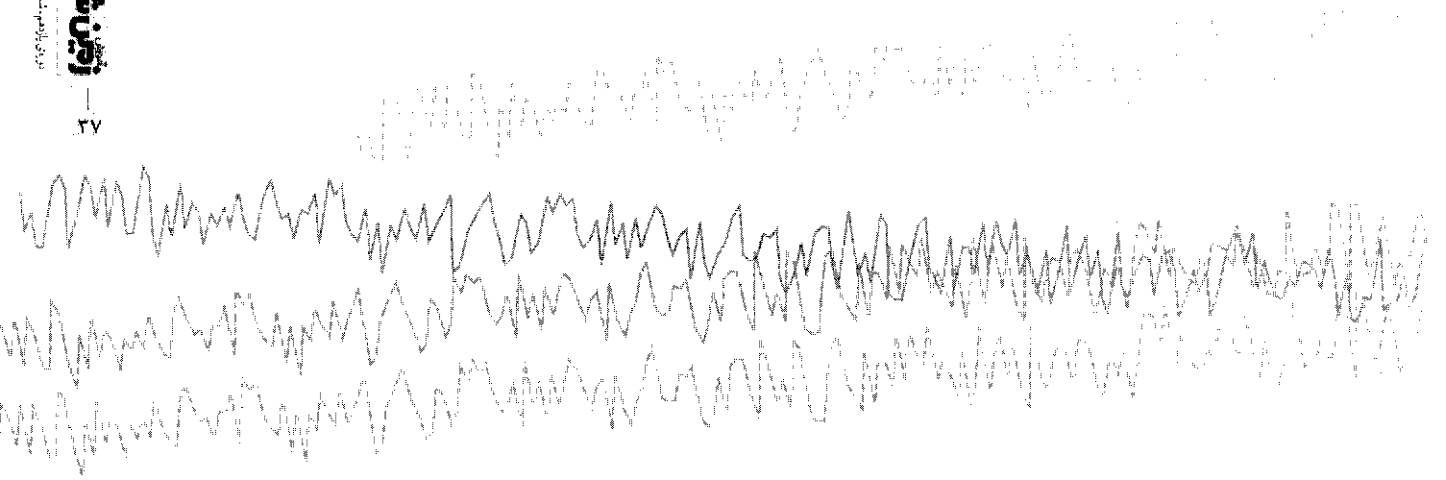
سرآغاز

آیا می‌توان زلزله را «پیش‌بینی»[1] کرد؟ زمین‌لرزه، یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که تأثیر آن روی جوامع بشری، چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر آسیب‌های اقتصادی، در طول تاریخ همواره قابل توجه بوده است. پیش‌بینی زمین‌لرزه برای مقابله با آن از طریق انجام اقدام‌های آماده‌سازی به منظور کاهش تلفات و خسارات ناشی از این رخداد بزرگ صورت می‌گیرد و هدف از آن، تعیین مناطق با خطر زلزله و کاهش تلفات مالی و جانی آن‌هاست.

پیش‌بینی زلزله، یعنی پیش‌بینی این‌که زلزله **کجا؟** و **کی**؟ و با چه شدتی ممکن است اتفاق بیفتد. برای بسیاری از افراد جامعه، مفهوم پیش‌بینی، فقط به معنای پیش‌بینی زمان زلزله است. در حالی که امروزه فقط محل زلزله قابل پیش‌بینی است، ولی این‌که در چه زمانی و با چه شدتی رخ می‌دهد، هنوز در پرده‌ی ابهام است. سابقه‌ی پیش‌بینی زلزله به زمان امپراتوری‌های چین برمی‌گردد که از منجمان می‌خواستند، زلزله را پیش‌بینی کنند. انسان راه‌های متفاوتی برای پیش‌بینی زلزله پیموده است. خرافات (الهه آتشفشان)، علوم بیولوژیکی (مشاهده ناهنجاری در رفتار حیوانات)، یافته‌های آماری (پیش‌بینی‌های علمی با استفاده از زلزله‌های ثبت‌شده قدیمی)، مشاهدات زمین‌شناسی (اندازه‌گیری تغییرات در گسل‌های موجود)، ژئوفیزیک (اندازه‌گیری انتشار امواج الکترومغناطیسی)، ژئوشیمی (تغییر در ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی) و کمک گرفتن از تکنولوژی یا فناوری (استفاده از ماهواره‌ها)، از جمله زمینه‌های تلاش‌های انجام شده برای پیش‌بینی زلزله هستند. از جمله تحقیقات در این زمینه، می‌توان به شبیه‌سازی و مدل‌سازی رایانه‌ای شرایط زمین برای دستیابی به الگوهای فرایند زمین‌لرزه، پردازش داده‌های حاصل از روش‌های مذکور، در راستای تکامل نظریه‌ی پیش‌بینی زمین‌لرزه اشاره کرد.

هر پارامتری که قبل از وقوع زمین‌لرزه تغییراتی در آن پدید آید، به گونه‌ای که بتوان با بررسی دقیق این تغییرات زمین‌لرزه را پیش‌بینی کرد، پیش‌نشانگر[2] گفته می‌شود. پیش‌نشانگرها عبارتند از: تغییرشکل پوسته‌ی زمین، تغییر در تراز دریا، تنجش‌های پوسته‌ای، پیش‌نشانگرهای زمین مغناطیسی و ژئوالکتریکی، تغییر در میدان گرانشی، پیش‌لرزه‌ها، انتشار گاز رادون، سرعت امواج P و S، تغییر در دبی و ارتفاع آب‌های زیرزمینی، رفتار حیوانات، و...

پیش‌نشانگرها به سه دسته‌ی بلندمدت، میان‌مدت و



کوتاه‌مدت تقسیم می‌شوند. پیش‌نشانگرهای بلندمدت در سال‌های قبل از وقوع زلزله بروز می‌کنند؛ مانند تغییرات ژئودزی و شناسایی گسل‌های فعال. پیش‌نشانگرهای میان‌مدت طی ماه‌ها و هفته‌های قبل از وقوع ظاهر می‌شوند؛ مانند تغییرات فیزیکی و شیمیایی در آب‌های منطقه، و پیش‌نشانگرهای کوتاه‌مدت نیز در روزها و ساعت‌های قبل از وقوع ظاهر می‌شوند، مانند پیشلرزه‌ها که تعداد آن‌ها قبل از وقوع زلزله بسیار زیاد می‌شود.

تاکنون تنها یک مورد زلزله در سال ۱۹۷۵ در منطقه‌ی «هایچنگ»[3] چین با بزرگای $M = ۷/۶$ توسط محققان چینی براساس پیش‌نشانگرهایی مثل: افزایش لرزه‌خیزی (پیش‌لرزه‌ها) و ناآرامی حیوانات پیش‌بینی شده است که توانستند، ۸ ساعت قبل از وقوع، منطقه‌ی وسیعی را تخلیه کنند. محققان آمریکایی تحقیقات خود را بیش‌تر روی پیش‌بینی علمی زلزله متمرکز کرده‌اند تا پیشگویی[4] آن. یعنی پیش‌بینی احتمال وقوع به‌جای تلاش برای پیشگویی زمان، مکان و بزرگی دقیق آن. از طرف دیگر، ژاپنی‌ها و چینی‌ها بیش‌تر روی پیشگویی زلزله کار می‌کنند.

در این مقاله سعی شده است که جدیدترین پیشرفت‌ها در زمینه‌ی پیش‌بینی و پیشگویی زلزله به‌طور خلاصه ارائه شود.

ناهنجاری‌های الکترومغناطیسی

شاید یکی از بهترین روش‌های شناخته شده‌ی جدید، سیستم موسوم به VAN، برگرفته از نام سه دانشمند یونانی به نام‌های **واروت سوس**[5]، **الکسوپولوس**[6] و **نومیکاس**[7] باشد که اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ آن را ارائه کردند. طبق این روش، میدان الکترومغناطیس زمین قبل از زلزله به‌وسیله‌ی سازوکاری که فعلاً مشخص نیست، تغییر می‌کند. درنتیجه، با تشخیص ناهنجاری‌ها و اختلالات در میدان مغناطیسی زمین می‌توان زلزله‌های احتمالی را تشخیص داد. گروه VAN مدعی است که در دوره‌ی زمانی ۱۹۵۵ تا ۱۹۸۷، تعداد ۱۰ زلزله از ۱۴ زلزله‌ی بزرگ یونان را پیش‌بینی کرده است. به تازگی برخی از پژوهشگران ژاپنی و روسی نیز روش‌هایی مبنی بر استفاده‌ی نوفه‌ی پس‌زمینه‌ای افزوده‌ی VLF (فرکانس بسیار پائین) در میدان الکتریکی زمین به عنوان پیش‌نشانگری برای فعالیت زلزله با روش مشابه VAN، ارائه کرده‌اند.

ناهنجاری‌های حرارتی

همراه با زلزله‌ی ۱۸ اکتبر ۱۹۸۹ «داتونگ»[8] در چین، نظریه‌ای ارائه شد که بیانگر افزایش دمای زمین همراه با فعالیت لرزه‌ای است. در ۱۵ اکتبر ۱۹۸۹، دما در امتداد خط گسل در حدود ۵ تا ۶ درجه‌ی سانتی‌گراد نسبت به سایر مناطق افزایش یافت که این دما پس از زلزله به طور غیرمتعارف کاهش یافت. همچنین، ابری امتداد منطقه را پوشاند که دانشمندان چینی علت آن را گرفتن گاز زمین[9] می‌دانند که باعث اثر گلخانه‌ای محلی می‌شود. اگر بتوان به این مسأله اعتماد کرد، ماهواره‌ها به آسانی می‌توانند با اندازه‌گیری دما در هر نقطه از جهان، زلزله را پیش‌بینی کنند.

تغییرات آب زیرزمینی

تغییر در سطح آب‌های زیرزمینی نیز یکی از پیش‌نشانگرهای مهم در زلزله محسوب می‌گردد. سطح آب زیرزمینی در طول ماه‌ها یا سال‌ها قبل از زلزله به تدریج کم می‌شود و در ساعت‌های قبل از زلزله به سرعت افزایش می‌یابد که نمونه‌ی آن را می‌توان در زلزله‌ی ۱۹۷۶ «تانگ‌شان»[10] چین ملاحظه کرد. سطح آب زیرزمینی در سال‌های قبل از زلزله به‌قدری کاهش یافت که برخی از چاه‌ها خشک شدند. سپس ساعتی چند قبل از زلزله، این

چاه‌ها به چاه‌های آرتزین تبدیل شدند.

افزایش میزان گاز رادون

میزان گاز رادون در آب‌های زیرزمینی تقریباً ثابت است، ولی هنگام زلزله میزان آن به شدت افزایش می‌یابد و پس از زلزله دوباره به وضعیت اولیه‌ی خود برمی‌گردد. زمین‌لرزه‌ی ۱۹۹۵ «کوبه»[11] ژاپن را می‌توان در این مورد مثال زد.

مقاومت الکتریکی ویژه

مقاومت الکتریکی ویژه‌ی سنگ‌ها، در زمان کوتاهی قبل از زلزله تغییر می‌کند و این نیز یکی دیگر از پیش‌نشانگرهای زلزله است که موضوع تحقیقاتی امیدوارکننده محسوب می‌شود. اگرچه این پیش‌نشانگر تا حد کمی شناخته شده است، اما نشاندهنده‌ی خوبی برای زمین‌لرزه‌های آتی است.

پدیده‌ی اتساع‌پذیری

قبل از وقوع زلزله، یک سلسله درزه‌های بسیار ریزی در سنگ‌ها توسعه پیدا می‌کنند که از سرعت موج P می‌کاهند و به تبع آن، کاهش نسبی سرعت موج P به موج S (Vp/Vs) را در ماه‌های قبل از وقوع زلزله منجر می‌شوند. این کاهش نسبت سرعت تا قبل از این‌که آب بین درزه‌ها قرار گیرد، ادامه خواهد داشت و به محض پرشدگی درزه‌ها توسط آب، مجدداً سرعت موج P به حالت اول برمی‌گردد.

نسبت تجمع واتنش، دگرشکلی (استرین)

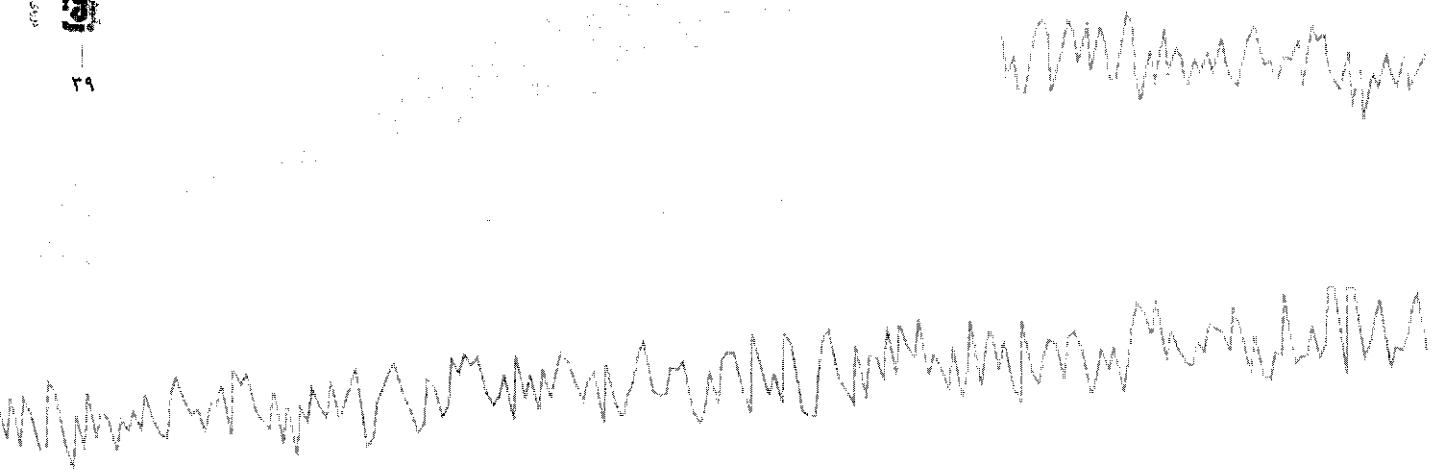
راه دیگر تخمین وقوع زلزله‌های آینده، مطالعه‌ی سرعت تجمع دگرشکلی است. وقتی صفحات حرکت می‌کنند، دگرشکلی در سنگ‌ها به حالت بحرانی می‌رسد. شکل کشیدگی صفحات در کنار هم، باعث حرکت ناگهانی و قرار گرفتن آن‌ها در موقعیت جدید خود می‌شود. دانشمندان با اندازه‌گیری میزان دگرشکلی ذخیره شده در امتداد گسل‌ها می‌توانند، زمان وقوع زمین‌لرزه‌ها را اندازه‌گیری کنند.

پیش‌بینی علمی

مطالعه‌ی مداوم زلزله‌های گذشته (به‌خصوص توسط دانشمندان آمریکایی)، برای پیش‌بینی علمی زلزله‌های آینده صورت می‌گیرد. اگرچه با این روش به‌طور صریح نمی‌توان زلزله را پیش‌بینی کرد، اما ارزش آن را دارد که به علت برخی شباهت‌هایش به پیشگویی، مورد توجه قرار گیرد. این روش نیازمند درک و دانش دقیق درخصوص گسل موردنظر است. در سال‌های اخیر نیز پیشرفت‌هایی درخصوص توانایی پیش‌بینی علمی پس‌لرزه‌ها و پیش‌بینی خسارت‌های ناشی از آن‌ها، حاصل شده است.

همچنین، با مطالعه‌ی پیش‌لرزه‌ها نیز می‌توان تا حدودی به پیش‌بینی زلزله‌ی اصلی رسید. بدین صورت که در هفته‌ها و ماه‌های قبل از وقوع زلزله‌ی اصلی، با افزایش پیش‌لرزه‌ها مواجه هستیم که با نزدیک شدن به زلزله‌ی اصلی، تعداد این پیش‌لرزه‌ها نیز در فاصله‌های زمانی کوتاه افزایش می‌یابد تا این‌که به یک زلزله با مقیاس نزدیک به زلزله‌ی اصلی می‌رسیم و بعد از آن زلزله‌ی اصلی رخ می‌دهد و در ادامه‌ی آن پس‌لرزه‌ها را خواهیم داشت که تعداد آن‌ها به نسبت از پیش‌لرزه‌ها کم‌تر است و در فاصله‌ی زمانی بیش‌تری رخ می‌دهند.

از دیگر روش‌ها می‌توان به پیشرفت فناوری ماهواره (GPS یا سیستم موقعیت جهانی) در این زمینه اشاره کرد، زیرا توانایی بررسی دقیق نیروی جاذبه و تغییرات و حرکات سطح زمین را دارد. پیشرفت گرایش‌های خاص ریاضیات نیز به درک بهتر سیستم‌های طبیعی کمک کرده و همراه با افزایش رو به گسترش توان محاسباتی



و حافظه‌ی رایانه‌ها، مدل‌سازی رایانه‌ای نیز پیشرفت داشته است.

پیش‌بینی وقوع زلزله در ایران

پیش‌بینی وقوع زلزله در ایران که کشوری لرزه‌خیز است و همواره دستخوش زلزله‌های بزرگ شده، بسیار حائز اهمیت است. در گذشته به علت نبود نگاشت‌های مناسب و کافی، عملاً تحقیقاتی روی پیش‌بینی زمین‌لرزه و روش‌های گوناگون آن انجام نگرفته است. با مطالعه براساس معیار لرزه‌شناسی و ریخت‌شناسی روی فلات ایران، آن را به ۲۱ منطقه‌ی لرزه‌زا تقسیم کرده‌اند و با بررسی زمان‌های بین وقوع زلزله‌ها و بزرگای لرزه‌های اصلی، روابط ۱ و ۲ به‌دست آمده‌اند:

$$\log T_t = ۰.۱M_{min} + ۰.۳۶M_p - ۰.۳۳ \log M_0 + ۶.۹۱ \quad (۱)$$

$$M_F = ۰.۶۶M_{min} + ۰.۲۹M_p + ۰.۶۱۱ \log M_0 + ۱۰.۶۹ \quad (۲)$$

در این روابط، Tt زمان بین دو زمین‌لرزه‌ی متوالی بر حسب سال وقوع زلزله‌ها، M_{min} بزرگای کوچک‌ترین زمین‌لرزه‌ی اصلی درنظر گرفته شده، M_p و M_F بزرگاهای زمین‌لرزه‌های اصلی قبلی و بعدی و M_0 میزان آزادسازی گشتاور لرزه‌ای سالانه در هر ناحیه‌ی چشمه است.

با توجه به مطالعات انجام شده و تجربیات موجود در این زمینه، هنوز به طور قطع نمی‌توان روشی علمی برای پیش‌بینی زمین‌لرزه ارائه کرد و لزوماً وجود هریک از پیش‌نشانگرها به تنهایی، نمی‌تواند نشانه‌ای برای وقوع زمین‌لرزه باشد؛ زیرا اعلام نتایج پیش‌بینی‌ها نیازمند ترکیب ماهرانه‌ی درک شرایط فیزیکی و اجتماعی است. امروزه اعتقاد بر این است که پیشگیری از خسارت‌ها و تلفات ناشی از زلزله و یا حداقل کاهش آثار آن، مرهون شناخت خطر، ساخت و ساز مقاوم و آمادگی برای وقوع است که مجموعه تمهیدات لازم برای انجام آن‌ها، «مدیریت بحران» نامیده شده است.

* دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک دانشگاه تربیت مدرس

زیرنویس

1. Forecast
2. Precurser
3. Hai Cheng
4. Prediction
5. Varotsos
6. Alexopoulos
7. Nomicas
8. Datong
9. Earth de-gassing
10. Tangshan
11. Kobe

منابع

۱. سیاقی، علی. سایزموتکتونیک. دانشگاه تربیت مدرس.

2. Scholz, C. H. (1992). The mechanics of earthquakes and faulting. p.337, New York.

3. Keller,E.A.,and Pinter,N(1996). ActiveTectonics: Earthquake, Uplift, and Landscape. p.275.

4. www.NGDIR.com

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی