زندگی ایمن بر پهنه‌های جنبا

پیش‌بینی‌پذیری رویداد زلزله توسط علم، قابل انکار نیست

محمدطالبی*

زلزله یکی از شاخص‌ترین عوامل طبیعی به شمار می‌رود که همواره زندگی انسان‌ها را در معرض تهدید قرار داده است. خطرات زلزله بر اثر زلزله اصلی یا رویدادهای وابسته به آن (مثلا پس‌لرزه‌ها یا سونامی) می‌تواند طبقه‌بندی شود. مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهند که در حدود نیم قرن گذشته، تقریبا ۵۰ درصد از کل تلفات انسانی و ۳۰ درصد از خسارات اقتصادی بر اثر وقوع زلزله بوده است. ازاین‌رو یکی از مهم‌ترین اهداف زلزله‌شناسی، پیش‌بینی کمّوکیف رویداد زلزله است. البته در محافل علمی، از پیش‌بینی احتمالی زلزله که دربرگیرنده عدم قطعیت‌هایی است، با واژه پیش‌یابی زلزله نام برده می‌شود و واژه پیش‌بینی زلزله را به ادعاهای قطعی اطلاق می‌کنند.

تلاش‌های محققان نشان می‌دهند که در بسیاری از موارد، می‌توان میان رخداد یک زلزله بزرگ و الگوهای لرزه‌ای یا ناهنجاری‌های عوامل فیزیکی موجود در زمین با خارج از جو زمین، ارتباط برقرار کرد. حتی مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهند که میان رویداد زمین‌لرزه‌های بزرگ و مراحل تکامل چرخه ماه نیز همبستگی زمانی بسیار خوبی وجود دارد.

یکی از بزرگ‌ترین دستاوردها در زمینه پیش‌بینی زلزله، حدس صحیح رویداد زمین‌لرزه ۷.۳ هایچنگ چین در سال ۱۹۷۵ است که باعث جلوگیری از کشته‌شدن حدود ۲۰۰ هزار نفر شده است. جست‌وجو در متون تاریخی نیز بیان می‌کند که پیش‌بینی‌های موفق زلزله در گذشته از سوی برخی از حکیمان و منجمان ایرانی نیز صورت گرفته؛ بنابراین این تلاش‌ها، امر بدیهی به شمار نمی‌رود.

در هر حال، پیش‌بینی زلزله یک مبحث صرفا علمی نیست و درپرگیرنده تبعات اجتماعی و اقتصادی فراوان است. به‌همین‌دلیل مسئولیت فراوانی را متوجه محققان کرده است. در این راستا، مراکزی علمی نیز برای ارزیابی مدون عملکرد روش‌های پیش‌بینی زلزله بر برخی از نقاط جهان مانند آمریکا، نیوزیلند، ژاپن، ایتالیا و چین فعالیت می‌کنند.

دراین‌میان سرزمین عزیز ایران یکی از مناطق فعال لرزه‌خیز در جهان است که بارها وقوع زلزله‌های نیرومند و مخرب را تجربه کرده و خسارات جانی و مالی فراوانی را متحمل شده است. عمده مطالعات علمی صورت‌گرفته در زمینه پیش‌بینی زمین‌لرزه در ایران مربوط به نیمه اول دهه ۹۰ شمسی و سال‌های قبل از آن است. در این زمینه بارزترین مطالعات، مربوط به به‌کارگیری روش‌های آماری و احتمالی مانند CN,M8 الگوی اطلاعات و لرزه‌خیزی هموار شده است که عمده آنها در ذیل برنامه‌های مرکز ملی پیش‌بینی زلزله ایران انجام شده و در نوبه خود، دستاورد‌های علمی فراوانی نیز به همراه داشته‌اند. در هر حال با اعمال برخی از رویکردهای غیرراهبردی که در چند سال اخیر در کشور در زمینه مطالعات بنیادی وجود داشته، فعالیت این مرکز علمی چندین سال است که کاملا متوقف شده است. البته اعمال این رویکردها، مختص به مرکز پیش‌بینی زلزله نبوده و در برخی دیگر از مراکز علمی نظیر مرکز تحقیقاتی نجوم و اخترفیزیک مراغه نیز باعث افول شدید فعالیت‌های آنها شده است.

اما نکته تأمل‌برانگیز برای مخالفان وجود چنین مراکز علمی آن است که اساسا فلسفه و کارایی علوم تجربی، پاسخ‌گویی به سؤالات و ابهامات جهان مادی است و اینکه تحقیق مستمر در کنار زمان، می‌تواند گره‌گشای بسیاری از مشکلات موجود در زمینه فناوری و نیز داده‌پردازی باشد. بنابراین پیش‌بینی‌پذیری رویداد زلزله توسط علم، انکارکردنی نیست.

در هر صورت، با وقوع هر زلزله در کشور، در اذهان عموم سؤالاتی نظیر موارد زیر پیش می‌آید: آیا رخداد زلزله‌ای بزرگ‌تر در راه است؟ احتمال وقوع یک پس‌لرزه بزرگ چه میزان است؟ روند رویداد پس‌لرزه‌ها از نظر زمانی و مکانی چگونه است؟ محتمل‌ترین مکان‌های در معرض خطرات ثانویه ناشی از رویداد زلزله چه مناطقی هستند؟

با توجه به ویژگی‌های فنی و نیز نقاط ضعف و قوت مطالعات پیش‌بینی زمین‌لرزه، ضرورت و اهداف کاربردی این مطالعات تا حدودی متمایز از آن چیزی است که در ذهن عامه مردم می‌تواند وجود داشته باشد و در زمان فعلی عملا جواب‌گویی قاطع به این سؤالات میسر نیست؛ اما باید توجه داشت که نتایج مطالعات پیش‌بینی زلزله می‌تواند بر روی تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی تأثیر بگذارد که از آن جمله می‌شود راهبرد طرح‌های توسعه‌ای نظیر برنامه‌های مقاوم‌سازی ساختمان‌ها برای کاهش خطرات زلزله، تنظیم آیین‌نامه‌های جدید ساخت‌وساز، تنظیم طرح‌های امدادرسانی، برنامه‌ریزی برای آمادگی‌های اضطراری، آماده‌باش نیروهای امدادی، توقف کار برخی از سامانه‌ها و تاسیسات نظیر سامانه گازرسانی و مترو یا انرژی هسته‌ای، هم‌اکنون در تدوین و بهبود مدل تحلیل خطر زلزله در آمریکا (که یک مدل و بهره‌گیری از مدل «ناتوداده‌ها»، به توسعه روش‌های نوآورانه استفاده از داده‌های نانوزلزله‌ها به منظور پیش‌یابی خطر زلزله در دستور قرار می‌گیرد.

سامانه‌دزدی داده‌هایی که به صورت پراکنده پایش می‌شوند

هم‌شواهدی که در زمین از سوی انسان و ابزارهای لرزه‌نگاری و سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری ژئوفیزیکی قابل برداشت و پیگیری بوده‌اند. در ایران به صورت پراکنده در مؤسسات و سازمان‌های مختلف برداشت می‌شوند. تاکنون این برداشت داده‌ها به صورت شبکه‌ای و سامان‌یافته نبوده است. مرکز ملی پیش‌بینی زلزله در پژوهشگاه علوم محاسباتی مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات پراکنده مختلف در یک سامانه جامع داده‌های ژئوفیزیکی با قابلیت بروزآمدشدن موظف و همچنین توسعه و تهیه نرم‌افزار جامع برای بردازش و تجزیه و تحلیل این داده‌هاست. موضوع البته به امکانات (نیروی انسانی) و تجهیزات (به‌ویژه قابلیت بالا در فناوری اطلاعات) و همچنین ارتباط گسترده و تنگاتنگ با مؤسسات مختلف پژوهشی مرتبط با موضوع در جهت سامان‌دهی برداشت داده‌ها دارد. قطعا انجام چنین فعالیتی خدمت ویژه‌ای در سطح ملی خواهد بود. درحال‌حاضر اگرچه برنامه‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت زلزله (برای برآورد قطعی زمان، مکان و بزرگای زلزله) با وجود اینکه به طور سنتی در کشوری مانند چین (اولین کشور سازنده دستگاه لرزه‌نگاری در بیش از ۳۰۰۰ سال پیش) (با انگیزه‌های ویژه ملی که ـ در چینی‌ها برای یافتن راه‌حل برای هر موضوع و مشکلی وجود دارد) دنبال می‌شود، اما مسئله پیش‌بینی کوتاه‌مدت در بسیاری از کشورهای پیشرفته نظیر ژاپن و ایالات متحده به چالش جدی کشیده شده است. در ایالات متحده برنامه پیش‌یابی خطر زلزله (forecast) به‌عنوان برنامه غالب در سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دنبال می‌شود. در این مورد بیشترین فعالیت از سوی دانشمندانی نظیر «یان کاکان» انجام شده است. این در حالی است که پژوهشگرانی نظیر «کلیس بروک» در ایالت کالیفرنیا به پژوهش و تلاش برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت ادامه داده‌اند. فهم مبانی فیزیکی ارتباط بین زلزله‌ها و برآورد احتمالی رخداد آنها اساسی است. از سوی دیگر یک برنامه ویژه درازمدت روی گسل سن آندریاس (تحت عنوان رصد عمقی گسل سن آندریاس که به شکل خلاصه SAFOD گفته می‌شود) با مدیریت ژاپن‌شناس برجسته «ماری زوبک» در حال پیگیری است که در حدود چهار دهه گذشته ادامه داشته و شامل برنامه‌های مطمئن حفاری، برداشت‌های ژئوفیزیکی و... در پهنه گسل سن آندریاس است. در کشور روسیه با برداشت‌های ژئوفیزیکی (در شوروی سابق در حد ۴۰۰ هزار کیلومتر در کل فلات پهناور روسیه)، مطالعات بنیادی نظری هم در سازمان‌های مختلف پیش‌بینی زلزله دنبال می‌شود. در مؤسسه بین‌المللی پیش‌بینی زلزله و ژئوفیزیکی ریاضی (MITPAN) تحت نظر آکادمی علوم روسیه عمده تلاش‌ها روی برآورد نظری و مدل‌سازی رخداد و زلزله و توسعه الگوریتم‌های موفق برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت زلزله انجام می‌شود. در کشورهای در حال توسعه نیز تلاش‌های گسترده‌ای در کشور هند در این زمینه انجام شده و در مؤسسه فناوری هندوستان در «روورکی» (Roorkee)، دیارتمان پیشرفته‌ای به این منظور برای مطالعات نظری و رخداد زلزله‌ها وجود دارد. همچنین در وزارت علوم و فناوری هند، اداره ویژه‌ای برای سازماندهی برنامه‌های پژوهشی در این زمینه تشکیل شده است. از این نقطه ستادی برای سازماندهی برنامه‌های فعالیت‌های پژوهشی در کشور هند که در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی آن کشور درباره زلزله دنبال می‌شود، بر عهده دارد.

هدف از پیش‌بینی زلزله، به‌عنوان یکی از پیشران‌های مهم علم زلزله‌شناسی، پیش‌آگاهی و اطلاع‌رسانی از مکان، بزرگا و زمان (به صورت دقیق یا به احتمال) رخداد زلزله در آینده و همچنین پیش‌یابی احتمال وقوع زلزله در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت است. پیش‌بینی زلزله بر اساس اطلاعات کسب‌شده در مناطق مختلف لرزه‌خیز در جهان، برآورد قطعی رخداد بر پایه پیش نشانگرها (به‌ویژه در کشورهای شرقی نظیر چین و روسیه) یا برآورد احتمالی (اعمدتا در کشورهای با فرهنگ آکادمیک غربی) بوده است. دربی زلزله ۱۳۸۲ بم که رخداد پیش‌لرزه‌ها موجب پیش‌آگاهی مردم بود، ولی مسئولان محلی و همچنین مقامات کشور امکان برآورد رخداد زلزله‌ای مهم و اطلاع‌رسانی را نداشتند (و حتی نمی‌توانستند تایید کنند لرزش‌های حاصله درواقع زلزله‌ای هستند که در همان نهایت کسله در حال رخداد است) و سپس با وقوع زلزله بزرگ بم که با حدود ۳۰ هزار کشته همراه بود. فشار زیادی از سوی مردم به به مسئولان وارد آمد و همین موضوع انگیزه مهمی برای پرداختن دولت و وزارت علوم به پیش‌بینی زلزله و تشویق مؤسسات پژوهشی و دانشگاه‌ها به راه‌اندازی واحدهای مربوط به پیش‌بینی زلزله و سرمایه‌گذاری در این موضوع شد. حاصل این وضع آن بود که در سال ۱۳۸۳ مرکز مطالعه پیش‌نشانگرهای لرزه‌ای وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مرکز ملی پیش‌بینی زلزله در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و کره‌ فرایینی پیش‌نشانگرهای الکترومغناطیسی در سازمان زمین‌شناسی کشور راه‌اندازی شد. این گروه‌ها به صورت مراکز منفک از هم عمل کرده‌اند و سامانه چندلایه اطلاعات علمی به‌منظور تلاش برای پیش‌بینی زلزله راه‌اندازی نشده است.

مهدی زارع

• عکس‌ها: علی‌اکبر قزوینی، شرق

مرکز ملی پیش‌بینی زلزله در سال ۱۳۸۳ در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله شکل گرفت که در سه سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۶ سند ملی پیش‌بینی زلزله به اساس کردآوری اطلاعات و ساختار موجود از مؤسسات پژوهشی مختلف تهیه شد و سیمایی از وضعیت موجود در جهتِ و چشم‌اندازی از امکان فعالیت‌های گوناگون در ایران به دست داد. از سال ۱۳۸۶ برنامه راهبردی مرکز ملی پیش‌بینی زلزله تهیه شد و راهبرد اصلی مرکز، تبدیل‌کردن روش احتمالی و پیش‌یابی زمین‌لرزه قرار گرفت. بعضی از رساله‌های دکترای زلزله‌شناسی (در پژوهشگاه برای پیش‌بینی بر اساس تشخیص رخداد لرزه‌خیزی (Pattern Recognition) و پیش‌یابی بر اساس مدل آماری لرزه‌خیزی به نتایج جالبی انجامید. این فعالیت‌ها کمابیش در صورت منقطع تا نیمه دهه ۹۰ ادامه یافت. در واقع سامانه فعالیت‌های مرکز ملی پیش‌بینی از نیمه دهه ۹۰ در پژوهشگاه با نگاه مدیریتی وقت پژوهشگاه متوقف شد. از مهم‌ترین کارهای انجام‌شده تاکنون ذیل برنامه پیش‌بینی زلزله، ارائه مدلی از پیش‌بینی زلزله برای ارزیابی احتمالات بلندمدت زلزله‌های آتی با بزرگی متوسط برای منطقه‌ای ازجمله ایران (طول جغرافیایی ۵۲-۶۰ درجه و طول جغرافیایی ۴۴-۶۲ درجه) است. این مدل با استفاده از فرایند پواسون مکانی-زمانی، نرخ همراه با بزرگا، فعلا و زمان را برای لرزه‌خیزی تعیین می‌کند. توزیع فضای عمود لرزه‌خیزی ویژه هسته یک تعطیلی با استفاده از مکان‌های زمین‌لرزه‌های گذشته M≥ ۴.۵ در بازه زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۴ اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، در سطح احتمال ۹۵ درصد، مدل انطباق نشان داد. همچنین مدلی برای پیش‌بینی زلزله در ایران برای ارزیابی احتمالات بلندمدت زلزله‌های آینده با بزرگای متوسط و بزرگ ($M \geq 5.5$) نیز ارائه شد. این مدل با استفاده از فرایند پواسون مکانی-زمانی، نرخ همراه با بزرگی، فعلا و زمان را برای لرزه‌خیزی آینده تخمین می‌زند. از کاتالوگ زلزله‌های ایران در دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲ استفاده شد. به این منظور از کاتالوگ بسته مغربی و همکاران استفاده شد. به این ترتیب رسیدایم که ناهنجاری‌های مغناطیسی زمین‌شناختی شده است. تهیه نقشه فضای سکن مربوط به سال لرزه‌ای برخطر زلزله‌ای در نزدیکی محل تقاطع گسل شمال تهران و مشا، احداث شده است. با توجه به تمرکز جمعیت چون کشور در این سکونتگاه‌ها جمعیت زیادی در معرض ریسک قرار گرفته‌اند؛ بنابراین با توجه به تصمیم نیز مدیریتی جدید دولت مبنی بر احداث مسکن ملی و طرح‌های انبوه‌سازی جدید، نیاز به پیش‌بینی میان‌مدت و بلندمدت پیش‌لیبش احساس می‌شود. همچنین نقشه‌های حاصل از این‌گونه تحقیقات می‌تواند تیم مدیریت بحران را در یک رخداد محتمل به یک راهنمای عملیاتی اقدام مجهز کند. یکی از انواع پیش‌بینی‌ها تعیین زمان و مکان رخداد پس‌لرزه‌ها است. در رخدادهای بزرگ لرزه‌ای، یک پس‌لرزه می‌تواند تقریبا با یک واحد بزرگی کمتر در محدوده اطراف خوشه‌های لرزه‌ای رخ دهد. با توجه به ضعف‌شدن سازه‌ها و نیز زلزله اصلی این مسئله می‌تواند مراکز اسکان اضطراری و محل‌های جمع‌آوری کمک‌ها و زلزله‌ها را تحت تأثیر قرار دهد؛ بنابراین نیاز است با استفاده از تکنیک‌های خوشه‌بندی و روش‌های ابتکاری و فراابتکاری به شناسایی الگوی رخداد پس‌لرزه‌ها به صورت توزیع مکانی و بزرگا پرداخته شود. پیش‌بینی‌های میان‌مدت علاوه به کمک به مدیران تصمیم‌ساز می‌تواند در حوزه صنعت بیمه نیز کمک شایانی کند. امید است با توجه به مسیری که تحقیقات علمی در دنیا و در داخل کشور طی کرده، آینده روشنی را برای این‌گونه تحقیقات شاهد باشیم.

*** مدیرعامل مرکز مهندسین مشاور بنیان پایدار (دانش‌بنیان)**

مطالعه نشان داد که الگوریتم علاوه بر مقیاس جهانی قابلیت بالایی در پیش‌بینی میان‌مدت زلزله‌ها در مقیاس محلی دارد. به هر حال به این تلاش‌ها، باید مطالعات انفرادی پژوهشگران ایرانی را در دانشگاه‌های مختلف افزود. تلاش برای ساماندهی شبکه‌های این تلاش‌ها برای افزایش ثمربخشی برایند مطالعات در این پیش‌بینی به ایجاد فضا و مکان باید به تلاش در راستای دادن فرصت به همه پژوهشگران متخصص در این امر و همچنین برقراری یک ارتباط سامان‌یافته بین آنها و اعضای هیئت علمی پژوهشگاه منجر شود.

اهمیت پیش‌بینی زلزله

مشاهده پیش‌نشانگرهای مختلف و گزارش‌شدن برخی از آنها از سوی مردم (تغییر رنگ آب‌های رودخانه‌ها، تغییر رفتار پرندگان و سایر حیوانات، تغییرات آب‌وهوا‌شناختی و...) و سپس رخداد زلزله بزرگ نشانگر آن است که به هر روی می‌توان در این راه تلاش کرد و انتظار دستیابی به نتایج درخورتوجه حتی در کوتاه‌مدت هم داشت. متاسفانه براساس جو رسانه‌های پیش‌گفته و همچنین بر مبنای تصور عامه مردم از پیش‌بینی زلزله، هموار نگاه عامه به مسئله (انتظار معمول از این موضوع) ایران، مکان و بزرگای زلزله) به صورت قطعی است. به همین دلیل، نگاه به توان و دستی‌یافته قبل از واقعه با پیش‌آگاهی نسبت به موضوع نسبت به تخلیه مکان منتظر اقدام کرد. البته این ایدال‌ترین وضع ممکن است و کمترین احتمال برای دستیابی به چنین وضعی حداقل در کوتاه‌مدت وجود دارد. از سوی دیگر می‌توان با استفاده از نتایج پیش‌یابی‌های کاربردی در مرکز پیش‌بینی زلزله در این باب، به پیشرفت‌ها و نتایج کاربردی و قابل استفاده در کوتاه‌مدت و میان‌مدت دست یافت. رهیافت غالب در ایالات متحده و اتفاقه در سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دنبال می‌شود. پیش‌یابی زمین‌لرزه (Earthquake forecast) است. در این رهیافت برای ساختن چشمه‌های لرزه‌زا و برداشت لرزه‌زای از زلزله‌های کوچک (با شبکه‌های بسته محلی در مناطق مختلف) به برآورد احتمالی خطر (شتاب یا شدت) رخداد زلزله در یک بازه زمانی کوتاه می‌پردازند. این نتایج با بروز نقشه‌هایی ارائه می‌شود که قابلیت نمایش مناطق مختلف (کم تا زیاد) خطر احتمالی (به درصد) در بازه زمانی منظور را با رنگ‌های مختلف دارد. از این لحاظ با ارائه نقشه‌های پیش‌یابی و پروآردمند آنها در روی اینترنت، امکان استفاده سریع و راحت از آنها توسط مصدیان بحران و علاقه‌مندان به موضوع وجود دارد؛ بنابراین مقدارهای مختلف خطر محتمل قابل پیش‌بینی‌های پهنه‌بندی خطر که در پیوست آیین‌نامه ۲۸۰۰ نیز آمده است، به صورت رقومی و بر روی اینترنت ارائه می‌شود. برای پهنه‌بندی و تهیه چنین نقشه‌هایی نیاز به شبکه‌های بسته و با تعداد زیادی دستگاه‌های لرزه‌نگاری است چراکه به کار انداختن چنین سامانه‌ای نیازمند یک بانک داده‌های قوی و انبوه از لرزه‌های رخداده در هر پهنه است. چنین موضوعی از میانه سال ۱۴۰۰ با پژوهش‌هایی که یکی از پژوهشگران پسادکتری پژوهشگاه زیر نظر نگارنده مشغول انجام آن هستند، برای منطقه تهران شکل می‌شود. این موضوع با توسعه شبکه نسبتا پرتعداد ایستگاه‌های لرزه‌نگاری در پیرامون شهر تهران و همچنین امید به دریافت مطلوب داده‌ها با حضور مثبت در کنسرسیوم از مؤسسات فراهم‌کننده داده‌های لرزه‌شناختی، برای سال‌های آینده قابل تقویت است. تهیه چنین نقشه‌هایی با اولویت منطقه تهران و پیرامون و اولویت فوری خواهد بود. همچنین شبه‌سازی کاتالوگ‌های لرزه‌ای مناطق با نبود لرزه‌ای و آرامش موقتی

آیا پیش‌بینی زلزله علمی است؟

پیش‌بینی زلزله اگرچه مشکل است، ولی غیرممکن نیست (این عبارت مربوط به «Knopoff» دانشمند معروف زلزله‌شناسی روسیه است). برای موفقیت در یک پیش‌بینی زلزله، احتمال برآورد خطا مکان و زمان کوتاه زلزله حتی برای زلزله‌های کوچک باید فراهم شود. زمان کوتاه برای یک کشور در حال توسعه در این بحث در حد روز مطرح است، چراکه حتی زلزله‌های متوسط و کوچک می‌تواند موجب خرابی و احتمال بحران شود (آسیب‌پذیری این‌گونه کشورها بالاتر است) ولی برای کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته این بازه زمانی می‌تواند به سال و چندین سال نیز برسد (چراکه زیرساخت‌های مقاومی در این کشورها ایجاد شده است). از سوی دیگر پیش‌بینی‌های موفق تلقی می‌شود که زلزله‌های شدید با بزرگای ۷ یا بیشتر (و احتمالا مخرب) را بتواند پیش‌بینی کند، چراکه در محدوده‌هایی که زلزله‌ها فراوان رخ دهند (نظیر منطقه زاگرس ایران)، پیش‌بینی رخداد زلزله‌های بزرگ تقریبا در هر محل، کار مشکلی نخواهد بود. پیش‌بینی زلزله حتی به میزان محدود می‌تواند به نجات جان انسان‌ها کمک کند.

زلزله‌های اخیر در کیش

با وقوع زمین‌لرزه‌های پی‌درپی از روز ۲۵ خرداد ۱۴۰۱ در نزدیکی جزیره کیش در خلیج فارس، بارها سؤال می‌شود که آیا می‌توان رخداد بعدی بزرگ یا شدید را پیش‌بینی کرد؟ در پاسخ به این سؤال باید گفت که علت زمین‌لرزه‌ها انباشته‌شدن تنشی است که در لیتوسفر زمین ایجاد می‌شود: در منطقه‌ای که دیدن آن عملا برای ما غیرممکن است و در طول زمان مقیاس‌هایی که نظارت بر آن برای ما دشوار است. این امر تشخیص دقیق مکان یا زمان وقوع زلزله را دشوار می‌کند. با این حال، تجزیه و تحلیل برای پیش‌بینی زلزله استفاده می‌شود. فهم مبانی فیزیکی ارتباط بین زلزله‌ها و برآورد احتمالی رخداد آنها اساسی است. از سوی دیگر یک برنامه ویژه درازمدت روی گسل سن آندریاس (تحت عنوان رصد عمقی گسل سن آندریاس که به شکل خلاصه SAFOD گفته می‌شود) با مدیریت ژاپن‌شناس برجسته «ماری زوبک» در حال پیگیری است که در حدود چهار دهه گذشته ادامه داشته و شامل برنامه‌های مطمئن حفاری، برداشت‌های ژئوفیزیکی و... در پهنه گسل سن آندریاس است. در کشور روسیه با برداشت‌های ژئوفیزیکی (در شوروی سابق در حد ۴۰۰ هزار کیلومتر در کل فلات پهناور روسیه)، مطالعات بنیادی نظری هم در سازمان‌های مختلف پیش‌بینی زلزله دنبال می‌شود. در مؤسسه بین‌المللی پیش‌بینی زلزله و ژئوفیزیکی ریاضی (MITPAN) تحت نظر آکادمی علوم روسیه عمده تلاش‌ها روی برآورد نظری و مدل‌سازی رخداد و زلزله و توسعه الگوریتم‌های موفق برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت زلزله انجام می‌شود. در کشورهای در حال توسعه نیز تلاش‌های گسترده‌ای در کشور هند در این زمینه انجام شده و در مؤسسه فناوری هندوستان در «روورکی» (Roorkee)، دیارتمان پیشرفته‌ای به این منظور برای مطالعات نظری و رخداد زلزله‌ها وجود دارد. همچنین در وزارت علوم و فناوری هند، اداره ویژه‌ای برای سازماندهی برنامه‌های پژوهشی در این زمینه تشکیل شده است. از این نقطه ستادی برای سازماندهی برنامه‌های فعالیت‌های پژوهشی در کشور هند که در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی آن کشور درباره زلزله دنبال می‌شود.

سامانه‌دزدی داده‌هایی که به صورت پراکنده پایش می‌شوند

هم‌شواهدی که در زمین از سوی انسان و ابزارهای لرزه‌نگاری و سایر دستگاه‌های اندازه‌گیری ژئوفیزیکی قابل برداشت و پیگیری بوده‌اند. در ایران به صورت پراکنده در مؤسسات و سازمان‌های مختلف برداشت می‌شوند. تاکنون این برداشت داده‌ها به صورت شبکه‌ای و سامان‌یافته نبوده است. مرکز ملی پیش‌بینی زلزله در پژوهشگاه علوم محاسباتی مبتنی بر سامانه‌های اطلاعات پراکنده مختلف در یک سامانه جامع داده‌های ژئوفیزیکی با قابلیت بروزآمدشدن موظف و همچنین توسعه و تهیه نرم‌افزار جامع برای بردازش و تجزیه و تحلیل این داده‌هاست. موضوع البته به امکانات (نیروی انسانی) و تجهیزات (به‌ویژه قابلیت بالا در فناوری اطلاعات) و همچنین ارتباط گسترده و تنگاتنگ با مؤسسات مختلف پژوهشی مرتبط با موضوع در جهت سامان‌دهی برداشت داده‌ها دارد. قطعا انجام چنین فعالیتی خدمت ویژه‌ای در سطح ملی خواهد بود. درحال‌حاضر اگرچه برنامه‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت زلزله (برای برآورد قطعی زمان، مکان و بزرگای زلزله) با وجود اینکه به طور سنتی در کشوری مانند چین (اولین کشور سازنده دستگاه لرزه‌نگاری در بیش از ۳۰۰۰ سال پیش) (با انگیزه‌های ویژه ملی که ـ در چینی‌ها برای یافتن راه‌حل برای هر موضوع و مشکلی وجود دارد) دنبال می‌شود، اما مسئله پیش‌بینی کوتاه‌مدت در بسیاری از کشورهای پیشرفته نظیر ژاپن و ایالات متحده به چالش جدی کشیده شده است. در ایالات متحده برنامه پیش‌یابی خطر زلزله (forecast) به‌عنوان برنامه غالب در سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده دنبال می‌شود. در این مورد بیشترین فعالیت از سوی دانشمندانی نظیر «یان کاکان» انجام شده است. این در حالی است که پژوهشگرانی نظیر «کلیس بروک» در ایالت کالیفرنیا به پژوهش و تلاش برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت ادامه داده‌اند. فهم مبانی فیزیکی ارتباط بین زلزله‌ها و برآورد احتمالی رخداد آنها اساسی است. از سوی دیگر یک برنامه ویژه درازمدت روی گسل سن آندریاس (تحت عنوان رصد عمقی گسل سن آندریاس که به شکل خلاصه SAFOD گفته می‌شود) با مدیریت ژاپن‌شناس برجسته «ماری زوبک» در حال پیگیری است که در حدود چهار دهه گذشته ادامه داشته و شامل برنامه‌های مطمئن حفاری، برداشت‌های ژئوفیزیکی و... در پهنه گسل سن آندریاس است. در کشور روسیه با برداشت‌های ژئوفیزیکی (در شوروی سابق در حد ۴۰۰ هزار کیلومتر در کل فلات پهناور روسیه)، مطالعات بنیادی نظری هم در سازمان‌های مختلف پیش‌بینی زلزله دنبال می‌شود. در مؤسسه بین‌المللی پیش‌بینی زلزله و ژئوفیزیکی ریاضی (MITPAN) تحت نظر آکادمی علوم روسیه عمده تلاش‌ها روی برآورد نظری و مدل‌سازی رخداد و زلزله و توسعه الگوریتم‌های موفق برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت زلزله انجام می‌شود. در کشورهای در حال توسعه نیز تلاش‌های گسترده‌ای در کشور هند در این زمینه انجام شده و در مؤسسه فناوری هندوستان در «روورکی» (Roorkee)، دیارتمان پیشرفته‌ای به این منظور برای مطالعات نظری و رخداد زلزله‌ها وجود دارد. همچنین در وزارت علوم و فناوری هند، اداره ویژه‌ای برای سازماندهی برنامه‌های پژوهشی در این زمینه تشکیل شده است. از این نقطه ستادی برای سازماندهی برنامه‌های فعالیت‌های پژوهشی در کشور هند که در دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی آن کشور درباره زلزله دنبال می‌شود، بر عهده دارد.

بیان کرد که هرچند پیش‌بینی زلزله‌های کوچک جزء مباحث عملی در جهان بوده و دستاوردهای پژوهشی را به همراه دارد؛ اما اعلام عمومی آن، حتی در صورت صحیح‌بودن، مفید نیست و تأثیری در کاهش سطح خطر یا ریسک زلزله نخواهد داشت. این مسئله، هم می‌تواند باعث ایجاد اختلال در نظم عمومی شده و هم در باری‌ای از موارد منجر به نوعی فریب‌کاری مالی شود؛ زیرا گاهی برخی از افراد یا استفاده از احساسات مردم، قصد دریافت کمک‌های مالی را برای ادامه روند پیش‌بینی‌های خود داشته‌اند. به عبارت دیگر، نبود سازوکاری منسجم و علمی در کشور برای بررسی موشکافانه و اعتبارسنجی به نتایج مدل‌های پیش‌یابی زلزله و نیز ادعاهای صورت‌گرفته در زمینه پیش‌بینی زلزله، خطر ورود «شبه‌علم» را در این حوزه بسیار زیاد کرده است.

در هر حال، بر واضح است که نفی مطلق مدعیان پیش‌بینی زلزله هم یک نوع خطاست؛ اما راه‌حل صحیح‌تر می‌تواند ایجاد زمینه لازم برای همه افراد صاحب‌نظر و مدعی باشد تا مستندات خود را در این زمینه ارائه دهند و نیز امکان در معرض قراردادن، مقایسه و ارزیابی نتایج خود را در یک قالب کاملا علمی و به دور از هیاهو داشته باشند؛ بنابراین ارسکریبی مطالعات علمی پیش‌بینی زلزله در ایران ضرورتی است که از یک سو دارای دستاوردهای علمی فراوان است و از سوی دیگر، می‌تواند این امکان و زمینه را فراهم آورد.

*** پژوهشگر یسادکتری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله**

پیش‌بینی زلزله اگرچه مشکل است، ولی غیرممکن نیست. برای موفقیت در یک پیش‌بینی زلزله، احتمال برآورد رخداد مکان و زمان کوتاه زلزله حتی برای زلزله‌های کوچک باید فراهم شود. زمان کوتاه برای یک کشور در حال توسعه در این بحث در حد روز مطرح است، چراکه حتی زلزله‌های متوسط و کوچک می‌تواند موجب خرابی و احتمال بحران شود (آسیب‌پذیری این‌گونه کشورها بالاتر است) ولی برای کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته این بازه زمانی می‌تواند به سال و چندین سال نیز برسد (چراکه زیرساخت‌های مقاومی در این کشورها ایجاد شده است). از سوی دیگر پیش‌بینی‌های موفق تلقی می‌شود که زلزله‌های شدید با بزرگای ۷ یا بیشتر (و احتمالا مخرب) را بتواند پیش‌بینی کند، چراکه در محدوده‌هایی که زلزله‌ها فراوان رخ دهند (نظیر منطقه زاگرس ایران)، پیش‌بینی رخداد زلزله‌های بزرگ تقریبا در هر محل، کار مشکلی نخواهد بود. پیش‌بینی زلزله حتی به میزان محدود می‌تواند به نجات جان انسان‌ها کمک کند.

روش‌های کلاسیک پیش‌بینی زلزله‌های بزرگ

بهترین روشی که در حال حاضر برای پیش‌بینی زلزله در دسترس دانشمندان و برنامه‌ریزان است، ثبت رویدادهای لرزه‌ای است که در گذشته در یک منطقه رخ داده است. با نگاهی به فراوانی رویدادهای با بزرگی خاص در طول زمان، دانشمندان می‌توانند احتمال آماری رخدادهای مشابه را در یک بازه زمانی مشخص در آینده محاسبه کنند. در کنار این محاسبات آماری، کارهای زیادی برای بررسی مشخصات زمین‌شناختی مناطق زلزله‌خیز به‌وسیله انجام شده است تا بفهمیم که چه تعداد زلزله، چه زمانی رخ داده‌اند و چه اندازه بوده‌اند؛ اما اگر می‌دانیم که زلزله‌ها ناشی از آزادشدن تنشی هستند که هنگام حرکت ورق‌های زمین‌ساختی در برابر یکدیگر ایجاد می‌شود، پس چرا نمی‌توانیم حرکات ورق‌ها را زیر نظر داشته باشیم و بفهمیم که چه مقدار تنش ایجاد می‌شود و چه زمانی قرار است ایجاد شود. زمان و محل رسیدن به آن نقطه انتشار بحرانی کی و کجاست؟ سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی (GNSS)، از جمله ماهواره‌های GPS ایالات متحده، سیستم GLONAS روسیه، سیستم چینی Beidou، QZSS ژاپن و سیستم گالیله اتحادیه اروپا توسعه داده شده‌اند. این داده‌های رایانه‌ای دانشمندان را قادر می‌سازد مکان‌های بسیار دقیقی را برای نصب حسگرها و چگونگی تغییر این مکان‌ها در طول زمان (از حرکت ورق‌های زمین‌ساختی) تعیین کنند. جریان مواد داده‌ها از حسگرها به این معنی است که دانشمندان می‌توانند حرکات ورق‌ها که تا سال ۱۹۹۳ زمین‌لرزه‌ای به اندازه ۷ یا بیشتر را به مدل