بررسی نظری امکان پیش‌بینی زلزله در ایران

مهدی زارع و محمد آریامنش
مرکز ملی پیش‌بینی زلزله، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
Email: mzare@iiees.ac.ir

چکیده: *در مقاله حاضر با نگاه به تاریخچه پیش‌بینی زلزله در ایران، ضمن برگرفتن آخرین دستاوردهای علمی در مورد پیش‌بینی زلزله و مروری بر پیش‌بینی زلزله در ایران، تلاش می‌شود تا با دیدی نظری نسبت به امکان پیش‌بینی زلزله بحث شود. مطالعه پیش‌بینی زلزله در ایران مشخص می‌کند که بیشتر تلاش‌های تاریخی در این راستا از سوی منجمان و پیشگویان انجام شده است. به این منظور ابتدا از تاریخچه پیش‌بینی زلزله با اشاره به موارد موفق ثبت شده در تاریخ ایران آغاز می‌کنیم. سپس بر اساس تجربه کسب شده در پیش‌بینی زلزله با بزرگای بیش از ۷ در سایر نقاط جهان برای نمایش عملی بودن این فرض در ایران، زلزله‌های اصلی دهه ۷۰ میلادی به بعد در ایران مورد تحلیل و بررسی قرار داده شده است. در نهایت مشخص می‌شود که اندازه رخداد بعدی با توان لرزه‌زائی و در نتیجه طول گسل فعال و شعاع از کانون رخداد زلزله اصلی متناسب بوده است. به این ترتیب به لحاظ نظری نشان داده شده است که پیش‌بینی زلزله در ایران امکان‌پذیر است.*

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی زلزله، گسل فعال، توان لرزه‌زائی، بررسی نظری، ایران

Theoretical Review of the Possibility of Earthquake Prediction in Iran

Abstract: *In this article based on a review on the earthquake prediction history in Iran, it is tried to review the latest achievements in this field in Iran and the world, and to study the theoretical possibility of earthquake prediction. Firstly, the paper starts with a history of earthquake prediction and the earthquake precursors in Iranian earthquakes and focuses on the earthquakes with magnitude greater than 7.0 in the world and finally examines such strong events in Iran since 1970's. It has been shown that the size of future earthquake is related with the fault capability and the earthquake fault length as well as the radius from the epicenter of the mainshock. Our evidences indicate very well that the earthquake prediction is possible in Iran.*

۱- مقدمه

در کشور ما، احتمال انواع فرآیندهای مخرب طبیعی همچون زمین‌لرزه، سیل، سامانه‌های آتشفشانی، تسونامی، گسیختگی‌های دامنه‌ای، نشست زمین، انتشار گاز رادون و مانند آنها وجود دارد. این خطرات همه ساله خسارات جانی و مالی بسیاری را به کشور تحمیل می‌کند و هر آن ممکن است خبری از نقاط مختلف کشور در مورد احتمال رخداد یکی از این بلایا یا موارد مشکوک برسد. شناسایی محل وقوع، بزرگی، عوامل محرک و دوره بازگشت این پدیده‌ها اطلاعات لازم را در راستای پیشگیری و مقابله با آنها به دست می‌دهد.

امروزه مشخص شده است که شناخت شاخص‌های زمین-شناختی و ژئوفیزیکی و تلاش برای درک حالت‌های بحرانی (*Critical Conditions*) می‌تواند به پیش‌بینی میزان احتمال رخداد زلزله و خطرهای طبیعی بیانجامد.

به منظور شناسایی خطرها و ارائه هشدارهای سریع در راستای زلزله و همچنین ساماندهی گروه‌های پژوهشی مرتبط سازماندهی می‌شود. در این مقاله، با نگاهی چند رشته‌ای موضوع پیش‌بینی حالات بحرانی را مورد بررسی قرار داده و راهکارهای مناسب برای مرتفع کردن یا کاستن از صدمات ناشی از آنها ارائه خواهد شد. همچنین برای انجام مطالعات با گسترش نگاه علمی به مسأله بلایای طبیعی به نیروی متخصص کافی در این زمینه نیازمند است.

۲- طبیعت مسأله

تلاش مهمی در سراسر دنیا به این امید که روزی در آینده پیش‌بینی زلزله امکان‌پذیر شود انجام شده است. در میان این تحقیقات مشاهدات متوالی حرکت خوشه‌ای و مطالعه زمین‌شناختی، مشاهدات لرزه‌ای، مشاهدات الکتریکی و

مغناطیسی زمین‌شناختی و محاسبات شیمیایی زمین و آب‌های زیرزمینی بوده است. جامعه زلزله‌شناسی از نتایج گذشته با استفاده از متدهای مختلف پیش‌بینی (برای مثال انتشار نابهنجار امواج زلزله، انتشار انبساط‌پذیری، الگوهای تشخیص الگوریتم و غیره) که تا سطح مورد انتظار نرسیده‌اند، مورد انتقاد واقع شده است. نیاز برای بررسی دوباره فرآیندهای فیزیکی شناخته شده است و مطالعات زیربنائی بیشتر بر روی ساختارهای خوشه‌ای در مناطق زلزله‌خیز، زلزله‌های تاریخی، گسل‌های فعال، تجارب گسیختگی آزمایشگاهی، فرآیندهای منبع زلزله و غیره دنبال می‌شود.

حتی امروزه این عقیده و دیدگاه مبنی بر اینکه زلزله اساساً غیرقابل پیش‌بینی است وجود دارد. بحث این است که شکست‌های گذشته و نظریه‌های اخیر موانع زیر بنایی برای پیش‌بینی ارائه می‌کنند. بعداً پیشنهاد شد که تأکید روی تحقیق اساسی در علم زلزله، سامانه هشدار سریع زمان واقعی، و پهنه‌بندی خطر احتمالی طولانی مدت زلزله قرار گیرد. درست است که پیش‌بینی مفید در حال حاضر در دست نیست و به نظر نمی‌رسد که در آینده‌ای نزدیک هم باشد، ولی ادعای اینکه پیش‌بینی زلزله به لحاظ نظری غیرممکن است آیا کمی دور از حقیقت نیست؟ نمونه‌های زیادی در گذشته در فرآیند توسعه علم به ما آموخته‌اند که کشفیات غیرمنتظره می‌تواند ممکن یا غیر ممکن‌ها را تغییر دهد. در مورد پیش‌بینی زلزله با القاهای اجتماعی و به طور خاص این سؤال که منابع محدود در دسترس ما را به کدام راه درست هدایت می‌کند، مسأله را کمی پیچیده‌تر کرده است.

با تأکید روی جنبه‌های علمی پیش‌بینی زلزله، یک جهت‌گیری جدید پیشنهاد می‌شود که دلایلی برای خوش‌بینی دارد. زلزله هنگامی اتفاق می‌افتد که یک ناپایداری ژئومکانیکی رخ دهد و شکست (لغزش ناگهانی گسل) در بخشی از پوسته زمین ظاهر شود [۱]. فرآیند گسلش در پوسته زمین به طور کلی پیچیده است (ترکیب انرژی و گسلش) [۲-۴]. در پوسته زمین عوامل مختلف از جمله آب‌های زیرزمینی ممکن است نقش مهمی در گسلش داشته باشند. حال چگونه می‌توان از این پیچیدگی‌ها [۵-۷] تا حد کاربردی به پیش‌بینی دست زد؟

۳- تاریخچه پیش‌بینی در ایران

در تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران به زلزله‌هایی اشاره می‌شود که پیش‌بینی شده‌اند [۸]. در اینجا مختصری از این تاریخچه ذکر می‌گردد:

۳-۱- بررسی تاریخچه پیش‌بینی و پیشگویی زلزله در ایران

پیشگویی زمین‌لرزه یکی از مشغله‌های جدی فال‌بینان، اخترگویان و غیب‌گویان بوده و نمونه‌های بسیاری در تاریخ ایران ثبت شده است که زمین‌لرزه‌های ویرانگری پیش‌بینی شده‌اند. قدیمی‌ترین پیشگویی‌هایی که از آنها اطلاع داریم در نامه‌های آشوری از سلسله سارگنی، احتمالاً از سده هشتم پیش از میلاد، به جا مانده است.

پیشگویی‌های جدیدتر در ایران چندان با پذیرش روبرو نشده است. برای نمونه، زمین‌لرزه ۱۰۴۲ میلادی در تبریز توسط اخترگو ابوطاهر شیرازی پیشگویی شد و او کوشش بی‌حاصلی را برای متقاعد کردن مردم برای ترک شهر انجام داد. زمین‌لرزه در این منطقه چندان فراوان روی داده بود که رویداد دوباره آن می‌توانست محتمل باشد، با این همه واکنش عمده‌ای که در برابر پیشگویی نشان داده شد بی‌اعتنایی و ناهمدلی نسبت به آن بود. زمین‌لرزه روی داد و در حدود ۴۰۰۰۰ تن جان باختند. با این همه، احساس قطران در شعری که بعداً درباره این رویداد سروده، آن است که تفأل و پیش‌آگاهی پوچ و بی‌معنی است.

زمین‌لرزه ۱۵۴۹ میلادی در قهستان نیز توسط قاضی منطقه پیشگویی شد و او کوشش ناموفقی کرد تا مردم را مجاب کند که آن شب بخصوص را در فضای باز بیرون سپری کنند. آنها حاضر نشدند به گفته او گوش دهند و تنها قاضی با خانواده‌اش در بیرون ماندند اما آنها نیز که هوا را هنگام شب بسیار سرد یافتند به خانه‌شان بازگشتند و اندکی بعد در کنار ۳۰۰۰ تن از مردم منطقه کشته شدند. اخترگویان در پیشگویی زمین‌لرزه تابستان ۱۵۹۳ میلادی در لار و متقاعد کردن ساکنان آن برای ترک شهر موفق‌تر بودند، که احتمالاً رویداد پیش‌لرزه‌هایی در این کار به آنان یاری رسانده است.

از بی‌اعتنایی مردم به پیشگویی‌ها، که احتمالاً نتیجه اندیشه تقدیرگرای آنها است، می‌توان مثال آورد که رویداد لرزه در تبریز بقدری فراوان است که مردم چندان به آن نمی‌اندیشند. حتی هنگامی که زمین‌لرزه ویرانگری پیشگویی می‌شد هیچ کس نگرانی زیادی از خود نشان نمی‌داد: "تأثیر مجموعه عادت، امید و بستگی به محل تولد در آنان چنان شگفت و بی‌همتا است که هیچ‌گونه نشانه بیم و هراس در آنها دیده نمی‌شود".

پیشگویی زمین‌لرزه‌ها، که معمولاً توسط اخترگویان، کشیشان ارمنی و درویش‌ها انجام می‌گرفت، در پی یک زمین‌لرزه ویرانگر، در نزدیکی خورشید یا ماه گرفتگی و در دوره‌های آشفتگی سیاسی بازار گرمتری می‌یافت. این پیشگویی‌ها همواره نادرست از آب در می‌آمد و گاهی نیز کسانی که این پیشگویی‌ها را کرده بودند بازداشت می‌شدند.

اغلب از رفتار غیرعادی که جانوران پیش از رویداد زمین‌لرزه

نشان داده‌اند، یاد شده است؛ اما موارد نسبتاً معدودی وجود دارد که چنین رفتارهایی به گونه قابل‌توجهی غیرعادی بوده باشد یا به عنوان پیش‌نشانگر زمین‌لرزه تشخیص داده شده باشد. جالب‌ترین مورد مربوط به زمین‌لرزه ۱۸۷۵ میلادی در جور کرمان است. گفته شده است که پیش از زمین‌لرزه تعداد زیادی از جانوران شکاری از کوهستان به زیر آمدند و وارد روستا شدند. روستائیان با تفنگ و چوب و چماق به تعقیب آنها پرداخته و آنها را بیرون راندند و زنان و کودکان نیز به تماشای این بازی رفتند. در همین هنگام زمین‌لرزه‌ای روی داد و ویرانی بسیار به بار آورد، اما این سرگرمی سبب شد تا کسی کشته نشود.

مورد زمین‌لرزه ۱۸۶۸ میلادی در حصار گلی در دریاچه نمک از این نظر جالب است که قدیمی‌ترین تلاش شناخته شده برای پیوند دادن رفتار بی‌هنجار جانوران پیش از یک زمین‌لرزه با خود پدیده زمین‌لرزه و نیز با اثرات آن بر روی مخابرات تلگرافی است. در روزنامه دولتی ۱۲۸۵/۶/۷ قمری آمده است: "در ۱۰ جمادی‌الاول در همه جا مخابرات بوسیله خطوط تلگراف دستخوش دشواری بسیار و دریافت ضعیف شد که از آن می‌توان این نتیجه را گرفت که هنگامی که زمین‌لرزه‌ای نزدیک به روی دادن باشد روز پیش از آن شدت الکتریسیته در زمین بیشتر می‌شود و در نتیجه مخابرات تلگرافی را دشوار می‌سازد .... در شب مورد بحث، پیش از جنبیدن زمین و نزدیک به رویداد زمین‌لرزه، جانوران و پرندگان ناله و فریاد می‌کردند و بیشتر مردم بوی زننده‌ای مانند بوی گوگرد حس می‌کردند که سبب دست دادن احساس تهوع می‌شد. از آنجا که حس بویایی جانوران حساس‌تر از آن آدمیان است، ممکن است که همین بو دلیل سر و صداهایی که جانوران می‌کردند بوده باشد. سبب آن است که بخارهایی در درون کره زمین محصورند که در نتیجه رویداد یک زمین‌لرزه از ترک‌ها و شکاف‌های زمین به بیرون راه می‌یابند".

در سال ۱۹۱۰ یا پیش از آن یکی از اپراتورهای تلگراف در کرمان ادعا کرد که به کشفی دست یافته است که در آن سیم مسی تلگراف جنبش زمین را می‌گیرد و نزدیک بودن زمین‌لرزه را شش ثانیه پیش از رویداد هشدار می‌دهد. این مبتکر در مقاله‌ای در روزنامه ایران نو، شماره ۱۳۲۷، ش ۵۵، شرح می‌دهد که چگونه نخستین بار متوجه اثرات هشدار دهنده زمین‌لرزه ۱۸۹۷ میلادی بر روی خط تلگراف شد.

پیشگویی زمین‌لرزه به گونه‌ای فزاینده اندیشه دانشمندان جدید را نیز به خود مشغول کرده؛ اما نتایجی که به دست می‌آید چندان تفاوتی با گذشته ندارد. پیشگویی‌هایی که پس از زمین‌لرزه ۱۹۶۲ میلادی بوئین زهرا و رویدادهای جدیدتر انجام شد اثر چندانی بر مردم نداشت؛ مردم یا صرف‌نظر از اینکه سخن پیشگویانه را یک اخترگوی نامدار و یا یک لرزه‌شناس گفته باشد یا نه، به گونه عجیبی از باور کردن اینکه زمین‌لرزه‌ای روی خواهد داد سر باز می‌زدند، و یا اینکه حداکثر بهره‌برداری را از این هشدارها در جهت منافع خصوصی خود می‌کردند. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که آنچه در مورد زمین‌لرزه‌ها در ایران اهمیت دارد مسائل پیشگویی و هشدار دادن نیست، بلکه عمدتاً پیامدهای اجتماعی و اقتصادی پیش‌بینی کردن چنین فاجعه‌هایی است. هشدارهای نابه‌جا و دروغین و تعیین نادرست زمان رویداد، دشواری‌هایی افزون بر آنچه پیشاپیش وجود دارد می‌آفرینند.

یک مورد پیشگویی در مکزیک بیشتر از یک زمین‌لرزه زیان رساند و این مثال نمونه از دانشی است که هنجار معمول اقتصاد را در مناطق در حال توسعه به شدت مختل می‌کند. این امر در یک مقیاس کوچک در برخی پیش‌بینی‌های اخیر که در این بخش از جهان انجام شده و یا توسط اخترگویان در دوره‌های گذشته انجام می‌شد نیز مشاهده و تأیید شده است.

در گزارش هر یک از زمین‌لرزه‌ها، ویژگی‌های مشخص کننده و قابل اطمینان آنها غالباً در شاخ و برگی از داستان‌ها یا جزئیات دیگری که مورد علاقه مردم است پوشانده شده است. برخی داستان‌ها، مانند آنهایی که درباره زمین‌لرزه‌های پیشگویی شده و نتایج گوناگون آن می‌باشد، به نسبت فراوان است (برای نمونه، زمین‌لرزه‌های ۸۵۸، ۱۰۴۲، ۱۵۴۹، ۱۵۹۳ و ۱۷۲۱ میلادی). همچنین اشاره‌هایی به رفتار جانوران شده است (مانند زمین‌لرزه‌های ۱۴۸۵، ۱۶۰۸، ۱۶۹۵ یا ۱۸۷۵ میلادی). یکی از ویژگی‌های بارز این دوره سرودن اشعاری درباره زمین‌لرزه‌ها است، که افزون بر بیان احساسات برانگیخته از فاجعه، غالباً دارای اطلاعات مفید مانند تاریخ دقیق رویداد یا کارهای بازسازی پس از آن می‌باشد. اما این واقعیت که بیشتر گزارش زمین‌لرزه‌ها در دوره مغولان و ترکمانان تنها از یک منبع به دست آمده است و به این معنی است که معمولاً تأیید یا تکمیل جزئیات گزارش شده است امکان‌پذیر نمی‌باشد.

همچنان که زیان‌های مالی ناشی از پیشگویی زمین‌لرزه‌ای که هیچگاه روی نمی‌دهد می‌تواند به اندازه زیانی باشد که آن لرزه در صورت روی دادن به بار می‌آورد، شیوه پرداختن نادرست به پیامدهای یک زمین‌لرزه نیز در منطقه‌ای توسعه نیافته ممکن است در مقایسه با حالتی که طبیعت به حال خود گذارده شود تا راه طبیعی خود را برای بازسازی و سامان‌یابی دوباره محل

پیدا کند، می‌تواند آسیب‌های شدیدتر و دیرپای‌تری به بافت اجتماعی منطقه برساند. مهمترین زلزله‌های پیشگویی شده یا با شواهد پیش نشانگری در ایران عبارتند از:

زمین‌لرزه ۲۲ ژوئن ۸۷۲، سیمره. در ۱۱ شعبان ۲۵۸ زمین‌لرزه‌ای، به دنبال پیش‌لرزه آسیب‌رسانی که روز پیش روی داده بود، منطقه سیمره را ویران کرد. بزرگترین بخش شهر ویران شد. باروی شهر فرو ریخت و حدود ۲۰۰۰۰ نفر کشته شدند. احتمال دارد که شهر سیروان نیز آسیب دیده باشد. لرزه احتمالاً در عراق، واسط و بصره حس شده و نیز سبب زمین‌لغزه‌های بزرگی در دره سیمره بوده است.

زمین‌لرزه ۳ اکتبر ۱۰۴۲، تبریز. زلزله ۱۴ صفر ۴۳۴ قمری تبریز را ابوطاهر شیرازی اخترگو پیشگویی کرده بود اما به آن پیشگویی اعتنایی نشده بود. چهار سال پس از زمین‌لرزه، ناصرخسرو تبریز را کم وسعت اما با رونق و پر جمعیت یافته است. بازسازی شهر به دستور فرمانروا که از ویرانی کاخش جان به در برده بود، انجام شد. اخترگویی که زمین‌لرزه را پیشگویی کرده بود بر جریان کار نظارت می‌کرد.

زمین‌لرزه ۱۲۰۹، نیشابور. در سال ۶۰۵ قمری زمین‌لرزه فاجعه باری، که در سرتاسر بخش بزرگی از خراسان باختری حس شد، منطقه نیشابور را تقریباً به کلی ویران کرد. تعداد بسیار معدودی از ساختمان‌ها در نیشابور توانستند در برابر لرزه ایستادگی کنند و این استثنائات عبارت بودند از مسجد منیعی و میدان اصلی. بقیه شهر فرو ریخت و به رغم این واقعیت که پیش‌لرزه‌ها به مردم هشدار داده بود و بسیاری از آنان به فضای باز گریخته بودند، شمار بسیاری از مردم کشته شدند. آسیب در بیرون شهر نیز به همان اندازه سنگین بود، به گونه‌ای که در چندین روستا حتی یک نفر هم زنده نماند. در مجموع، حدود ۱۰۰۰۰ تن کشته شدند. پس‌لرزه‌ها به مدت دو ماه ادامه داشتند و شهر نیشابور دوباره در همان مکان ساخته شد.

زمین‌لرزه فوریه ۱۳۸۹، نیشابور. در صفر ۷۹۱ زمین‌لرزه فاجعه بار دیگری به دنبال پیش‌لرزه‌های شدیدی که به مدت چهار روز روی می‌داد، به نیشابور آسیب رساند. لرزه اصلی، که بسیار شدید بود و مایه ویرانی تقریباً آنی گردید، شهر را به کلی ویران کرد و همه ساکنان شهر، به جز شمار کمی را کشت. چند ماه پس از زمین‌لرزه، بازماندگان در نزدیکی ویرانه‌های شهر ساختمان‌هایی را که سقف آنها با تیر و چادر پوشانده می‌شد برپا کردند. دگرریختی‌های زمین، احتمالاً زمین‌لغزه‌ها، آسیب‌های اساسی به برخی از روستاها وارد آورد و به کشمکش‌های بعدی بر سر مالکیت زمین در نواحی آسیب دیده انجامید.

زمین‌لرزه ۱۸ فوریه ۱۴۸۳، مکران باختری. در ۲۱ رمضان ۳/۸۸۷ نوامبر ۱۴۸۲، رشته‌ای از پیش‌لرزه‌ها آغاز شد که سه ماه بعد در ۱۰ محرم ۱۸/۸۸۸ فوریه ۱۴۸۳ با زمین‌لرزه ویرانگری در تنگه هرمز به اوج خود رسید. در جرون زمین‌لرزه برخی ساختمان‌های بلند، مناره‌های مسجدها و بادگیرهای خانه‌ها را فرو ریخت و یا به آنها آسیب رساند. در حدود همین زمان شمال خاور عمان نیز در اثر زمین‌لرزه‌ای آسیب دید.

زمین‌لرزه ۱۵ فوریه ۱۵۴۹، خاور قاین. در شب چهارشنبه ۱۷ محرم ۹۵۶ زمین‌لرزه بزرگی در منطقه قاین روی داد. این زمین‌لرزه پنج روستا را، احتمالاً در نقطه زیرکوه، کاملاً ویران کرد و ۳۰۰۰ نفر جان باختند. به نظر نمی‌رسد شهر قاین، که گمان می‌رود از منطقه رومرکزی زمین‌لرزه قدری فاصله داشته است، از این زمین‌لرزه آسیب سختی دیده باشد. این رویداد را یک اخترگوی محلی، که خود نیز در جریان آن کشته شد، پیشگویی کرده بود.

زمین‌لرزه سپتامبر ۱۵۹۳، لار. بزرگترین بخش باروی شهر ویران شد و قلعه‌ای که در سمت خاوری شهر بود، اگر چه به گونه‌ای استوار بر روی سنگ ساخته شده بود، فرو ریخت. به نظر نمی‌رسد این زمین‌لرزه، که پیش‌لرزه‌هایی هم داشت، به ناحیه بزرگی آسیب رسانده باشد.

زمین‌لرزه ۸ ژانویه ۱۷۸۰، تبریز. به دنبال یک پیش‌لرزه شدید، زمین‌لرزه فاجعه باری در شب جمعه ۲۹ ذیحجه ۱۱۹۳ به شنبه ۱ محرم ۱۱۹۴ (۷-۸ ژانویه ۱۷۸۰) در منطقه تبریز، تمام شهر را تقریباً ویران کرد و حدود ۴۰۰ روستا، از جمله مرند، تسوج و ایرانق، را در هم کوبید. در خود تبریز، همه ساختمان‌های اصلی، که در اثر لرزه‌های قبلی سست شده بود، ویران شد و همه خانه‌های شخصی و همچنین دژ و باروی شهر ویران گشت. شعاع ویرانی به تفاوت ۷۲ یا ۱۲۰ کیلومتر از تبریز داده شده است. در بیرون از این فاصله، در خوی، سلماس و ارومیه، ساختمان‌ها آسیب دید اما تلفات جانی به بار نیامد. در این زمین‌لرزه شمار بسیاری از مردم جان باختند که برخی از برآوردها تلفات را تا بیش از ۲۰۰۰۰۰ نفر دانسته‌اند. شمار کشته‌شدگان احتمالاً پیرامون ۵۰۰۰۰ نفر بوده است.

زمین‌لرزه ۲۶ ژوئن ۱۸۰۸، رشم. زمین‌لرزه نسبتاً بزرگی در ناحیه شمال مرکزی دشت کویر منطقه تنک جمعیت رشم را در هم کوبید. این زمین‌لرزه، که در پی پیش‌لرزه شدیدی به وجود آمد، آبادی‌های بسیاری را در امتداد سرحدهای مازندران به سوی قم و سبزوار ویران کرد، اما تلفات بسیار کمی به بار آورد. این رویداد سرآغاز تعداد بسیاری از زمین‌لرزه‌های آسیب‌رسان در البرز شد.

زمین‌لرزه ۱۲ مه ۱۸۴۴، قهـرود- کـاشان. به دنبال یک پیش‌لرزه، زمین‌لرزه ویرانگری در بعد از ظهر ۱۲ مه ۱۸۴۴ در دهستان‌های جوشقان و قهرود روی داد که به ویژه به منطقه بین چقاده، کامو، کوسکان و چوگان آسیب رساند. چقاده به کلی ویران شد و از ۱۰۳ نفر ساکنان آن تنها ۳ نفر زنده ماندند. در قمصر و قهرود همه خانه‌ها ویران شد و یا آسیب دید و حتی دیوارهای باغ‌ها با خاک یکسان شد. کاروانسرای قدیمی قهرود فرو ریخت و شماری از مردم را به هلاکت رساند. به رغم هشدار پیش‌لرزه، شمار کل کشته ها ۱۵۰۰ نفر برآورد شد.

زمین‌لرزه ۵ مه ۱۸۵۳، شیراز. در سپیده دم ۴ مه/ ۲۵ رجب ۱۲۶۹، رشته‌ای از پیش‌لرزه‌ها باعث آسیب‌هایی به شهر شیراز گردید که هر بار بر تعداد آنها افزوده می‌شد. نخستین پیش‌لرزه مایه بیم و هراس شد و دومی، نیم ساعت بعد، محله گودعربان را ویران کرد. یک مسجد، بخشی از بازار، و حدود هفتاد خانه فرو ریخت و باعث کشته شدن بسیاری از مردم شد، و در همان حال همه خانه‌های شهر آسیب دید. در برخی جاها خاک دچار راندگی شد و قنات‌ها ریزش کرد. لرزه‌ها در سراسر آن روز و صبح روز بعد ادامه یافت و در حدود یک ربع ساعت پیش از ظهر، سومین پیش‌لرزه شدید سبب آسیب‌های بیشتری گردید و یکی از مناره‌های مسجد عباس فرو ریخت. آنگاه در ظهر ۵ مه لرزه اصلی شهر را تقریباً به کلی ویران کرد.

زمین‌لرزه ۴ اکتبر ۱۸۵۶، تبریز. این بزرگترین لرزه از یک رشته لرزه‌های کوچکی بود که در منطقه تبریز حس شد ولی آسیبی نرساند. با این همه، این رویداد که لرزه‌سنجی از نوع "کاچاتوره" را در تبریز به کار انداخت، با تفصیل زیاد توسط ن. خانیکوف بررسی شد. نقشه زمین‌لرزه که توسط او تهیه شد نخستین کوششی است که برای رسم خطوط هملرز یک زمین-لرزه در ایران انجام شد و به تعیین نخستین رو مرکز مهلرزه‌ای با استفاده از چنین خطوطی انجامید.

اخترگویی این لرزه را پیشگویی کرده بود و پیش از آنکه فاجعه روی دهد مردم شهر به بیرون نقل‌مکان کرده بودند و این نشان دهنده آن است که پیش‌لرزه‌هایی وجود داشته است. پیش از زمین‌لرزه پرندگان به شیوه‌ای بیقرارانه و به طرزی غیرعادی به اطراف پرواز می‌کردند و او این را به عنوان پیش نشانه مطمئن یک زمین‌لرزه گرفت. او می‌افزاید که پس از این رویداد، انبوه مردم به فرنگی‌ها (معمولاً اروپائیان) حمله‌ور شدند، زیرا بر این عقیده بودند که اقامت آنها در شهر باعث بروز این مصیبت شده است.

زمین‌لرزه ۲۳ دسامبر ۱۸۷۱، شمال قوچان. در شب ۹ شوال ۱۲۸۸ زمین‌لرزه‌ای منطقه شمال قوچان را در هم کوبید. در دره اترک نیمی از شهر قوچان، از جمله بقایای آن، مسجدها، مدرسه‌ها و گنبد امامزاده سلطان ابراهیم ویران شد. شمار کمی از مردم کشته شدند زیرا قبل از آن لرزه‌های خفیفی روی داده و غوغاهایی شنیده می‌شده است.

زمین‌لرزه مه ۱۸۷۵، کوهبنان. زمین‌لرزه شدیدی در منطقه کوهبنان روستا و دژ جور و نیز زیستگاه‌های طغرالجرد را ویران کرد. گفته می‌شود که پیش از زمین‌لرزه جانوران شکاری بسیاری از کوهستان به زیر آمدند و وارد جور شدند. روستائیان به تعقیب آنها پرداخته و آنها را بیرون می‌راندند و همین سرگرمی، در هنگام رویداد زمین‌لرزه، مایه نجات جانشان گردید. لرزه باعث خشکیدن چشمه‌ها در طغرالجرد و رسیدن آسیب به خانه‌های رشک گردید. روستای واسط نیز ویران شد و لرزه در کرمان و توابع آن به شدت حس شد.

زمین‌لرزه ۱۷ نوامبر ۱۸۹۳، جنوب قوچان. به دنبال لرزه نیرومندی در ۲۰ اکتبر، زمین‌لرزه‌ای در شامگاه ۸ جمادی‌الاول ۱۳۱۱ قوچان را در هم کوبید و به ویژه به دره پرجمعیت اترک علیا و منطقه تنک جمعیت سر ولایت آسیب رساند. شهر قوچان، که قبلاً در سال ۱۸۷۱ میلادی ویران و پس از آن دوباره ساخته شده بود، به کلی ویران شد.

زمین‌لرزه ۱۷ ژانویه ۱۸۹۵، قوچان. کمی پیش از ظهر زمین‌لرزه دیگـری قـوچان و شمـاری از روستـاها را در دره اترک علیا به کلی ویران کرد و حدود ۱۰۰۰ نفر را کشت. این زمیـن‌لرزه، کـه به دنبـال آن تا صبـح روز بعد لرزه‌های بی‌وقفه روی می‌داد، امامزاده سلطان ابراهیم را (که پس از زمین‌لرزه ۸۹۳ میلادی تعمیر شده بود) به کلی ویران کرد و یکی از افراد مهم مقیم آن را کشت. گرمابه‌های همگانی، بازار، گمرک‌خانه، اقامتگاه حاکم، و اداره‌های کوچک، تقریباً همه خانه‌ها، حتی آنهایی که پس از ۱۸۹۳ میلادی با چوب و سقف‌های سبک دگرباره ساخته شده بودند، ویران شدند. البته، به علت سبکی مصالح ساختمانی و نیز احتمالاً به دلیل پیش‌لرزه‌ای که به مردم هشدار داد، شمار جان باختگان در قوچان بسیار کمتر از حدی بود که تصور می‌رفت. در مجموع، حدود ۷۷۰ نفر، جان خود را از دست دادند.

زمین‌لرزه ۴ ژانویه ۱۸۹۶، خلـخال- سنـگ‌آباد. در شـب ۲ ژانـویه ۱۸۹۶ پیـش‌لـرزه ویـرانگری در شهـرستان خلخال، سنگ‌آباد و تقریباً همه روستاهای مسیر علیای سنگورچای تا پیرزمان و هل‌آباد را به طور کامل ویران کرد. در سنگ‌آباد ۳۰۰ نفر جان خود را از دست دادند. دامنه آسیب‌ها عمدتاً به سوی

شمال سنگ‌آباد گسترده بود. در اردبیل چند خانه آسیب دید و در ساختمان حکومتی در دژ شهر ترک‌هایی پدید آمد. این پیش‌لرزه تا تبریز، قزوین و لنکران حس شد و در استراسبورگ، خارکوف و نیکولایف ثبت شد.

دو شب پس از آن، لرزه اصلی نه تنها روستاهایی که در اثر پیش‌لرزه آسیب دیده بودند، بلکه منطقه‌ای را نیز که در سوی جنوب جای دارد تا پیوستگاه سنگورچای با آرپاچای را به کلی ویران کرد. کیوی به کلی ویران شد و ۸۰۰ تن جان خود را از دست دادند. بسیاری روستاهای دیگر تا سکرآباد، لمبر، هل‌آباد، و ایلخچی ویران شد و ۱۱۰۰ نفر کشته شدند.

زمین‌لرزه ۱۸ آوریل ۱۹۱۱ (۲۸ فروردین ۱۲۹۰)، راور. به دنبال پیش‌لرزه‌ای نیرومند، زمین‌لرزه ویرانگری که در هنگام شب در دهستان راور روی داد، حدود ۷۰۰ نفر را کشت. روستاهای کوچک آبدرجان، مکی و ده لکرکوه در ناحیه تنک جمعیت خاور راور به کلی ویران شدند و تلفات بسیاری ببار آمد.

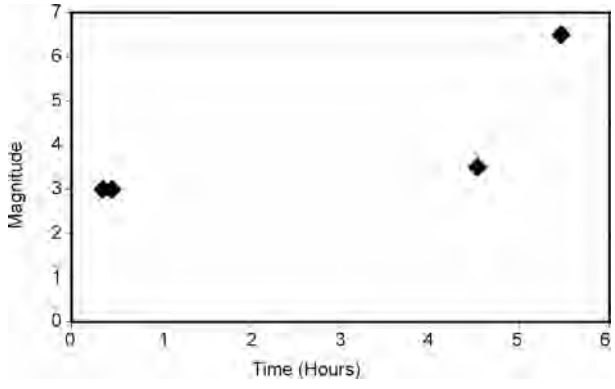
زمین‌لرزه ۲۵ مه ۱۹۲۳ (۳ خرداد ۱۳۰۲)، کاج درخت. به دنبال یک پیش‌لرزه محلی اما آسیب‌رسان در عباس‌آباد، زمین‌لرزه‌ای در سپیده دم ۵ خرداد ۱۳۰۲ پنج روستا را در ناحیه پرجمعیت کاج درخت کاملاً ویران کرد و به بیست روستای دیگر در این ناحیه به سختی آسیب رساند و ۷۷۰ نفر جان خود را از دست دادند. زمین‌لرزه پاره‌ای تغییرات موقتی در جریان آب زیرزمینی در مجراهای تأمین کننده آب روستاها، که تعداد بسیاری از آنها پس از زمین‌لرزه متروک رها شدند، پدید آورد.

زمین‌لرزه ۶ (۷) مه ۱۹۳۰ (۱۶ (۱۷) اردیبهشت ۱۳۰۹)، سلماس. زمین‌لرزه‌ای، که پانزده ساعت پیش از آن یک پیش‌لرزه آسیب‌رسان روی داده بود، در ساعات آغازین بامداد (به وقت محلی) شهرستان شاهپور را در هم کوبید. پیش‌لرزه به هشت روستا، و همچنین دیلمقان، آسیب رساند و بیست و پنج نفر را کشت. پیش‌لرزه این اثر را داشت که به اکثریت ساکنان ناحیه هشدار داد و آنان شب را در بیرون از خانه‌ها خوابیدند و بدین گونه جان خود را نجات دادند.

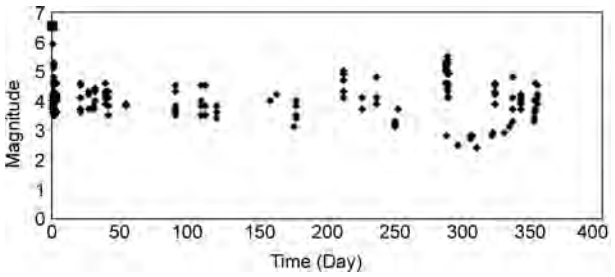
زمین‌لرزه ۱۰ آوریل ۱۹۷۲ (۲۱ فروردین ۱۳۵۱)، قیر-کارزین. در بامداد ۲۱ فروردین ۱۳۵۱ زمین‌لرزه ویرانگری فارس مرکزی را لرزاند و دهستان‌های قیر، کارزین و افزر را تقریباً به کلی ویران کرد. این زمین‌لرزه به دنبال تعدادی پیش‌لرزه، در هنگام و سربیشه روی داد که باعث هشدار مردم شد. با این همه، زمین‌لرزه در ۵۰ روستا ۵۰۱۰ نفر را کشت و به ۱۷۱۰ نفر آسیب زد، که شمار کشتگان به حدود ۲۰٪ جمعیت منطقه بالغ می‌شود.

زمین‌لرزه ۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸ (۲۵ شهریور ۱۳۵۷) طبس. شب هنگام زمین‌لرزه‌ای منطقه پیرامون طبس را در هم کوبید. هیچ پیش‌لرزه‌ای روی نداد، اما برخی رویدادهای غیرعادی هشدار دهنده، مانند رفتار غیرعادی جانوران و نمایان شدن یک روشنایی بر فراز شتری کوه، گزارش شده است. زمین‌لرزه سی روستا را به کلی ویران کرد و ۱۸۲۲۰ نفر را کشت که ۸۰٪ آنان در طبس جان باختند.

زمین‌لرزه ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ (۵ دی ۱۳۸۲) بم. در بامداد روز جمعه ۵ دی‌ماه سال ۱۳۸۲، ساعت ۱ و ۵۶ دقیقه و ۵۶ ثانیه به وقت گرینویچ (ساعت ۵ و ۲۶ دقیقه و ۵۶ ثانیه به وقت محلی) زمین‌لرزه شدیدی شهرستان بم در استان کرمان را ویران کرد. ارگ بم مهمترین بنای باستانی در گستره کلان لرزه‌ای با قدمت بیش از ۲۰۰۰ سال و بزرگترین مجتمع خشت و گلی شناخته شده در جهان نیز تخریب شد. این زمین‌لرزه به دنبال تعدادی پیش‌لرزه با گزارش از مراجع مختلف همراه بود. احساس این پیش‌لرزه‌ها توسط مردم، اشاره به وقوع دو پیش‌لرزه حدود ساعت ۲۴ شب (مهندس محسن صالحی کرمانی رئیس ستاد حوادث غیر مترقبه) و یک پیش‌لرزه حدود ۴۵ دقیقه قبل از وقوع زمین‌لرزه اصلی دارد. آمار دقیق زمین‌لرزه اصلی و پس‌لرزه‌های مربوط به آن در جدول (۱) آورده شده است، همچنین در شکل‌های (۱) و (۲) نمودار مربوط به آنها نمایش داده شده است.



شکل ۱. نمودار زمان- بزرگا مربوط به ساعات قبل از وقوع زمین‌لرزه بم.



شکل ۲. نمودار زمان- بزرگا مربوط به بعد از وقوع زمین‌لرزه بم.

جدول ۱: زمان وقوع لرزه اصلی و پس‌لرزه‌های دو ساعت اول بعد از زلزله بم *(WWW.ISC.AC.UK)*.

Y	M	D	H	Mi	S	Magnitude
2003	**12**	**26**	**1**	**56**	**56.1**	**6.5**
2003	12	26	1	56	53.2	5.9
2003	12	26	2	25	17.9	3.6
2003	12	26	2	25	15.8	4
2003	12	26	2	31	0.8	3.8
2003	12	26	2	31	2.3	3.6
2003	12	26	2	34	16.7	4.1
2003	12	26	2	34	16.9	3.9
2003	12	26	2	34	18.8	4.2
2003	12	26	2	34	20.3	3.8
2003	12	26	2	34	16.6	4
2003	12	26	2	36	30.7	3.8
2003	12	26	2	36	32.4	3.7
2003	12	26	2	37	56.8	3.9
2003	12	26	2	37	57	3.8
2003	12	26	3	44	52.3	3.8
2003	12	26	3	44	52.2	3.7
2003	12	26	3	6	13.6	5.1
2003	12	26	3	6	14.4	5.2
2003	12	26	3	6	16	5.1
2003	12	26	3	6	17	5.3
2003	12	26	3	6	20.8	4.8
2003	12	26	3	6	15.9	5.1
2003	12	26	3	21	8.7	3.9
2003	12	26	3	21	9	4.1
2003	12	26	3	21	9.2	3.7
2003	12	26	3	21	11	4.2
2003	12	26	3	21	9.2	4.1
2003	12	26	3	37	37.8	3.6
2003	12	26	3	37	39.3	3.9
2003	12	26	3	37	39.4	3.9
2003	12	26	3	37	39.1	3.9
2003	12	26	3	41	39	3.5
2003	12	26	3	41	39.6	3.9
2003	12	26	3	41	40	3.8
2003	12	26	3	41	39.2	3.8
2003	12	26	3	53	24.4	4.8
2003	12	26	3	53	25.2	4.5
2003	12	26	3	53	28	4.7
2003	12	26	3	53	29.7	4.6
2003	12	26	3	53	38.5	4
2003	12	26	3	53	29.6	4.6
2003	12	26	3	57	45.9	3.5

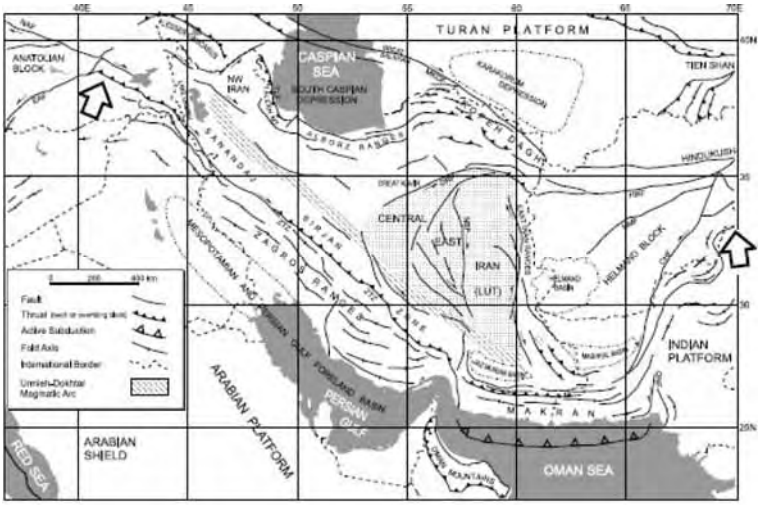
۳-۲- زلزله‌های بزرگ در ایران

بسیاری زلزله‌های بزرگ متعاقب افزایش در تعداد زلزله‌ها با اندازه متوسط رخ داده‌اند. رابطه بین زلزله‌های با بزرگای متوسط و لرزه اصلی پیامد آن فقط اخیراً مشخص شده است، چرا که لرزه‌های مقدماتی بر روی چنان محدوده مکانی وسیعی اتفاق می‌افتند که با تعاریف شناخته شده از پیش‌لرزه‌ها منطبق نمی‌شوند. به طور خاص ۱۱ زلزله بزرگ ایران با بزرگای بیش از ۶ در قرن گذشته با افزایش تعداد زلزله‌های متوسط (بزرگای ۴ تا ۶) که در پنجره زمانی ۵ سال اندازه گرفته شده، مرتبط است، شکل (۳). آنچه درباره نتایج عجیب است این است که الگوی مقدماتی با فواصل ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر از رو مرکز آینده یعنی در فاصله‌های تا ۱۰ برابر بزرگتر از اندازه گسیختگی زلزله آینده اتفاق افتاده است. علاوه بر آن افزایش فعالیت با بزرگی متوسط به سرعت بعد از یک زلزله بزرگ در حدود نیم ساعت در هر کدام خاموش می‌شود. این مشاهدات نشان می‌دهد که تغییرات استرس ایجاد شده بوسیله یک زلزله با بعد شکست کوچک ۳۵ کیلومتر می‌تواند در انتشار استرس تا بیش از ۱۰ برابر اندازه‌اش مؤثر واقع شود. این نتیجه مدل‌های رایج را به چالش می‌طلبد [۹-۱۲].

دلیلی عمده وجود داردکه میزان وقوع زلزله‌های متوسط در ده‌ها سال پیش از حادثه اصلی افزایش می‌یابد [۱۳]. قبل از زلزله سال ۱۹۰۹ در ناحیه خلیج سانفرانسیسکو در ۱۸۶۸ زلزله‌های متوسط مهمی رخ داده است. قبل از زلزله ۱۹۸۹ نیز زلزله بهار ۱۹۴۸ رخ داده است. قبل از زلزله ۱۷۰۷ کانتو و ۱۹۲۳ توکیو در ژاپن نیز زلزله‌های مهمی در دهه قبل از آن در همـان ناحیه رخ داده است [۱۴-۱۷]. در دهه گذشته نیز زلزله‌های با بزرگای متوسط (۴ تا ۶) در جنوب کالیفرنیا ثبت شده است. افزایش فعالیت زلزله‌های بزرگتر از M=5 قبل از زلـزلـه ۱۹۸۹ لوما پریتا در ناحیه خلیج سانفرانسیسکو دیده می‌شود [۱۳]. در جدول (۲) زلزله‌های اصلی در سده بیستم ایران (با بزرگای بیش از ۷) آورده شده است..

بر اساس داده‌های ثبت شده در محدوده صد کیلومتری کانون زلزله ۱۰ مه ۱۹۵۰ اردکول (قائن)، داده‌های سده بیستم در جدول (۳) آمده است. در جدول (۴) زلزله‌های دهه قبل از رخداد زلزله ۱۹۹۰ منجیل، جدول (۵) زلزله‌های دهه قبل از رخداد زلزله‌های ۱۹۸۱ سیرچ و ۱۹۹۸ فندقا (شرق کرمان) و جدول (۶) زلزله‌های دهه قبل از زلزله ۱۹۷۸ طبس در شعاع صد کیلومتر از کانون زلزله‌های یاد شده، ارائه شده است. آنچه در این زلزله‌ها مشخص است این است که در تمام موارد یاد شده فوق حداقل یک رویداد زلزله با بزرگای بیش از ۵ در شعاع کمتر از صد کیلومتری کانون زلزله اصلی (با بزرگای ۷ یا بیشتر) رخ داده است.

با بررسی کمی این داده‌ها کوشیده‌ایم تا نشان دهیم که قانون کنترل کننده این افزایش مقدماتی چیست. با توجهات اخیر بر روی طبیعت بحرانی گسیختگی و گسترش آن به زلزله خیزی روش سامان یافته‌ای پیدا شد. در این روش برای پیدا کردن ناحیه بحران قبل از تمام زلزله‌ها نشان می‌دهد که رابطه امپریکال بین لگاریتم شعاع ناحیه بحرانی (R) و بزرگی حادثه نهائی (M) وجود دارد به طوری که اندازه بزرگترین گسیختگی محتمل یک منطقه با اندازه بزرگترین گسلش در شبکه گسل‌های منطقه قابل اندازه‌گیری می‌باشد.



شکل ۳. عناصر ریخت ساختاری فلات ایران- بر اساس داده‌های نقشه‌های زمین ساخت نبوی [۱۸]، و لرزه زمینساخت بربریان [۱۹].

جدول ۲: زلزله‌های اصلی-*Major*- با بزرگای بیش از *M=7.0* در ایران.

Date			Time			Coordinates			Mb	Ms	Mw	Efa	Ref	Region
Y	M	D	HH	MM	SSS	Lat. N	Lon. E	FD						
1909	01	23	02	48		33.00	49.00			7.4		*	Amb	Silakhor
1929	05	01	15	37		37.86	57.60		7.1	7.3		*	Amb	Baghan-Garmab
1930	05	06	22	34		38.15	44.60			7.2		*	Amb	Salmas
1946	11	04	21	47		39.82	54.60		7.4	6.9			Amb	Kazanjik
1948	10	05	20	12		37.79	58.40		7.3	7.2			Amb	
1957	07	02	00	42		36.14	52.70		7.0	6.8			Amb	Sangchal
1962	09	01	19	20	50	35.71	49.80	21	6.9	7.2		*	Amb	Boin-Zahra
1968	08	31	10	47	30	34.04	59.00	13	6.0	7.4		*	Amb	Dasht-, Bayaz
1976	11	24	12	22	20	39.05	44.00	36	6.1	7.3			Amb	Chaldoran
1978	09	16	15	35	60	33.38	57.44	10	6.7	7.3		*	Amb	Tabas
1979	11	27	17	10	30	33.96	59.76	10	6.1	7.1		*	Amb	Kuly-Boniabad
1981	07	28	17	22	20	30.01	57.74	33	6.7	7.2		*	NEIC	Sirch
1990	06	20	21	00		36.95	49.49	19	6.4	7.7		*	NEIC	Manjil
1997	05	10	07	57	29	33.83	59.80	10	6.4	7.7	7.2	*	NEIC	Ardekul-Ghaen

جدول ۳: زلزله‌های با بزرگای متوسط (بیش از ۵) در محدوده صد کیلومتری کانون زلزله اردکول- قائن ۱۹۹۷، کولی‌بنیاباد ۱۹۷۹ و دشت‌بیاض ۱۹۶۸.

Date			Time			Coordinates		Mb	Ms	Mw	Ref	Region
Y	M	D	HH	MM	SSS	Lat. N	Lon. E					
1958	09	16	14	22	29	34.37	59.52	.0	5.0	.0	NAB	
1960	06	02	07	22	27	33.17	60.42	5.0	.0	.0	N.BC	
1968	**08**	**31**	**10**	**47**	**30**	**34.04**	**59.02**	**6.0**	**7.4**	**.0**	**Amb**	**Dasht- Bayaz**
1968	08	31	11	34	40	33.99	59.19	5.5	.0	.0	N.US	
1968	08	31	14	06	30	34.05	59.43	5.0	.0	.0	NEIC	
1968	09	03	09	53	30	33.84	59.22	5.0	.0	.0	NEIC	
1968	09	04	08	08	40	34.18	59.20	5.0	.0	.0	NEIC	
1968	09	04	11	19	60	33.98	59.29	5.1	.0	.0	NEIC	
1968	09	11	19	17	20	34.01	59.53	5.2	5.4	.0	NEIC	
1969	08	23	19	16	20	33.94	58.90	5.1	.0	.0	NEIC	
1970	03	01	20	12	50	33.96	58.91	5.2	.0	.0	NEIC	
1970	03	17	23	19	30	33.88	59.72	5.0	.0	.0	NEIC	
1976	11	07	04	00	50	33.86	59.23	5.8	6.4	.0	Amb	
1976	11	09	17	59	50	33.79	59.23	5.1	.0	.0	NEIC	
1979	01	16	09	50	10	33.89	59.47	6.0	6.8	.0	Amb	Mojnabad
1979	01	18	00	25		33.91	59.46	5.0	4.6	.0	NEIC	
1979	01	19	19	29	40	33.91	59.37	5.0	4.3	.0	NEIC	
1979	11	14	02	21	20	33.91	59.47	6.0	6.6	.0	Amb	Korizan-Khaf
1979	11	15	05	06	50	33.92	59.82	5.0	4.0	.0	NEIC	
1979	11	23	18	22	50	33.98	59.83	5.0	4.5	.0	NEIC	
1979	11	27	07	12	40	33.97	59.84	5.0	.0	.0	NEIC	
1979	**11**	**27**	**17**	**10**	**30**	**33.96**	**59.72**	**6.1**	**7.1**	**.0**	**Amb**	**Kuly-Boniabad**
1979	12	09	09	24		34.03	59.81	5.8	6.0	.0	NEIC	
1979	12	16	22	35	40	33.99	59.32	5.0	4.7	.0	NEIC	
1979	**05**	**10**	**07**	**57**	**29**	**33.83**	**59.81**	**6.4**	**7.7**	**7.2**	**NEIC**	**Ardekul-Ghaen**
1979	05	10	10	27	20	33.73	59.95	5.4	.0	.0	NEIC	
1979	06	16	03	00	04	33.14	60.15	5.0	.0	.0	NEIC	
1979	06	25	19	38	40	33.94	59.47	6.0	.0	.0	NEIC	

جدول ۴: زلزله‌های با بزرگای متوسط (بیش از ۵) در محدوده صد کیلومتری از کانون زلزله منجیل ۱۹۹۰.

Date			Time			Coordinates		Mb	Ms	Mw	Ref	Region
Y	M	D	HH	MM	SSS	Lat. N	Lon. E					
1978	11	04	15	22	20	37.674	48.901	6.2	6.0	.0	Amb	
1980	01	13	05	51	40	37.120	50.330	5.0	4.8	.0	NEIC	
1980	07	22	05	17	10	37.190	50.201	5.4	.0	.0	NEIC	
1980	12	03	04	26	20	37.075	50.380	5.1	4.7	.0	NEIC	
1983	07	22	02	41		36.948	49.180	5.6	5.0	.0	NEIC	Churzagh
1990	**06**	**20**	**21**	**00**		**36.957**	**49.409**	**6.4**	**7.7**	**7.3**	**NEIC**	**Manjil**
1990	06	20	23	48	50	36.641	49.830	4.7	5.1	.0	NEIC	
1990	06	21	02	09		36.789	49.789	5.4	4.8	.0	NEIC	
1990	06	21	09	02	10	36.636	47.799	5.8	5.3	.0	NEIC	
1990	06	21	12	17	30	36.732	49.407	5.3	4.2	.0	NEIC	
1990	06	24	09	46		36.863	49.405	5.1	4.7	.0	NEIC	
1990	07	06	19	34	60	36.861	49.303	5.3	4.4	.0	NEIC	
1990	12	28	04	03	60	37.106	49.227	5.0	4.4	.0	NEIC	
1991	22	28	17	19	60	36.924	49.603	5.6	5.0	.0	NEIC	
1995	10	15	06	56	34	37.055	49.476	4.9	.0	5.2	NEIC	
2002	04	19	13	46	49	36.570	49.810	5.2	.0	.0	NEIC	

جدول ۵: زلزله‌های با بزرگای متوسط (بیش از ۵) در محدوده صد کیلومتری از کانون زلزله سیرچ ۱۹۸۱ و فندقا ۱۹۹۸.

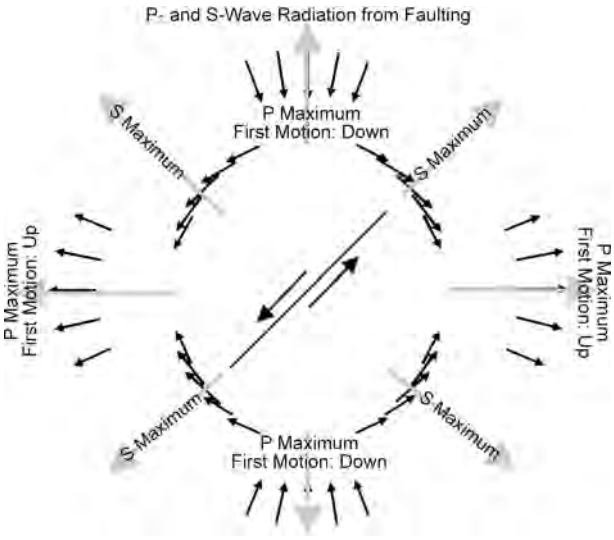
Date			Time			Coordinates		Mb	Ms	Mw	Ref	Region
Y	M	D	HH	MM	SSS	Lat. N	Lon. E					
1969	09	02	13	29	60	30.14	57.71	5.3	.0	.0	NEIC	
1970	11	09	17	41	40	29.51	56.85	5.5	.0	.0	NEIC	
1981	**06**	**11**	**07**	**24**	**30**	**29.91**	**57.71**	**6.1**	**6.6**	**6.7**	**NEIC**	**Golbaf**
1981	**07**	**28**	**17**	**22**	**20**	**30.01**	**57.79**	**5.7**	**7.2**	**7.1**	**NEIC**	**Sirch**
1981	10	14	09	12	40	29.89	57.69	5.1	4.6	.0	NEIC	
1982	01	02	19	00	50	30.65	57.51	5.0	.0	.0	NEIC	
1982	12	19	19	40	50	30.57	57.52	5.0	5.9	.0	NEIC	
1984	08	06	11	14	40	30.84	57.15	5.6	5.3	5.4	NEIC	Heruz
1984	08	15	02	00	60	30.88	57.08	5.1	.0	.0	NEIC	
1984	10	11	05	09	20	29.64	57.97	5.0	.0	.0	NEIC	
1988	12	03	01	23	40	30.24	57.54	5.2	.0	.0	NEIC	
1989	11	20	04	19	10	29.89	57.71	5.6	5.5	5.9	NEIC	Golbaf S
1998	**03**	**14**	**19**	**40**	**27**	**30.15**	**57.60**	**5.9**	**6.9**	**6.6**	**NEIC**	**Fandogha**
1998	11	18	07	39	23	30.30	57.56	4.9	5.1	5.3	NEIC	Shahdad

جدول ۶: زلزله‌های با بزرگای متوسط (بیش از ۵) در محدوده صد کیلومتری از کانون زلزله طبس ۱۹۷۸.

Date			Time			Coordinates		Mb	Ms	Mw	Ref	Region
Y	M	D	HH	MM	SSS	Lat. N	Lon. E					
1939	06	10	08	36	43	33.90	56.97	.0	5.2	.0	NAB	
1968	**09**	**01**	**07**	**27**	**10**	**34.10**	**58.28**	**5.9**	**6.4**	**.0**	**Amb**	**Ferdows**
1968	09	01	08	23	30	33.77	58.23	5.6	.0	.0	NAB	
1968	09	01	19	16	40	34.16	58.21	5.0	.0	.0	NEIC	
1968	09	04	23	24	50	34.05	58.32	5.4	5.2	.0	NEIC	
1973	05	11	13	52	30	33.35	57.37	5.1	.0	.0	NEIC	
1978	**16**	**09**	**15**	**35**	**60**	**33.38**	**57.43**	**6.7**	**7.3**	**7.4**	**Amb**	**Tabas**
1978	09	17	08	17	30	33.66	57.00	5.0	.0	.0	NEIC	
1978	12	06	17	18	10	33.29	57.15	5.3	.0	.0	NEIC	
1979	01	17	03	29	50	33.75	57.09	5.1	.0	.0	NEIC	
1979	02	13	10	36	20	33.31	57.43	5.5	4.8	.0	NEIC	
1979	09	05	09	26	50	33.80	56.95	5.2	.0	.0	NEIC	
1980	01	12	15	31	40	33.49	57.19	5.4	5.9	.0	NEIC	
1987	07	20	16	47	60	33.75	56.95	5.0	4.4	.0	NEIC	
1990	10	15	19	06	50	33.64	56.80	5.0	.0	.0	NEIC	

۳-۳- نبود لرزه‌ای و قفل دوره‌ای

به لحاظ آماری می‌توان نشان داد که بیشتر زلزله‌های بزرگ با بزرگای بیش از (M=8) که دوره بازگشت آنها در فلات ایران در حدود یک قرن است می‌تواند ۴ سال قبل با دقت بهتر از ۱ سال پیش‌بینی شود. برای زمین‌لرزه واقعی هنوز به طور قطعی نمی‌توان به این دقت پیش‌بینی کرد؛ زیرا مشکلات زیادی از قبیل عدم شناخت دقیق پارامترهای مختلف ساز و کار گسلش و پیش‌بینی نحوه پراکنش موج مانع اجرای عملی پیش‌بینی دقیق زمانی می‌شود، شکل (۴).



شکل ۴. پراکنش موج‌های درونی در پیرامون یک گسل امتدادلغز چپگرد که پیش‌بینی آنها برای پیش‌بینی دقیق رخداد زمین‌لرزه روی یک پهنه گسلش فرضی لازم است [۱۲].

در رویدادهایی که در مناطق مختلف اتفاق می‌افتند، تشابهاتی در شکست مدل‌های استاندارد و مراحلی که سیستم‌های واقعی به سمت آنها حرکت می‌کنند وجود دارد. مدل‌های سیستم‌های پیچیده قادرند اطلاعات سودمند بسیاری را دریافت کنند ولی به کار بردن آنها در تصمیم‌گیری در دنیای واقعی مشکل است؛ زیرا اغلب با آنچه در آنالیز تصمیم‌گیری سنتی لازم است تطابق ندارد.

رویکردهای جدید که استدلال استقرائی را در تشکل‌های تجارب عملی استفاده می‌کند، مقایسه سیستماتیک استفاده از مدل سیستم‌های پیچیده را ممکن ساخته است.

۴-۳- علم جدید تصمیم‌گیری در باره سیستم‌های پیچیده

در سالهای اخیر روش‌های جدیدی را برای کمک به تصمیم‌گیری با عدم اطمینان زیاد بسط داده‌اند که مناسب بکارگیری در سامانه‌های پیچیده برای طراحی خط مشی هستند. این روش‌ها که استدلال رایانه‌ای و اخیراً مدلسازی اکتشافی نامیده شده‌اند، توانایی‌های جدید رایانه مدرن و فراگیر، حافظه ارزان و تصویری نیرومند را برای تلفیق بهتر مشخصه‌های کمی به کار می‌گیرند. به این ترتیب آنالیز تصمیم‌گیری‌های سنتی با این برنامه‌ریزی بر مبنای سناریو به صورت کمی مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت.

کاربرد سامانه‌های پیچیده بر مبنای تحلیل‌های فراکتالی نمونه‌ای از روش‌های شبیه‌سازی چند سناریویی است. این روش به طور فزاینده در تصمیم‌گیری با عدم اطمینان بالا مثلاً در مورد پیش‌بینی ریخت آبراهه‌ها به کار رفته است، شکل (۵).

شکل ۵. توزیع فراکتالی ریخت آبراهه‌ها.

مدل تصمیم‌گیری برای سامانه‌های پیچیده مدلی است که در شرایط عدم اطمینان زیاد یک گروه از مدل‌های قابل قبول به جای یک مدل منفرد، اطلاعات موجود از آینده را بهتر ارائه می‌دهد. کاربرها می‌توانند از اطلاعات در این گروه‌ها با جستجو و به تصویر کشیدن بهره‌برداری کنند. به تصویر کشیدن اغلب با طراحی راهبرد و به کاربرها در تولید فرضیه درباره استراتژی‌های مطلوب کمک می‌نماید.

با دسته کردن ورودی‌های آنالیز به اهرم‌های خط مشی یعنی اعمال متنوعی که تصمیم‌گیرنده می‌تواند برای اثرگذاری بر جهان انتخاب کند و عدم اطمینان‌های خارجی یعنی متغیرهای خارج از کنترل تصمیم‌گیرنده شروع نموده که این امر می‌تواند بر

روی نتیجه مورد نظر اثر داشته باشد. با استفاده از این عدم اطمینان‌ها و اهرم‌ها گروه بزرگی از سناریوها را می‌سازند، به نحوی که هر سناریو یک حدس چگونگی کارکرد جهان و یک انتخاب است (توجه داشته باشید که با تعریف رایج سناریو که عموماً بازگشائی جهان خارجی بدون در نظر گرفتن کارکرد تصمیم‌گیرنده است، تفاوت دارد).

کلید این رویکرد استدلال از جز به کل (استقرائی) است تا از کل به جز (قیاسی) یعنی رویکردی اساسی به استدلال کمی دارد. در آنالیز سنتی تصیم‌گیری کاربرها با فرضیه خاص درباره مدل سیستم و احتمال پارامترهای متغیر ورودی مدل شروع می‌شود.

در رویکرد حاضر تجزیه‌کننده و تصمیم‌گیرنده با طیف وسیعی از فرضیات قابل قبول که از اطلاعات موجود نامطمئن دربـاره آینـده بـه دست آورده‌اند، شروع مـی‌کنند. سپس از کامپیوتر برای جستجو و به تصویر کشیدن فرآیند تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند تا به طور سیستماتیک این اطلاعات را برای مقایسه انتخاب‌های خط مشی به کار گیرند. برای مثال آنها می‌توانند راهبردهایی را شناسائی کنند که در رویارویی با این عدم اطمینان‌ها به کار می‌آیند.

٤- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

سامانه‌های پیچیده داده‌های لرزه‌ای اطلاعات مفید را از سراسر جهان جمع می‌کند ولی بکارگیری این داده‌ها برای مدل کردن رخداد و کاربرد آنها برای پیش‌بینی زلزله و نحوه کارکرد و طراحی خط‌مشی مسائل مشکل است، چرا که این مدل‌ها نوعی اطلاعات را شامل می‌شوند که غالباً در متدهای سنتی قیاسی (استدلال از کل به جز) در آنالیز تصمیم‌گیری به کار نمی‌رود و این در حالی که به آنها نیاز بسیار است.

آنچه در پیش‌بینی زلزله معمولاً مد نظر است آن است که بیشتر از استدلال استقرائی استفاده شود، ولی حقیقت آن است (و اشکال آنجاست) که بیشتر از کلیت یک زلزله اصلی فرض می‌کنیم که اجزا نیز باید فرآیندی مشابه لرزه اصلی داشته باشند (نگاه زلزله‌شناسان در این مورد بیشتر قیاسی -*deductive* یا فرضی- *abductive* است ولی ابزار کارشان بیشتر استقرائی است- *inductive*). در عمل این تفاوت اجباری در ابزار کار (که بیشتر به استدلال استقرائی می‌انجامد) و واقعیت مسأله (که بیشتر بر مبنای اینکه از ماهیت یک زلزله اصلی- کل- به زلزله‌های کوچک- جز- می‌خواهیم برسیم و این مفهوم که "کل" مورد نظر از "اجزائی" تشکیل شده که به خوبی برای ما روشن نیستند) منجر به ناموفق بودن بیشتر تلاش‌های دانشمندان برای پیش‌بینی زلزله است. این موضوع نشان می‌دهد که باید ماهیت یک سامانه گسله که یک سامانه پیچیده را نمایندگی می‌کند، بهتر شناخته شود تا بتوان بر اساس روش منطقی به پیش‌بینی فرآیند منجر به رخداد یک زلزله بزرگ و در نتیجه خود رخداد پرداخته شود.

رویکردهای جدید با استفاده از استدلال استقرائی بر اساس کاربرد رایانه اکنون مقایسه منظم متغیرهای سامانه با استفاده از مدل‌های پیچیده را ممکن می‌کند. این روش‌ها دریافت اطلاعات مفیدتر موجود در مورد سامانه‌های پیچیده، یافتن پاسخ‌های کاربردی قابل قبول در مقابل عدم اطمینان و پلی که شکاف بین رویکردهای کمی و کیفی را پر نماید را مقدور می‌سازد.

با رجوع به زمین‌لرزه‌های دورن صفحه‌ای فلات ایران می‌توان مشاهده کرد که به لحاظ آماری و بر مبنای مشاهدات عینی، پیش‌بینی زلزله به لحاظ نظری امکان‌پذیر است.

مراجع

1. Aki, K. (1981). "A Probabilistic Synthesis of Precursory Phenomena", In Simpson, D.W. and Richards, P.G. (Eds.), Earthquake Prediction- An International Review, Maurice Ewing Series 4, AGU, 566-574.
2. Barka, A. (1996). "Slip Distribution Along the Rupture Zones of the 1939-1967 Large Earthquake Migration in the North Anatolian Fault", Bull. Seismol. Soc. Am., in press.
3. Cornell, C.A., Wu, S.-C., Winterstein, S.R., Dieterich, J.H., and R.W. (1993). "Simpson, Seismic Hazard Induced by Mechanically Interactive Fault Segments", Bull. Seismol. Soc. Amer., **83**, 436-449.
4. Dewey, J.W. (1976). "Seismicity of Northern Anatolia", Bull. Seismol. Soc. Amer., **66**, 843-868.
5. Dieterich, J. (1994). "A Constitutive Law for Rate of Earthquake Production and Its Application to Earthquake Clustering", *J. Geophys. Res.*, **99**, 2601-2618.
6. Harris, R.A. and Simpson, R.W. (1992). "Changes in Static Stress on Southern California Faults after the 1992 Landers Earthquake", Nature, **360**, 251-254.
7. Harris, R.A., Simpson, R.W., and Reasenberg, P.A. (1995). "Influence of Static Stress Changes

on Earthquake Locations in Southern California", Nature, **375**, 221-224.

۸. آمبرسیز، ن.ن و ملویل چ. (۱۳۷۰). تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران ، انتشارات آگاه، ترجمه ابوالحسن رده.

9. Jaumé, S.C. and Sykes, L.R. (1992). "Change in the State of Stress on the Southern San Andreas Fault Resulting from the California Earthquake Sequence of April to June 1992, Science", **258**, 1325-1328.

10. Kagan, Y.Y. and Jackson, D.D. (1991). "Long-term Earthquake Clustering", *Geophys. J. Int.*, **104**, 117-133.

11. Kasahara, K. (1981). "Earthquake Mechanics", Cambridge: Cambridge Univ. Press.

12. King, G.C.P., Stein, R.S., and Lin, J. (1994). "Static Stress Changes and the Triggering of Earthquakes", Bull. Seismol. Soc. Amer., **84**, 935-953.

13. Mogi, K. (1985). "Earthquake Prediction", Tokyo: Academic Press.

14. Neugebauer, J. (1995). "Structures and Kinematics of the North Anatolian Fault Zone, Adapazari-Bolu Region, Northwest Turkey", *Tectonophys*., **243**, 119-134.

15. Oral, M.B. (1994). "Global Positioning System (GPS) Measurements in Turkey (1988-1992): Kinematics of the Africa-Arabia-Eurasia Plate Collision Zone", Ph.D. Thesis, Mass. Inst. Tech., 344p.

16. Scholz, C.H. (1990). "The Mechanics of Earthquakes and Faulting", Cambridge: Cambridge University Press.

17. Wallace, R.E. (1987). "Grouping and Migration of Surface Faulting and Variations in Slip Rates on Faults in the Great Basin Province", Bull. Seismol. Soc. Amer., **77**, 868-876.

۱۸. نبوی، م.ح. (۱۳۵۵). دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۱۹. بربریان، م. (۱۳۵۶). پژوهش و بررسی لرزه زمین‌ساخت ایران، جلد دوم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.