مردودی

مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۴، ۱۳۸۹، صفحهٔ ۱۱۱-۱۲۹

امکان کاربرد باستان‌لرزه‌شناسی در ایران

رضا صحبتی[۱] و مرتضی فتاحی[۲*]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران
[۲] استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۷/۸/۷ ، پذیرش نهایی: ۸۸/۷/۲۱)

چکیده

یکی از پیش‌نیازهای مهم برای برآورد خطر زمین‌لرزه، به‌دست آوردن اطلاعاتی دقیق‌تر و کامل‌تر از زمین لرزه‌هایی است که در دوره‌های تاریخی و پیش از تاریخ روی داده‌اند. این اطلاعات را می‌توان از بررسی نسخه‌ها و روایات تاریخی (لرزه‌شناسی تاریخی)، شواهد و آثار زمین‌شناسی (دیرینه‌لرزه‌شناسی)، و یا باستان‌لرزه‌شناسی (Archaeoseismology) به‌دست آورد. باستان‌لرزه‌شناسی رشته‌ای نوپا است که با بررسی و ارزیابی شواهد و خسارت‌هایی که زمین‌لرزه‌های پیش از دوره دستگاهی در بناهای تاریخی و باستانی به جای گذاشته‌اند، اطلاعاتی را دربارهٔ زمان، مکان و بزرگای این زمین‌لرزه‌ها فراهم می‌آورد.

ایران به‌منزلهٔ کشوری لرزه‌خیز که دارای پیشینهٔ تاریخی طولانی و بناهای باستانی فراوان است، از ظرفیت زیادی برای تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی برخوردار است.

ما در این تحقیق به معرفی باستان‌لرزه‌شناسی و ذکر نمونه‌هایی از کاربرد آن در مناطق گوناگون جهان می‌پردازیم. همچنین، با دسته‌بندی شواهد و خسارت‌های باستان‌لرزه‌ای، و معرفی روش‌های گوناگون تشخیص آن‌ها از عوارض غیر زمین لرزه‌ای، به بررسی کاربرد این روش‌ها در ایران می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: باستان‌لرزه‌شناسی، خطر لرزه‌ای، ایران

The Application of Archaeoseismology in Iran

Sohbati, R.[1] and Fattahi, M.[2]

[1] *M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*
[2] *Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*

(Received: 28 Oct 2008 , Accepted: 13 Oct 2009)

Abstract

A prerequisite to seismic hazard assessment is to have knowledge of historical and prehistorical earthquakes. To obtain such data, researchers have already practiced different methods including historical seismology, paleoseismology, and recently archaeoseismology. Archaeoseismology is a multidisciplinary approach which ideally tries to find the age, epicenter, and magnitude of past earthquakes through investigating the damage left in ancient monuments. However, a successful archaeoseismological study needs the help of other disciplines like archaeology, seismology, geology, geophysics, history, and civil engineering.

One of the difficulties of archaeoseismology is the recognition of seismic damage from that of nonseismic. Sometimes, the effects of natural disasters such as floods, landslides, and rockfalls or human activities like wars and revolutions might be very similar to damage caused by earthquakes. Accordingly, it is very important to develop methods which help distinguish between earthquake related destruction and that caused

*نگارنده رابط: تلفن: ۶۱۱۱۸۲۵۳-۰۲۱ دورنگار: ۸۸۶۳۰۵۴۸-۰۲۱ E-mail: mfattahi@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

by other calamities.

In this review, we categorize the archaeoseismic evidences into the following groups:

- Displacements and collapses
- Coseismic geological effects (liquefaction, etc.) due to earthquakes and their effects on structures
- Deformation of building remains still in primary position
- Human and animal skeletons under collapsed ruins
- Abandonment of sites
- Evidence of reconstruction of damage caused by earthquakes

We also introduce some methods to recognize these evidences from nonseismic damages such as:

- Application of the feasibility matrix
- Dating the probable effect
- Territorial archaeoseismology
- Microzoning of the archaeological site

Iran is an ancient country with an old civilization which has many historical monuments and prehistorical tells. These structures could play the role of a seismoscope for ancient earthquakes, and might have recorded the effects of such events. On the other hand, Iran is placed in the Alpine-Himalayan seismic belt and most parts of it have experienced large and fatal earthquakes during both historical and instrumental periods. These two factors present a great potential for archaeoseismological studies in Iran. However, Iran is still untouched in this respect. In this paper, we also investigate the applicability of archaeoseismology in Iran by providing a few examples.

Key words: archaeoseismology, Iran, seismic hazard

۱ مقدمه

زمین‌لرزه‌ها در طول تاریخ، همواره منشاء مرگ و هراس از خسارت و نابودی برای بشر بوده‌اند. بد حادثه اینجا است که گسل‌ها درحکم منبع اصلی تولید زمین‌لرزه‌های ویرانگر، در عین حال که همواره تهدیدی مرگبار برای جوامع بشری مستقر در مجاورت خود هستند، دارای جاذبه‌های زیستی نیز هستند (جکسون، ۲۰۰۶). بدین‌ترتیب که در اغلب مناطق لرزه‌خیز دنیا، گسل‌ها در مرز میان کوه و دشت قرار گرفته‌اند و دشت‌ها به سبب آبرفت‌های حاصل‌خیزی که رودخانه‌ها طی هزاران سال در آن‌ها انباشته‌اند، و نیز به سبب شرایط مساعد آب‌وهوایی ناشی از مجاورت با کوهستان، همواره بهترین مناطق برای کشاورزی و دامپروری، و نخستین مناطق برای آغاز یک‌جانشینی بشر بوده‌اند. دشت قزوین در شمال ایران مرکزی یکی از این مناطق مستعد است که از هزاران سال پیش تا کنون مورد سکونت قرار دارد. (اشمیت و همکاران، ۲۰۰۵).

بنابر آنچه گفته شد، از دیرباز همامیختگی و ارتباط تنگاتنگی میان سکونت‌گاه‌های بشری و زمین‌لرزه‌ها وجود داشته است، و بنابراین روشن است که با بررسی تاریخ تمدن جوامع بشری، مطالعهٔ نسخه‌ها و روایات تاریخی، و همچنین کاوش سکونت‌گاه‌های باستانی ممکن است بتوان رَدی از زمین‌لرزه‌هایی که در گذشته روی داده‌اند یافت. پی‌بردن به زمین‌لرزه‌های پیشین و در صورت امکان تعیین زمان، مکان، و بزرگی آن‌ها، براساس آثار و شواهدی که از خود در ویرانه‌هایی باستانی به‌جای گذاشته‌اند، "باستان‌لرزه‌شناسی (Archaeoseismology)" نام گرفته است، که دانشی نوپا و میان‌رشته‌ای (multidisciplinary) است. اهمیت باستان‌لرزه‌شناسی در کاربرد اطلاعات

Archive of SID

www.SID.ir

به‌دست آمده از آن در تحقیقات برآورد خطر زمین‌لرزه و تعیین احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های مشابه در آینده است.

ایران به‌منزلهٔ سرزمینی که از یک سو از دیرباز (هزاره‌های پیش از تاریخ) محل سکونت اقوام و قبایل گوناگون بوده است، و در حال حاضر دارای ابنیهٔ تاریخی و باستانی فراوان است، و از سوی دیگر در کمربند لرزه‌خیز آلپ–هیمالیا قرار گرفته، در این زمینه دارای پتانسیلی ویژه است.

یکی از منابعی را که اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران به دقت در آن گردآوری شده، آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲) تهیه کرده‌اند. ایشان در کار خود ضمن اشاره به کمبود روایات و نسخه‌های تاریخی دربارهٔ زمین‌لرزه‌های ایران در دورهٔ پیش از اسلام به رخداد زمین‌لرزه‌های احتمالی در بویین زهرا و کنگاور اشاره می‌کنند که صرفاً براساس اطلاعات باستان‌شناسی به‌دست آمده در محل تپه‌های باستانی سگزآباد و گودین گمان رخداد آن‌ها می رود (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲).

ازاین‌روی، گسترش تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی درحکم پژوهش‌هایی چندوجهی که از ارتباط نزدیک میان باستان‌شناسی، لرزه‌شناسی، تاریخ، و مهندسی لرزه پدید آمده است، با توجه به کاربرد و اهمیت روزافزون آن در لرزه‌شناسی از یک‌سو و باستان‌شناسی از سوی دیگر، در سرزمین‌های مستعد، به‌ویژه کشور باستانی و لرزه‌خیز ایران، حیاتی به نظر می‌رسد.

۱-۱ اهداف باستان‌لرزه‌شناسی

در حالت ایدئال، یک پژوهش موفق باستان‌لرزه‌شناسی، تحقیقی است که در آن رشته‌های تخصصی گوناگون، شامل باستان‌شناسی، زمین‌شناسی، لرزه‌شناسی و مهندسی زمین‌لرزه در تمام مدت بررسی، درگیر و سهیم باشند. چنین تحقیقی می‌باید به‌گونه‌ای طرح‌ریزی شود که در پایان، به ساده‌ترین صورت ممکن، به پرسش‌هایی دربارهٔ ویژگی‌های یک زمین‌لرزه پاسخ دهد و معلوم کند که زمین‌لرزه "کی؟"، "چگونه؟"، "کجا؟"، و "با چه بزرگی؟" روی داده است (جیودوبونی، ۱۹۹۶). پارامترهای زمان، مکان و بزرگا مهم‌ترین اطلاعات در برآورد خطر زمین‌لرزه‌ها هستند که برآورد همه یا برخی از آنها در پایان یک تحقیق باستان‌لرزه‌شناسی امکان‌پذیر است.

۱-۲ دشواری‌های باستان‌لرزه‌شناسی

متأسفانه رشد و پیشرفت باستان‌لرزه‌شناسی در مقایسه با دیگر شاخه‌های بین‌رشته‌ای مرتبط با لرزه‌شناسی، نظیر لرزه‌شناسی تاریخی (historical seismology) و دیرینه لرزه شناسی (paleoseismology)، چندان قابل توجه نبوده است. از جمله مشکلات عمده‌ای که در برابر پیشرفت باستان‌لرزه‌شناسی قرار دارد می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- فقدان تلاش‌های منسجم، پیوسته و هماهنگ برای پالایش و گسترش زیرساخت‌های بنیادی این زمینهٔ پژوهشی (نبود راهبرد و نقص در روش‌شناسی)

۲- لزوم مشارکت طیف وسیعی از کارشناسان (شامل باستان‌شناسان و تاریخ‌دانان متخصص در زمینه‌های مشخص، زمین‌شناسان، ژئوفیزیک‌دانان و مهندسان) که بتوانند در زمینهٔ تخصصی خود در یک تحقیق باستان‌لرزه‌شناسی ایفای نقش کنند.

۴- دشواری در تشخیص علت آثار و شواهدی که می‌توان آنها را به زمین‌لرزه نسبت داد. برای مثال ترک سکونت‌گاه‌ها، فروریختن ستون‌ها، مرمت دیوارها و مثال‌های دیگر از این دست، می‌توانند دلایلی جز رخداد یک زمین‌لرزه مانند بلایای طبیعی دیگر چون سیل و زمین لغزش، و یا دلایلی انسانی، نظیر جنگ و بیماری داشته باشند (گالادینی و همکاران، ۲۰۰۶).

بنابراین روشن است که چیرگی نسبی بر دشواری‌های

Archive of SID

www.SID.ir

ذکر شده مستلزم گردآوری مجموعهٔ اطلاعاتی است که با تلاش متخصصان در زمینه‌های مرتبط با باستان‌لرزه‌شناسی (تاریخ، باستان‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیک و مهندسی) در محل مورد بررسی به‌دست می‌آید.

۲ شواهد و خسارت‌های باستان‌لرزه‌ای

تاکنون دسته‌بندی‌های گوناگونی از شواهد و خسارت‌های احتمالی ای که ممکن است زمین‌لرزه‌ها در آثار و بناهای باستانی به‌جای گذارند عرضه شده است که از آن جمله می‌توان به دسته‌بندی مک‌کالپین (۱۹۹۶)، آمبرسیز (۲۰۰۶)، گالادینی و همکاران (۲۰۰۶)، و مارکو (۲۰۰۸) اشاره کرد. با وجود این، هیچ‌یک از دسته‌بندی‌های ذکر شده، در مقایسه با سایر دسته‌بندی‌ها، خالی از اشکال نیست. برای مثال، در دسته‌بندی مارکو (۲۰۰۸) از سقوط جهت یافتهٔ ستون‌ها به‌منزلهٔ یکی از خسارت‌های رایج زمین‌لرزه‌ای در بناهای باستانی یاد شده است؛ درحالی‌که در دسته‌بندی گالادینی و همکارانش (۲۰۰۶) اشارهٔ درخوری به این عارضه نشده است. بنابراین، در دسته‌بندی که در پی می‌آید سعی بر آن بوده است تا از بررسی و مقایسهٔ همهٔ دسته‌بندی‌های یاد شده، کامل‌ترین و درعین‌حال شفاف‌ترین دسته‌بندی عرضه شود.

براین اساس، اثرات و شواهد یک زمین‌لرزه در محل یک سایت باستان‌شناسی را می‌توان به چهار گروه عمدهٔ زیر تقسیم کرد:

۱- جابه‌جایی‌ها و فروریزش‌ها

۲- اثرات زمین‌شناسی لرزه‌گاهی (coseismic geological effects) ناشی از لرزش، و اثرات مربوط به آن روی ساختار سازه‌ها

۳- دگرریختی بقایای ساختمان‌ها که در جای خود باقی مانده‌اند

۴- بقایای اجساد انسان‌ها و حیوانات در زیر آوار ویرانه‌ها

البته، علاوه بر اینها شواهد دیگری نیز هستند که به اندازهٔ شواهد بالا قابل اتکا نیستند و عبارت‌اند از:

۱- رهاکردن ناگهانی سکونت‌گاه‌ها

۲- شواهد مربوط به بازسازی ویرانه‌هایی که احتمالاً ناشی از زمین‌لرزه بوده‌اند.

صرف‌نظر از نوع دسته‌بندی، هر تحلیل قابل اتکایی می‌باید بر پایهٔ مجموعه‌ای از شواهد فوق، استوار باشد. همچنین، هریک از شواهد ذکر شده، باید از لحاظ دیگر عوامل ممکن در ایجاد آنها مورد بررسی قرار گیرد و پس از آنکه دلایل دیگر در پیدایش آنها (اعم از طبیعی یا انسانی) مردود شد، در نهایت به زمین‌لرزه نسبت داده شوند. با وجود این، نتایج همیشه قطعی و قابل اعتماد نیستند.

۲-۱ جابه‌جایی‌ها و فروریزش‌ها

جابه‌جایی‌ها و فروریزش‌ها ازجمله بارزترین شواهد ناشی از زمین‌لرزه‌ها در محوطه‌های باستانی هستند، که شناسایی و اثبات زمین‌لرزه‌ای بودن آنها نسبت به سایر شواهد و خسارت‌ها آسان‌تر است. این دسته از شواهد را می‌توان به سه دستهٔ زیر تقسیم کرد:

۱- جابه‌جایی در امتداد صفحات برشی

۲- سقوط جهت‌یافتهٔ ستون‌ها

۳- ریزش دیوارها

۲-۱-۱ جابه‌جایی در امتداد صفحات برشی

بارزترین خسارت ناشی از زمین‌لرزه حالتی است که یک سایت باستانی درست روی یک گسل فعال بنا شده و ساختارهای موجود در آن بر اثر رخداد زمین‌لرزه روی آن گسل، جابه‌جا شده باشد (شکل‌های ۱ و ۲). تا کنون موارد فراوانی از جابه‌جایی در ویرانه‌های باستانی شامل ساختمان‌ها، دیوارها، و نهرها از خاورمیانه، چین، و یونان

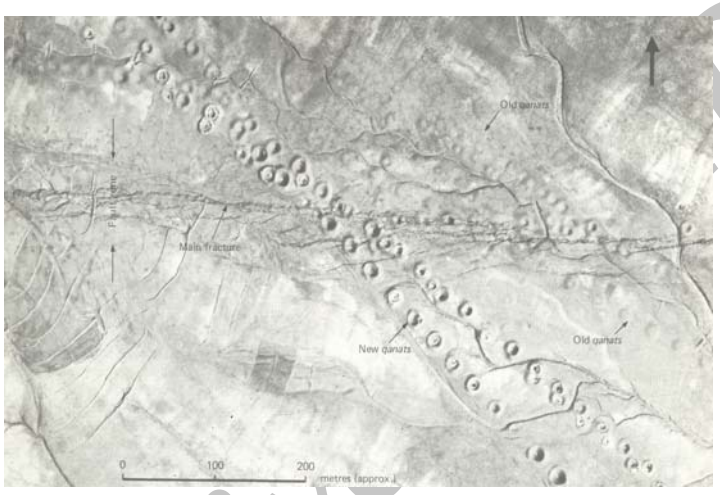
Archive of SID

www.SID.ir

گزارش شده است (مارکو، ۲۰۰۸).

در بیشتر مناطق ایران، اعم از کویری و کوهپایه‌ای، قنات‌هایی که از هزاران سال پیش در نزدیکی گسل‌ها حفر شده‌اند، بستری مناسب برای ثبت جابه‌جایی هایی گسلی و در نتیجه تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی فراهم آورده‌اند. تا آنجا که در دو پژوهش جداگانه دیرینه‌لرزه‌شناسی در ایران، هنگامی که آثار جابه‌جایی‌های گسلی در ترانشه‌های حفر شده قابل قبول و تفسیر نبود، جابه‌جایی روی قنات‌ها در نتیجه‌گیری نهایی مورد استناد و استفاده قرار گرفت (رجوع شود به دی مارتینی و همکاران، ۱۹۹۸؛ حسامی و همکاران، ۲۰۰۱).

گرچه تعداد اندکی از گسل های فعال جهان در تلاقی با محوطه‌های باستانی قرار دارند، اما اطلاعاتی که از بررسی آنها به‌دست می‌آید می‌تواند چشمگیر و جالب توجه باشد (نولر و لایتفوت، ۱۹۹۷).



شکل ۱. جابه‌جایی قنات‌ها نشان دهندهٔ فعال بودن زون گسلی فردوس در دوره های تاریخی است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲). علامت پیکان در گوشهٔ بالا سمت راست، جهت شمال را نشان می‌دهد.

شکل ۲. جابه‌جایی ۱ر۲ متری دیواری از دژ کروسادر (Crusader)، کرانهٔ خاوری مدیترانه. خط‌چین، محل اولیهٔ دیوار را نشان می‌دهد (مارکو، ۲۰۰۸).

Archive of SID

www.SID.ir

البته جابه‌جایی می‌تواند ناشی از عوامل دیگری غیر از فعالیت گسل در جریان رخداد یک زمین‌لرزه، مانند فرونشست تفاضلی (differential settlement)، یا زمین‌لغزش با منشاء لرزه‌ای یا غیر زمین‌لرزه‌ای باشد؛ و این در حالی است که جابه‌جایی زیربناها در اثر هریک از عوامل فوق می‌تواند کاملاً مشابه باشد (کارسز و کافری، ۱۹۷۸) (شکل ۳). بنابراین، پیش از شناسایی یک محوطه گسل‌خورده، مسیر گسل باید شناسایی شود.

۲-۱-۲ سقوط جهت یافتهٔ ستون‌ها

ستون‌های موجود در بناهای باستانی از تراشیدن قطعه‌سنگ‌های بزرگ به صورت یک تکه و یا از روی هم قرار دادن بلوک‌های استوانه‌ای شکل روی یکدیگر ساخته شده‌اند که در برخی موارد این قطعه‌های استوانه‌ای با وارد کردن یا قالب‌ریزی میله‌هایی (معمولاً از آهن و سرب مذاب) در حفره‌های میان آنها، به یکدیگر محکم شده‌اند. در برخی از محوطه‌های باستانی مجموعه‌ای از ستون‌ها یافت شده که همگی در یک جهت سقوط کرده‌اند (شکل ۴). این سقوط جهت یافتهٔ ستون‌ها می‌تواند ناشی از رویداد زمین‌لرزه باشد. البته باید توجه داشت که چنین عارضه‌ای ممکن است در اثر عوامل دیگری چون خسارت‌های ناشی از جنگ یا سرقت میله‌های موجود در داخل ستون‌های چندتکه نیز پدید آید (مارکو، ۲۰۰۸).

در ایران، سقوط ستون‌های معبد آناهیتا در کنگاور ممکن است ناشی از جنبش زمین‌لرزه‌ای روی قطعهٔ دینور–نهاوند از گسل اصلی عهد حاضر زاگرس (Zagros Main Recent Fault (ZMRF)) باشد (بربریان و ییتز، ۲۰۰۱) (شکل ۵). متأسفانه تجاوز به حریم این محوطهٔ باستانی، و سرقت و جابه‌جایی ستون‌های فرو افتاده، امکان تشخیص جهت‌یافتگی در سقوط آنها را ناممکن ساخته است.

شکل۳. نهر آب در اثر زمین‌لغزش زمین‌لرزه‌ای حدود ۱ متر به صورت چپ بر جابه‌جا شده است، ام الکناتیر، کرانهٔ خاوری مدیترانه (وچسلر و همکاران، ۲۰۰٤).

Archive of SID

www.SID.ir

شکل ٤. سقوط جهت یافتهٔ ستون‌های یک کلیسا مربوط به اواخر دورهٔ بیزانس در سوسیتا (Sussita)، کرانهٔ خاوری مدیترانه (سگال، ۲۰۰۷).

شکل ٥. سقوط ستون‌های سنگی معبد آناهیتا در کنگاور، کرمانشاه، ایران.

www.SID.ir

۲-۱-۳ ریزش دیوارها

دیوارهای مستحکمی که از کنار هم چیدن قطعه‌سنگ‌های بزرگ و یکپارچه ساخته شده‌اند، یکی از مشخصه‌های بناهای با شکوه باستانی هستند. ریزش چنین دیوارهایی نیازمند اثر نیروهای افقی است و درصورتی‌که لغزش بلوک‌ها و موقعیت نهایی آن‌ها خارج از آستانهٔ پایداری دیوار باشد، منجر به ریزش آن می‌شود (شکل ۶). زمین‌لرزه‌ها یکی از عواملی هستند که می‌توانند چنین نیروهای افقی را ایجاد کنند.

۲-۲ دگرریختی بقایای ساختمان‌ها که در جای خود باقی‌مانده‌اند

دستهٔ دیگری از شواهد باستان‌لرزه‌ای در بناهای باستانی، دگرریختی‌ها و خسارت‌هایی است که بر اثر رویداد زمین‌لرزه پدید آمده و در ویرانه‌ها به‌جای مانده‌اند ، اما منجر به فروریزش یا جابه‌جایی ساختارهای موجود در بناهای باستانی نشده‌اند. این شواهد را می‌توان در زیرگروه‌هایی که در پی می‌آید جای داد.

۲-۲-۱ ترک‌خوردگی عرضی (cross fissuring) در صفحهٔ قائم

این‌گونه ترک‌خوردگی‌ها که در اثر اعمال نیروهای برشی ایجاد می‌شود، عموماً هم‌زمان با جنبش زمین‌لرزه‌ای از گوشهٔ پنجره‌ها و درها آغاز شده و به سمت دیگر گوشه‌های ساختمان پیشروی می‌کند (شکل ۷).

۲-۲-۲ حرکت مستقل بلوک‌ها در دیوارها و سنگفرش‌ها

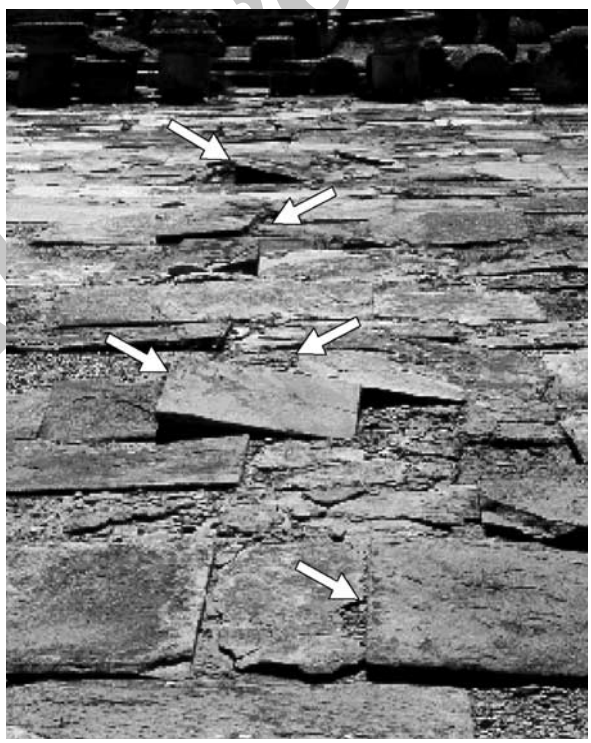
سنگفرش‌ها و دیوارهای ساخته شده از بلوک‌های سنگی بزرگ و یک شکل با مقطع مستطیلی را در بسیاری از بناهای با شکوه باستانی که همچنان پابرجا هستند می‌توان یافت که دیوار بزرگ چین نمونهٔ بارز آن است. نیروهایی که هنگام زمین‌لرزه‌های بزرگ وارد می‌شود، ممکن است موجب جابه‌جایی و چرخش بلوک‌های عظیم موجود در این دیوارها و سنگفرش‌ها شود. این نوع عارضه از معمول‌ترین نوع خسارت زمین‌لرزه‌ای در بناهای باستانی است که در ساختارهای یادشده به‌خوبی قابل رؤیت است (شکل ۸).

شکل٦. دیوارهای فروریختهٔ برج دیدبانی شمالی کل ات نیمرد (Kal'at Nimrod)، کرانهٔ خاوری مدیترانه (مارکو، ۲۰۰۸).

Archive of SID

www.SID.ir

شکل۷. شروع و پیشروی ترک‌خوردگی‌ها در گوشهٔ پنجره‌ها در بنایی به سبک رونسانس، روستای سن‌میشل، فرانسه (پرسولیوس و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل۸. بلوک‌های جابه‌جا شده در سنگفرش میدان بائلو کلودیا (Baelo Claudia)، روم باستان، جنوب اسپانیا (سیلوا و همکاران، ۲۰۰۵).

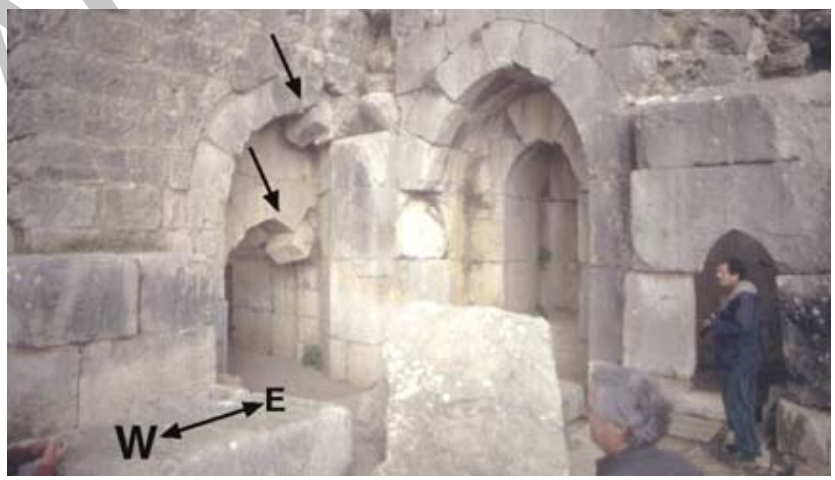
www.SID.ir

۲-۲-۳ فرولغزش بلوک‌ها در تاق‌های سنگی

تاق‌هایی که از بلوک‌های گوه‌ای شکل ساخته شده‌اند، یکی از ساختارهای رایج در بناهای باستانی هستند که معمولاً در ساخت دروازه‌ها، پنجره‌های بزرگ، پل‌ها، و گنبدها به کار رفته‌اند. در مناطق لرزه‌زده، تاق‌هایی که بلوک‌های موجود در آنها به سمت پایین لغزیده‌اند، فراوان یافت می‌شوند.

مشاهدات میدانی و مدل‌سازی‌ها روشن ساخته که چنانچه یک تاق به شکل متقارن با دیوارهای مشابه احاطه شده باشد، تنها سنگ سرتاق (keystone) به پایین می‌لغزد (شکل ۸) (بوثبای و همکاران، ۱۹۹۸؛ بلاسی و فورابوشی، ۱۹۹۴؛ سینوپولی و همکاران، ۱۹۹۷؛ دِ لوکا و همکاران، ۲۰۰۴)؛ درحالی‌که اگر تاقی با دیوارهای متفاوت احاطه شده باشد، ممکن است یک یا چند بلوک از آن به سمت پایین بلغزد (شکل ۹) (کامایی و هاتزور، در دست چاپ).

شکل ۹. سنگ سرتاق فرولغزیده در تاقی که به‌طور متقارن با دیوارها احاطه شده است (کامایی و هاتزور، در دست چاپ).



شکل ۱۰. بلوک‌ها در کناره تاق‌ها به سمت پایین لغزیده‌اند، کل ات نیمرد (Kal'at Nimrod) ، کرانهٔ خاوری مدیترانه (مارکو، ۲۰۰۸).

www.SID.ir

۲-۲-۴ کج‌شدگی و واپیچش کف و دیوار بناها

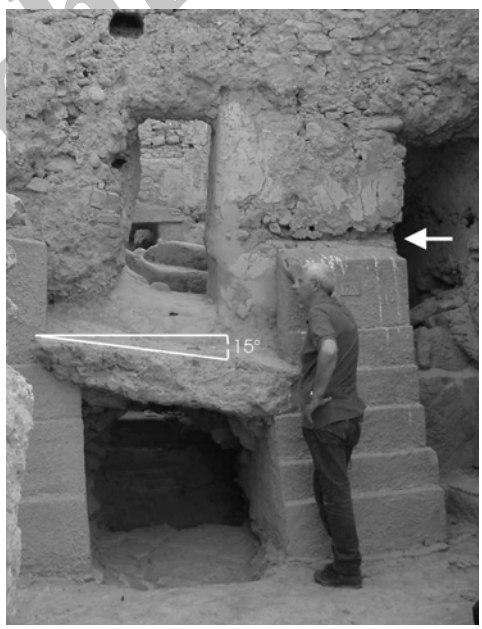
واپیچش دیوارها و کف بناها یکی دیگر از عوارضی هستند که در محوطه‌های باستانی فراوان یافت می‌شوند و ممکن است که منشاء زمین‌لرزه‌ای داشته باشند. البته در نسبت‌دادن این‌گونه عوارض به زمین‌لرزه‌ها، احتیاط لازم است، چراکه ممکن است عوامل دیگری چون فرونشست تفاضلی (differential settlement)، زمین لغزش یا کیفیت بد ساختمان نیز چنین آثاری از خود بر جای بگذارند. در کل، احتمال زمین‌لرزه‌ای بودن واپیچش ایجاد شده در کف و دیوار بناهایی که روی سنگ‌بستر بنا شده‌اند بیشتر است (شکل ۱۱).

۲-۲-۵ چرخش ستون‌ها یا اجزایی از ستون‌ها حول محورهای قائم

زمین‌لرزه‌ها همیشه منجر به سقوط و فروریزش ستون‌ها نمی‌شوند. گاه ممکن است که یک ستون یا بخش‌هایی از آن، حول محور قائم، دچار چرخش و جابه‌جایی شود (شکل ۱۲). با وجود این، برخی از این دگرشکلی‌ها که معمولاً پس از زمین‌لرزه‌های ویرانگر مشاهده می‌شوند می‌توانند منشاء غیرزمین‌لرزه‌ای نیز داشته باشند (کارسز و همکاران، ۱۹۷۷). بنابراین فقط یافتن یک نشانه (یا یک بنا در یک محوطه) نمی‌تواند تعیین‌کننده باشد (استیروس، ۱۹۹۶؛ مازور و کورجنکوف، ۲۰۰۱).

۲-۳ بقایای اجساد انسان‌ها و حیوانات

حضور اسکلت انسان‌ها و حیوانات در زیر آوار ویرانه‌ها را می‌توان نشانی از رخداد یک زمین‌لرزه دانست. برای مثال، در کاوش‌های باستان‌شناسی تپه سگزآباد در دشت قزوین، تعداد زیادی اسکلت کامل اما خرد شده از جانوران اهلی و خانگی کشف شده که پهلوبه‌پهلوی یکدیگر در زیر دیوارها مدفون شده‌اند. به احتمال قوی این جانوران در اثر رخداد یک زمین‌لرزه این‌گونه در زیر آوار گرفتار آمده‌اند (نگهبان، ۱۹۷۷). البته باید گفت که بقایای اجساد انسان‌ها در ویرانه‌های باستانی به ندرت یافت می‌شود، زیرا در اغلب موارد، نجات یافتگان اجساد قربانیان را از زیر آوار بیرون کشیده و با احترام و رعایت اصول تدفین به خاک سپرده‌اند (آمبرسیز، ۲۰۰۶).



شکل ۱۱. واپیچش کف اتاقی در طبقه دوم کاخ فایستوس مینوآن (Phaistos Minoan)، کریت (Crete)، یونان (موناکو و ترتریسی، ۲۰۰۴).

Archive of SID

www.SID.ir

شکل۱۲. چرخش و جابه‌جایی ستون‌ها حول محور قائم در هفایستئیون (Hephaisteion) (تسئیون (Theseion))، آتن، یونان (بوتاری، ۲۰۰۵).

۲-۴ ترک سکونت‌گاه‌ها

ترک سکونت‌گاه‌ها می‌تواند دلیلی بر وقوع بلایای طبیعی باشد. تپه قبرستان در دشت قزوین، تپه‌های گودین و گیان در منطقهٔ دینور–نهاوند، و تپه مارلیک در نزدیکی رودبار، همگی از جمله تپه‌های باستانی در مناطق لرزه‌خیز ایران هستند، که کاوش‌های باستان‌شناسی ترک ناگهانی سکونت در آنها را نشان می‌دهد (بربریان و ییتز، ۲۰۰۱). با وجود این، عدم ترک نکردن سکونت‌گاه‌ها نمی‌تواند نشانهٔ نبود رخداد فجایع طبیعی باشد، زیرا داده‌های باستان‌شناسی و اطلاعات تاریخی فراوانی وجود دارد که نشان‌دهندهٔ تمایل و پافشاری به سکونت در یک ناحیه، آن هم مستقل از بروز بلایای طبیعی، و عمدتاً بنا به دلایل راهبردی است (آمبرسیز ۱۹۷۱، ۲۰۰۵). برای نمونه، شهر قوچان واقع در منطقهٔ کپه‌داغ در شمال خاور ایران، طی پنج دهه، پنج زمین‌لرزهٔ بزرگ را از ۱۸۵۱ تا ۱۸۹۵ تجربه کرده است. گرچه پس از زمین‌لرزهٔ ۱۸۹۳، طرح‌هایی برای بازسازی قوچان در خارج از محدودهٔ بیشینه خسارت وجود داشت، اما شهر در جای قبلی خود باقی‌ماند تا در ۱۸۹۵ زمین‌لرزهٔ بزرگ دیگری آن را بار دیگر به کلی ویران کرد. البته پس از این زمین‌لرزه، شهر ۱۰ کیلومتر دورتر از جای قبلی خود، جایی که امروزه قرار دارد ساخته شد؛ اما با وجود این، همچنان در محدودهٔ بیشینه خسارت ناشی از زمین‌لرزه‌های ۱۸۹۳ و ۱۸۹۵ قرار دارد (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲؛ هولینگز ورث، ۲۰۰۶). بنابراین ترک کردن یا ترک نکردن یک سکونت‌گاه، به‌ویژه در غیاب سایر عوارض و نشانه‌ها، نمی‌تواند تعیین‌کننده و نتیجه‌بخش باشد.

۲-۵ بازسازی و مرمت

اصلاحات ساختاری و آثار بازسازی‌ها و مرمت‌هایی که در بناهای باستانی یافت می‌شوند، می‌توانند حاکی از رخداد زمین‌لرزه باشند. البته باز هم رابطه میان تعمیرات با اثر زمین‌لرزه باید با مجموعه‌ای از شواهد اثبات شود. با این حال، در برخی موارد رابطه میان زمین‌لرزه و تعمیرات

Archive of SID

www.SID.ir

واضح‌تر به نظر می‌رسد. استفاده از راه‌حل‌هایی برای مقابله با زمین‌لرزه در بازسازی‌ها، چون بهبود کیفیت مصالح، مقاوم‌سازی سازه‌ها با کاربرد حائل برای دیوارها، و افزایش چشمگیر اندازهٔ زیربنا از تدابیری است که در کاوش‌های باستان‌شناسی مشاهده شده است (استیروس، ۱۹۹۵؛ کرجنکف و مازور، ۱۹۹۹؛ هاینزن و شوته، ۲۰۰۳). در تاریخ آمده است که پس از زمین‌لرزهٔ ماه مه ۱۱۷۷ شهری- قزوین که منجر به فروریختن دیوار گلی شهر قزوین شد، فرماندار وقت دستور داد تا حتی بخش‌هایی از دیوار را که فرو نریخته بود بکوبند و سرتاسر دیوار را از نو با آجر بسازند (گلریز، ۱۳۳۷).

۳ تشخیص خسارت‌های زمین‌لرزه‌ای در آثار باستانی

از زمان آغاز پژوهش‌های باستان لرزه‌شناسی، بحث‌های گوناگونی دربارهٔ معیارهای تشخیص خسارت همالرزه‌ای (coseismic) از غیر لرزه‌ای (nonseismic) در بناهای باستانی در جریان بوده است. کارسز و کافری (۱۹۷۸) در این ارتباط دیدگاهی محافظه‌کارانه را برگزیده‌اند. به‌عقیده آنها فقط زمانی می‌توان خسارت مشاهده شده در محل یک سایت را دارای منشاء زمین‌لرزه‌ای دانست که بتوان همهٔ دلایل دیگر اعم از طبیعی و انسانی را منتفی دانست. بازبینی نقادانهٔ اغلب شواهدی که به لرزه‌خیزی در دورهٔ باستان نسبت داده شده‌اند، نشان داده است که تشخیص این عوارض از عوارض خسارت ناشی از ضعف سازه‌ها و اثرات نامطلوب ژئوتکنیکی، دشوار است (کارسز و کافری، ۱۹۷۸).

به منظور ارزیابی احتمال اثرات غیرلرزه‌ای، رپ (۱۹۸۶) پارامترهایی را برای تحلیل پیشنهاد کرد که عبارت‌اند از:

۱- ویژگی‌های مکانیکی مواد ساختمانی

۲- ماهیت و کیفیت ساختمان

۳- ویژگی‌های محوطهٔ باستانی شامل توپوگرافی، جنس خاک و زمین، و هیدرولوژی

۴- رژیم لرزه‌خیزی منطقه

۵- شواهد باستان‌شناسی برای نیروهای ویرانگر انسانی (destructive human forces)

پارامترهای مشابهی نیز برای ارزیابی خسارت‌های باستان‌شناسی (archaeologic damage) با کارسز و کافری (۱۹۷۸)، نیکونوف (۱۹۸۸)، استیروس (۱۹۸۸) و استیروس (۱۹۹۶) پیشنهاد شده است (مک کالپین، ۱۹۹۶). اما علاوه بر بررسی این پارامترها، روش‌هایی نیز برای پی‌بردن به ماهیت خسارت‌های ایجاد شده در بناهای باستانی وجود دارد که کاربرد هریک از آن‌ها در صورت امکان، می‌تواند راهگشا باشد.

۳-۱ ماتریس امکان (feasibility matrix)

نتایج برآوردهای باستان‌لرزه‌شناسی به دلیل صورت گرفتن بررسی‌ها از زوایای گوناگون علمی پیچیده‌اند و در عمل اثبات اینکه همهٔ مشاهدات الزاماً منشأ زمین‌لرزه‌ای دارند غیر ممکن است. به منظور ساماندهی تفسیر نتایج، هاینزن (۲۰۰۵) ماتریسی را با عنوان ماتریس امکان تعریف کرد. مفهوم ماتریس، امکان سازماندهی بحث و اجازهٔ عرضهٔ تدریجی نتایج را (به جای تصمیم‌گیری نهایی که اغلب مورد توجه است) دربارهٔ این که آیا عوارض یافت شده ناشی از زمین‌لرزه هستند یا نه، فراهم می کند. علاوه‌براین، ماتریس امکان پرسش‌هایی را که همچنان مطرح هستند و به بررسی‌های بیشتر نیاز دارند روشن می‌کند. در این ماتریس، مشاهدات، ستون‌ها و دلایل احتمالی، سطرها را تشکیل می‌دهند. این ماتریس با درجه‌بندی سادهٔ دلیل پیشنهاد شده در توصیف یک مشاهده، به سه درجهٔ ممکن، مشکوک، و نا ممکن، پر می‌شود (شکل ۱۲). بدین‌ترتیب، خانه‌هایی از ماتریس که ممکن بودن یک دلیل دینامیکی (زمین‌لرزه‌ای) را نشان می‌دهند با عدد (۱)، آنهایی که امکان دلایل غیرلرزه‌ای را نشان می‌دهند با عدد

Archive of SID

www.SID.ir

(۱-)، و موارد مشکوک و مورد سؤال با (۰) پر می‌شوند. نصف جمع مقادیر ماتریس، تقسیم بر تعداد خانه‌های ماتریس، به اضافهٔ ۵ر۰ عددی بین ۰ تا ۱ را به‌دست می‌دهد که به‌ترتیب نشانهٔ اثرات همالرزه‌ای کاملاً "غیرممکن" تا "بسیار محتمل" است.

۳-۲ سن‌یابی

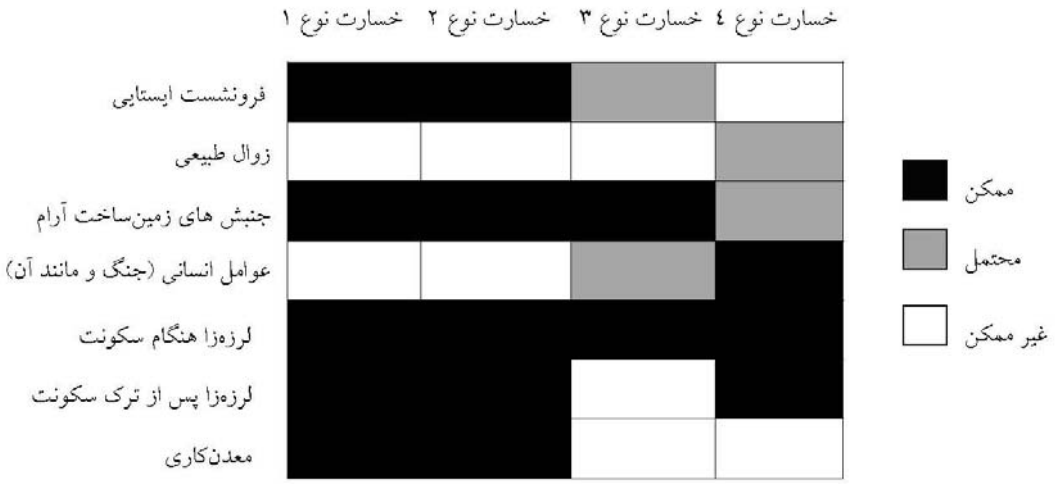
چنانچه نتایج سن‌یابی خسارت‌های موجود در محوطه‌های باستانی گوناگون در یک ناحیه (یا بناهای متفاوت آسیب دیده در یک محوطه) نشان دهد که این خسارت‌ها در بازهٔ زمانی مشخصی پدید آمده‌اند، آنگاه این امکان وجود دارد که بتوان از راه برقراری ارتباط و همبستگی میان این عوارض، و یا نسبت دادن آنها به یک زمین‌لرزهٔ تاریخی که زمان دقیق‌تر آن در نسخه‌ها یا روایات تاریخی آمده و در فهرست‌نامهٔ زمین‌لرزه‌های تاریخی موجود است، به منشأ زمین‌لرزه‌ای این خسارت‌ها پی‌برد (استیروس، ۱۹۹۶). البته برقراری ارتباط میان داده‌های باستان‌شناسی و اطلاعات تاریخی ممکن است با مشکلاتی روبه‌رو باشد (گالادینی و همکاران، ۲۰۰۶).

۳-۳ ریزپهنه‌بندی (microzoning) در محوطهٔ باستانی

اجرای ریزپهنه‌بندی این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان از راه بررسی ویژگی‌های چشمه‌های لرزه‌ای پیرامون یک محوطهٔ باستانی، مدل‌سازی جنبش زمین در محل آن، و نیز تعیین پاسخ سازه‌های موجود در آن، به مدلی از توزیع خسارت‌ها در آن محوطه دست یافت. بدیهی است که در صورت همخوانی مدل به دست آمده با آثار و شواهد موجود در محوطهٔ باستانی مورد بررسی، می‌توان به درستیِ فرضیهٔ زمین‌لرزه‌ای بودن خسارت‌ها پی‌برد (هاینزن، ۲۰۰۵).

۳-۴ باستان‌لرزه‌شناسی (منطقه‌ای (territorial))

تفاوت اصلی میان خسارت‌های ناشی از زمین‌لرزه و خسارت‌های مربوط به سایر عوامل طبیعی، در توزیع آنها است. زیرا زمین‌لغزش‌ها، فروریزش غارها، و جاری شدن سیل‌ها عموماً نواحی به مراتب کوچک‌تری را نسبت به زمین‌لرزه‌های بزرگ، تحت تأثیر قرار می‌دهند. بنابراین در صورت توزیع گستردهٔ خسارت‌ها در یک منطقه، امکان زمین‌لرزه‌ای بودن آن وجود دارد.



شکل ۱۲. نمونه‌ای از ماتریس امکان به صورت خلاصه‌ای از نتایج یک بررسی باستان‌لرزه‌شناسی. ستون‌های یک تا چهار، چهار خسارت مجزا و سطرهای یک تا هفت، دلایل ممکن برای هر خسارت را نشان می‌دهد. در برآوردهای بزرگ‌تر می‌توان تعداد سطرها و ستون‌ها را افزایش داد (گالادینی و همکاران، ۲۰۰۶).

Archive of SID

www.SID.ir

باستان لرزه‌شناسی منطقه‌ای همچنین می‌تواند امکان برآورد فراسنج‌های زمین‌لرزه چون شدت، بزرگی و شتاب را فراهم آورد. البته همان‌گونه که اشاره شد، این مهم نیازمند وجود توزیع گسترده‌ای از ویرانه‌ها در ناحیهٔ زلزله‌زده است. بدیهی است که کیفیت ویرانه‌های به‌جای مانده از زمین‌لرزه پس از گذشت سالیان باید به گونه‌ای باشد که بتوان منحنی‌های هم‌شدت و یا هم‌شتاب را با توجه به چگونگی توزیع آنها ترسیم کرد. با وجود این، در اغلب موارد به دلیل قدمت باستان‌زمین‌لرزه‌ها، اثر عوامل فرسایشی بر ویرانه‌ها، و یا ساخت‌وساز روی آنها، امکان برآورد قابلِ‌اعتماد فراسنج‌های زمین‌لرزه با استفاده از شواهد به جای مانده در آثار باستانی گسترهٔ لرزه‌خیز وجود ندارد.

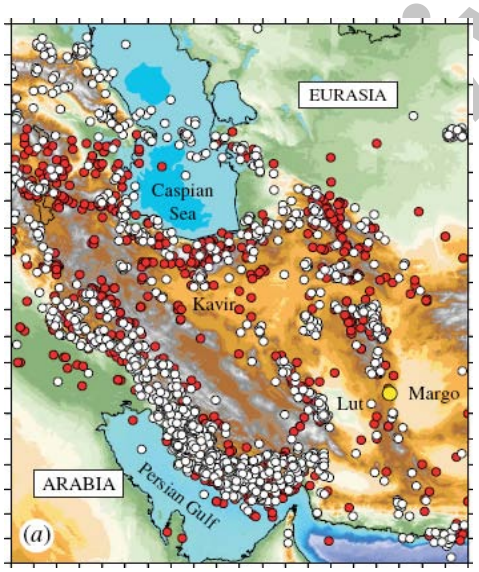
یکی از کاربردهای بالقوه برای باستان‌لرزه‌شناسی منطقه‌ای در ایران، دشت قزوین است. تا کنون بیش از ۲۰ تپه باستانی مربوط به دوره‌های پیش از تاریخ در گسترهٔ دشت قزوین شناسایی شده‌اند که بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد تعدادی از آنها به‌طور هم‌زمان با تپهٔ باستانی سگزآباد مورد سکونت قرار داشته‌اند (فاضلی، ۱۳۸۵). بنابراین روشن است درصورتی‌که شواهدی مشابه با آنچه در تپه سگزآباد شناسایی شده است (بقایای اجساد حیوانات مدفون در زیر آوار) در دیگر تپه‌های باستانی معاصر آن یافت شود، منشاء زمین‌لرزه‌ای این رویدادها بسیار محتمل خواهد بود.

۴ کاربرد باستان‌لرزه‌شناسی در ایران

قرار گرفتن روی کمربند لرزه‌خیز آلپ–هیمالیا، وجود آثار و بناهای تاریخی فراوان، و همچنین وجود منابع تاریخی غنی، سه عامل مهمی هستند که از ایران بستری بسیار مناسب برای اجرای پژوهش‌های باستان‌لرزه‌شناسی فراهم آورده‌اند.

۴-۱ لرزه‌خیزی ایران

نگاهی به نقشهٔ رومرکز زمین‌لرزه‌ها در ایران، به‌روشنی نشان می‌دهد که ایران، کشوری لرزه‌خیز است و اغلب مناطق آن زمین‌لرزه‌های بزرگی را در طول تاریخ خود تجربه کرده‌اند. لرزه‌خیزی در ایران ناشی از حرکت شمال‌سوی صفحهٔ عربستان در جنوب غرب به سمت صفحهٔ پایدار اوراسیا در شمال خاور است، که این باعث تجمع تنش در پوستهٔ ایران می‌شود. عمدهٔ این تنش با رخداد زمین‌لرزه‌ها در دو کمربند کوهستانی البرز و زاگرس، که به‌ترتیب لبهٔ شمالی و جنوبی کمربند لرزه‌خیز آلپ–هیمالیا در ایران را تشکیل می‌دهند، آزاد می‌شود. تراکم زیاد جمعیت در دامنه‌های خوش آب‌وهوای البرز و زاگرس موجب افزایش تلفات جبران ناپذیر انسانی در این مناطق شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت سابقهٔ لرزه‌خیزی برای برآورد خطر زمین‌لرزه، صورت گرفتن تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی به‌منظور افزایش آگاهی دربارهٔ زمین‌لرزه‌های باستانی در ایران، ضروری است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. زمین‌لرزه‌های فلات ایران. نقاط سفید رومرکز زمین‌لرزه‌های بزرگ‌تر از ٤ در بازهٔ زمانی ۲۰۰۲–۱۹٦۳ را از فهرست‌نامهٔ انگدال (۱۹۹۸) نشان می‌دهد. نقاط سرخ زمین‌لرزه‌های با بزرگی احتمالی بیشتر از ۵ را طی هزار سال گذشته را بر گرفته از آمبرسیز و ملویل (۱۹۸۲)، نشان می‌دهد (جکسون، ۲۰۰٦).

Archive of SID

www.SID.ir

۴-۲ وجود بناهای باستانی در ایران

ایران‌زمین سرزمینی کهن با پیشینهٔ تاریخی طولانی است. تحقیقات باستان‌شناسی نشان می‌دهد که دشت‌های فلات ایران به دلیل شرایط مساعد آب‌وهوایی و خاک حاصل‌خیز از نخستین مناطق استقرار و یک‌جانشینی بشر بوده‌اند که از آن جمله می‌توان به دشت‌های قزوین و تهران در شمال مرکزی فلات ایران اشاره کرد (فاضلی، ۱۳۸۵). این یک‌جانشینی‌ها با ساخت و توسعهٔ سازه‌هایی هر چند ساده و ابتدایی در قالب سکونت‌گاه‌ها همراه بوده است. همچنین، رشد و شکوفایی تمدن در ایران، همچون دیگر سرزمین‌های باستانی با پیشینهٔ تاریخی قابل قیاس، با ساخت بناهای باشکوه معماری همراه بوده است. از جمله سازه‌های باستانی بنا شده در قلمرو ایران پیش از اسلام، می‌توان از زیگورات‌ها، کاخ‌ها، پرستش‌گاه‌ها، و آتشکده‌ها نام برد. پس از ظهور اسلام نیز، معماری ایرانی در قالب اسلامی، در ساخت مساجد و بقاع متبرکه و عمارت‌های شاه‌نشین جلوهٔ دیگری از خود به نمایش گذاشت. بنابراین، ایران به‌لحاظ دارا بودن بناهای باستانی و تاریخی که به نوعی نقش لرزه‌نگار را در مطالعات باستان‌لرزه‌شناسی ایفا می‌کنند، از پتانسیل ویژه‌ای برخوردار است.

۴-۳ اطلاعات تاریخی

اطلاعات مربوط به زمین‌لرزه‌های تاریخی ایران در مقایسه با دیگر نقاط جهان کم‌نظیر است. این کیفیت ممتاز داده‌ها به دو دلیل عمده است. نخست آنکه زمین‌لرزه‌ها به‌مثابهٔ یکی از مصیبت‌بارترین بلایای طبیعی که اغلب اثرات گسترده و جبران‌ناپذیری بر جوامع بشری داشته‌اند، همواره از جایگاه ویژه‌ای در گزارش‌های تاریخی برخوردار بوده‌اند، و در واقع زمین‌لرزه‌های بزرگ در هر سرزمین، در زمرهٔ رویدادهای مهم تاریخی در سرگذشت مردمان آن سرزمین به شمار می‌آیند. این اهمیت برای ایران به‌منزلهٔ کشوری لرزه‌خیز، دوچندان است. دیگر آنکه، تاریخ‌نگاری در ایران، به‌ویژه پس از اسلام، از جایگاه مهمی برخوردار بوده است. تا آنجا که حتی بسیاری از حاکمان محلی، هرچند که قلمرو حکومتشان محدود بود، کسی را به سِمَت تاریخ‌نگار در دستگاه خود منصوب می‌کردند. به همین دلیل، حجم نسخه‌ها و روایات معتبر تاریخی در ایران در مقایسه با دیگر مناطق جهان کم‌نظیر است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲). بدیهی است که این داده‌های با کیفیت تاریخی می‌توانند ضمن ایجاد امکان مقایسه میان نتایج حاصل از تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی و اطلاعات تاریخی، نقش مبنا و راهنما را برای به انجام رساندن تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی در ایران ایفا کنند. ظرفیتی که در دیگر مناطق دنیا کمتر یافت می‌شود.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پی‌بردن به زمان، مکان و بزرگی زمین‌لرزه‌ها درحکم نتایج مستقیم پژوهش‌های باستان‌لرزه‌شناسی برای زلزله‌شناسان و باستان‌شناسان از اهمیت فراوانی برخوردار است. از دیدگاه زلزله‌شناسی مشخصه‌های یاد شده برای برآورد خطر زمین‌لرزه و تعیین دورهٔ بازگشت زمین‌لرزه‌ها ضروری است. همچنین، باستان‌لرزه‌شناسی با فراهم کردن داده‌های تاریخی جدید، به تکمیل فهرست‌نامهٔ موجود زمین‌لرزه‌های تاریخی کمک می‌کند. روشن است که افزایش آگاهی نسبت به سابقهٔ لرزه‌خیزی، به کاهش عدم قطعیت‌ها در برآورد خطر زمین‌لرزه می‌انجامد که بسیار حائز اهمیت است.

به‌لحاظ باستان‌شناسی نیز پی‌بردن به دلایلی چون توقف سکونت در یک ناحیه، کوچ ناگهانی اقوام و ملت‌ها از یک سرزمین و نیز یافتن توضیحی برای شواهد موجود در ویرانه‌های باستانی، همگی از جمله مواردی است که پاسخ آنها را در تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی می‌توان جست‌وجو کرد.

Archive of SID

www.SID.ir

با وجود این، همان‌گونه که در جای‌جای این مقاله نیز اشاره شد، باستان‌لرزه‌شناسی یک زمینهٔ تحقیقاتی نوپا و رو به رشد است. فرایند پیچیدهٔ بررسی یک رویداد باستان‌لرزه‌ای و لزوم بررسی شواهد آن از دیدگاه‌های گوناگون، نشان می‌دهد که تحلیل‌های باستان‌لرزه‌شناسی قابل اتکا، مستلزم همکاری مجموعه‌ای از متخصصان در علوم مرتبط است، که گردآوری همهٔ آنها در یک گروه همیشه آسان نیست.

با وجود تلاش‌های صورت گرفته برای دسته‌بندی شواهد باستان‌لرزه‌ای و شیوه‌های پیشنهاد شده برای تشخیص زمین‌لرزه‌ای بودن آنها، هنوز روش بررسی مدونی در به انجام رساندن تحقیقات باستان‌لرزه‌شناسی وجود ندارد، که این با توجه به گسترش باستان‌لرزه‌شناسی، ضرورت برنامه‌ریزی و تدوین یک راهبرد هدفمند را بیش‌ازپیش یادآور می‌شود.

کشور باستانی ایران از یک سو از ظرفیت ممتازی برای اجرای پژوهش‌های باستان‌لرزه‌شناسی برخوردار است و از سوی دیگر تاکنون تحقیق چشمگیری در این زمینه در آن عملی نشده است. بنابراین، بستر بسیار مناسبی برای پژوهش‌های باستان‌لرزه‌شناسی در ایران فراهم است و رسیدن به جایگاهی شایسته در این رشتهٔ نوپا هدفی است که در پرتو بهره‌گیری از همکاری‌های بین‌المللی کاملاً دست یافتنی است.

سپاسگزاری

از حسن توجه و دقت نظر داوران محترم که با طرح پیشنهادهای سازندهٔ خود به ارتقای سطح علمی این مقاله افزودند، قدردانی می‌شود.

منابع

فاضلی، ح.، ۱۳۸۵، باستان‌شناسی دشت قزوین از هزارهٔ ششم تا هزارهٔ اول قبل از میلاد. انتشارات دانشگاه تهران، ۲۰۸۱.

گلریز، م. ع.، ۱۳۳۷، مینو دریا باب الجنته قزوین. انتشارات دانشگاه تهران، ص ۴۶۷.

Ambraseys, N. N., 1971, Value of historical records of earthquakes. Nature, **232**, 375–379.

Ambraseys, N. N. and Melville, C. P., 1982, A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press, London.

Ambraseys, N. N., 2006, Earthquakes and archaeology. Journal of Archaeological Sciences, **33**, 1008–1016.

Berberian, M. and Yeats, R., 2001, Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian Plateau. Journal of Structural Geology, **23**, 563-584.

Blasi, C. and Foraboschi, P., 1994, Analytical approach to collapse mechanisms of circular masonry arch. ASCE Journal of Structural Engineering, **120**, 2288–2309.

Bottari, C., 2005, Ancient Constructions as Markers of Tectonic Deformation and Strong Seismic Motions. Pure and applied geophysics, **162**, 761–765.

Boothby, T. E., Domalik, D. E. and Dalal, V. A., 1998, Service load response of masonry arch bridges. ASCE Journal of Structural Engineering, **124**, 17–23.

De Luca, A., Giordano, A. and Mele, E., 2004, A simplified procedure for assessing the seismic capacity of masonry arches. Engineering Structures, **26**, 1915–1929.

De Martini, P. M., Hessami, K., Pantosti, D., D'Addezio, G., Alinaghi, H. and Ghafory-Ashtiani, M., 1998, A geologic contribution to the evaluation of the seismic potential of the Kahrizak fault (Tehran, Iran). Tectonophysics, **287**, 187- I99.

Ellenblum, R., Marco, S., Agnon, A., Rockwell, T. and Boas, A., 1998, Crusader castle torn apart by earthquake at dawn, 20 May 1202. Geology, **26**, 303–306.

Galadini, F., Hinzen, K. G. and Stiros, S., 2006, Archaeoseismology: Methodological issues and procedure. Journal of Seismology, **10**, 395–414.

Guidoboni, E., 1996, Archaeology and historical seismology: the need for collaboration in the Mediterranean area. In: Stiros, S., Jones, R., E., (eds.) Archaeoseismology. British School at Athens, Fitch Laboratory Occasional Paper **7**, 7-13.

Hessami, K., Pantosti, D., Tabassi, H., Shabanian, E., Abbassi, M. R., Feghhi, K. and Solaymani,

Archive of SID

www.SID.ir

Negahban, E. O., 1977, Report of Preliminary excavations at Tapeh Sagzabad in the Qazvin plain. Marlik, Journal of the Institute and Department of Archaeology, 2, Faculty of Letters and Humanities, Tehran University, pp. 26 and 45 (in Persian and English).

Nikonov, A. A., 1988, On the methodology of archaeoseimic research into historical monuments. In: Marinos PG, Koukis GC (eds.) The engineering geology of ancient works, monuments and historical sites, preservation and protection. Procedure of an International Symposium organized by the Greek National Group of IAEG, Athens Sept. 19–23 1988. Rotterdam, The Netherlands, 1315–1320.

Noller, J. S. and Lightfoot, K. G., 1997, An archaeoseismic approach and method for the study of active strike–slip faults. Geoarchaeology, **12**, 117–135.

Poursoulis, G., Levret, A., Lambert, N., Rideaud, A. and Helly, B., 2006, The 1708 Manosque earthquake (France): A reading of its archaeological traces as a contributionto estimate the effects on buildings. Journal of Seismology, **10**, 511–526.

Rapp, G., 1986, Assessing archaeological evidence for seismic catastrophes. Geoarchaeology, **1**, 365–379.

Schmidt, A., Horsley, T. and Fazeli, H., 2005, Tepe Ghabristan: A Chalcolithic Tell Buried in Alluvium. 6th International Conference on Archaeological Prospection, Rome.

Segal, A., 2007, The Churches of Sussita. Interim Report at the End of Seven Excavation Seasons (2000–2006).

Silva, P. G., Borja, F., Zazo, C., Goy, J. L., Bardají´, T., De Luque, L., Lario, J. and Dabrio, C. J., 2005, Archaeoseismic record at the ancient Roman City of Baelo Claudia (Ca´diz, south Spain). Tectonophysics, **408**, 129– 146.

Sinopoli, A., Corradi, M. and Foce, F., 1997, Modern formulation for pre-elastic theories on masonry arches. Journal of Engineering Mechanics-Asce, **123**, 204–213.

Stiros, S. C., 1988, Archaeology – A tool to study active tectonics. EOS **69**, 1633–1639.

Stiros, S. C., 1995, Archaeological evidence of antiseismic constructions in antiquity. Annals of Geophysics, **35**, 725–736.

Stiros, S. C., 1996, Identification of earthquakes from archaeological data: methodology, criteria and limitations. In: Stiros S, Jones RE (eds.) Archaeoseismology. British School at S., 2003, Paleoearthquakes and slip rates of the North Tabriz Fault, NW Iran: preliminary results. Annals of Geophysics, **46**, 903-915.

Hinzen, K. G., 2005, The use of engineering seismological models to interpret archaeoseismological findings in Tolbiacum, Germany: A case study. Bulltin of Seismological Society of America, **95**, 521–539.

Hinzen, K. G., Schütte, S., 2003, Evidence for earthquake damage on Roman buildings in Cologne, Germany. Seismological Research Letters, **74**, 124–140.

Hollingsworth, J., 2006, Active tectonics of NE Iran. PhD Thesis, Cambridge University.

Jackson, J., 2006, Fatal attraction: living with earthquakes, the growth of villages into megacities, and earthquake vulnerability in the modern world. Philosophical Transactions of the Royal Society, A **364**, 1911–1925.

Kamai, R., Hatzor, Y., H., in press. Numerical analysis of block displacements in ancient masonry structures, a new method to estimate historic ground motions: International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics.

Karcz, I., Kafri, U., 1978, Evaluation of supposed archaeoseismic damage in Israel. Journal of Archaeological Sciences, **5**, 237–253.

Karcz, I., Kafri, U. and Meshel, Z., 1977, Archaeological evidence for Subrecent seismic activity along the Dead Sea–Jordan Rift. Nature, **269**, 234–235.

Korjenkov, A. M. and Mazor, E., 1999, Earthquake characteristics reconstructed from archaeological damage patterns: Shivta, the Negev Desert, Israel. Israeli Journal of Earth Sciences, **48**, 265–282.

Marco, S., 2008, Recognition of earthquake-related damage in archaeological sites: Examples from the Dead Sea fault zone. Tectonophysics,doi:10.1016/j.tecto.2007.04.011

McCalpin, J., 1996, Paleoseismology. Academic Press, San Diego.

Monaco, C. and Tortorici, L., 2004, Faulting and effects of earthquakes on Minoan archaeological sites in Crete (Greece). Tectonophysics, **382**, 103– 116.

Mazor, E. and Korjenkov, A., 2001, Applied archaeoseismology: Decoding earthquake parameters recorded in archaeological ruins. In: Krasnov B, Mazor E (eds.) The Makhteshim Country: laboratory of nature. Pensoft, Sofia, Moscow, 123–153.

Archive of SID

www.SID.ir

Athens, Fitch Laboratory Occasional Paper 7, 129–152.

Wechsler, N., Marco, S. and Zingboim, O., 2004, An earthquake-induced landslide offset an archaeological site near the Sea of Galilee, Dead Sea Transform. In: Schilman, B., Harlavan, Y., Hamiel, Y., Calvo, R., (Eds.), Israel Geological Society Annual Meeting, Hagoshrim.

Archive of SID

www.SID.ir