

# داده‌های مقدماتی از حفاری‌های دیرینه لرزه‌شناسی بر روی گسل آستانه

نوشته: محمد علی شکری\*، منوچهر قرشی\*\*، حمید نظری\*\*\*، رضا سلامتی\*\*\*، مرتضی طالبیان\*\*\*\*،  
ژان فرانسوا ریتز\*\*\*\*، حسین محمدخانی\*\*، مجید شاه پسندزاده\*\*\*\*

\*دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران  
\*\*پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور- تهران، ایران  
\*\*\*سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران  
\*\*\*\*آزمایشگاه علوم زمین مونت‌پلیه، دانشگاه مونت‌پلیه II، مونت‌پلیه، فرانسه  
\*\*\*\*\*پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

## Preliminary Results of Paleoseismologic Trenching along the Astaneh Fault

By: M. Shokri\*, M. Ghorashi\*\*, H. Nazari\*\*\*, R. Salamati\*\*\*, M. Talebian\*\*\*\*, J.-F. Ritz\*\*\*\*, H. Mohammad khani\*\*, M. Shahpasand zadeh\*\*\*\*\*

\*North Tehran branch, Azad University, Tehran, Iran  
\*\*Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran  
\*\*\*Geological Survey of Iran, Tehran, Iran  
\*\*\*\*Laboratoire Geosciences Montpellier-Universite' Montpellier II, Montpellier, France  
\*\*\*\*\*International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۱/۱۳

### چکیده

گسل آستانه با درازای بیش از ۷۵ کیلومتر در شمال باختری دامغان قرار دارد. مطالعات ریخت‌زمین‌ساختی در راستای آن نشان می‌دهد که رسوبات کواترنری به‌طور آشکار و به‌صورت چپ بر توسط گسل بریده شده‌اند، که خود دلیلی بر فعال بودن آن است. قرارگیری گسل آستانه در محدوده لرزه‌ای، زمین‌لرزه تاریخی کومس با بزرگی  $M_s=7.9$  (Ambraseys & Melville, 1982) و همچنین نزدیکی آن با شهر دامغان که بیشترین کشته (بیش از ۴۵۰۰۰ نفر) را در اثر زمین‌لرزه کومس داشته، انجام پژوهش‌هایی را برای شناسایی گذشته لرزه‌ای گسل آستانه ایجاب می‌نماید. در این نوشتار، گزارشی از شناسایی ۴ تا ۵ رخداد زمین‌لرزه‌ای کهن، با انجام پژوهش‌های دیرینه لرزه‌شناسی بر روی گسل آستانه ارائه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** دیرینه لرزه‌شناسی، زمین‌لرزه تاریخی، ریخت‌زمین‌ساخت، رخداد کهن، دامغان

### Abstract

The Astaneh fault with a length of more than 75 km is located in NW of Damghan. Morphotectonic investigation along the Astaneh fault and left - lateral displacement in quaternary deposits shows that, Astaneh is an active fault. It is necessary to recognize paleoseismicity of Astaneh fault because, this fault is located in seismic zone of Komes historical earthquake with  $M_s=7.9$  (Ambraseys & Melville, 1982). Many people (more than 45000) were killed in Damghan city in Komes historical earthquake. In this paper, 4-5 paleo events along the Astaneh fault are presented through paleoseismological investigation.

**Key words:** Paleoseismology, Historical earthquake, Morphotectonics, Paleo-event, Damghan

## مقدمه

از قفقاز کوچک در جمهوری‌های ارمنستان و آذربایجان در باختر تا کوه‌های پاراپامپسوس در شمال افغانستان در خاور، کشیده شده‌اند. ساختارهای آن بیشتر چین‌های ملایم و ناهماهنگی با امتداد خاوری-باختری هستند. در بخش باختری امتداد کلی، شمال باختری - جنوب خاوری و در بخش خاوری، شمال خاوری - جنوب باختری است. البرز مرکزی محل همگرایی این دو امتداد است. آتشفشان دماوند نیز در محل این برخورد یعنی در البرز مرکزی قرار دارد. دو بخش شمالی و جنوبی البرز از دید زمین‌شناختی و چینه‌شناختی نیز متفاوت هستند. خط تقسیم آب دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز مرز جدایش البرز شمالی و البرز جنوبی است. پیشینه نوزمین ساخت البرز مرکزی را می‌توان به دو مرحله مجزا تقسیم کرد. اولین مرحله در میوسن اتفاق افتاد که در آن فشاری شمالی-جنوبی بین بلوک ایران مرکزی و حوزه خزر جنوبی چیره شد. در مرحله دوم در پلیوسن-کواترنری، کوتاه‌شدگی مایلی با جهت تقریبی شمال-خاور تا باختر-خاور ساختارهای البرز مرکزی را تحت تأثیر قرار داد که می‌توان آن را به صورت یک کوتاه‌شدگی و برش چپ‌گرد دانست (Allen et al., 2003).

گسل‌های البرز مرکزی، بویژه در دامنه‌ها از نوع کوهپایه‌ای و سازنده پستی و بلندی‌ها هستند. بیشتر آنها یا فشاری و یا مؤلفه بزرگ فشاری دارند. گسل‌های فشاری از گسل‌های کششی و امتدادلغز پرتوان‌تر و با دوره بازگشت طولانی‌تر و بنابراین قادر به ایجاد زلزله‌های مخرب‌تری هستند. با وجود ارتفاع به نسبت زیاد البرز، بی‌هنجاری گرانی بیانگر اندازه‌های منفی، بازتابی از نازک‌شدگی پوسته و آشفتگی هم‌ایستایی آن است. مطالعات نشان می‌دهد که میانگین ژرفای ناپیوستگی موهو در حدود ۳۵ کیلومتر برای البرز و ۴۳ کیلومتر در حوالی تهران است (اشتری جعفری، ۱۳۸۶). در حالی که رجایی (۱۳۸۶) ژرفای ناپیوستگی موهو را ۵۰ کیلومتر در نظر گرفته است. محاسبات با استفاده از اندازه‌گیری‌های GPS در البرز مرکزی نشان‌دهنده دگرشکلی  $2 \pm 5$  میلی‌متر در سال در ۱۰۰ کیلومتر است (Vernant et al., 2004).

حد جنوبی البرز چندان روشن نیست. گسل تبریز (Alavi, 1991)، آنتی البرز (Rivier, 1941)، گسل گرمسار (بربریان، ۱۳۷۵)، گسل سمنان (نبوی، ۱۳۵۵) و گسل عطاری (Alavi Naini, 1972)، مرز جنوبی البرز دانسته شده‌اند. ولی چنین به نظر می‌رسد که مرز شاخصی در مرز جنوبی البرز وجود نداشته باشد و گذر از پهنه ایران مرکزی به پهنه البرز تدریجی باشد (آقائباتی، ۱۳۸۳). بربریان و همکاران (۱۳۷۵)، گسل آستانه را در کنار گسل‌های مشا و فیروزکوه مرز بین ایالت زمین‌ساختی البرز شمالی و جنوبی قرار داده‌اند (شکل ۱). گسل آستانه با راستای چیره شمال خاوری-جنوب باختری، درازای رودخانه آستانه را در ۲۵ کیلومتری شمال باختری شهر دامغان می‌پیماید و از نظر زمین‌شناسی بین نهشته‌های دولومیتی و آهکی

گسل پویای آستانه با روند شمال خاوری-جنوب باختری در بخش خاوری البرز مرکزی قرار دارد. این گسل، نخستین بار توسط بربریان (۱۳۶۳)، در باختر روستای آستانه (شمال باختری دامغان) در مجاورت جاده آستانه - فولاد محله به صورت دو گسل موازی در کنار هم و با ذکر نشانه‌هایی از برش چپ‌بر در رسوبات آبرفتی کواترنری، با درازایی بیش از ۷۵ کیلومتر در جنوب باختری آستانه و چشمه‌علی شناسایی و معرفی شد. وی سازوکار گسل آستانه را راندگی با مؤلفه راستالغز چپ‌بر اعلام کرد. بربریان و قرشی (۱۳۶۷) ویرانی دژ فولاد محله و نیز رویداد زمین‌لرزه ۲۲ دسامبر ۸۵۶ میلادی کومس با بزرگی  $M_s=7.9$  را با احتمال جنبش گسل آستانه مرتبط دانسته‌اند. سعیدی و اکبرپور (۱۳۷۱) در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر بخشی از این گسل را که در ورقه یاد شده قرار می‌گیرد، یک گسل کواترنری راستالغز راست‌بر معرفی کرده‌اند. امید (۱۳۸۰)، سازوکار آن را راستالغز چپ‌بر دانسته است. Jackson et al. (2002) نیز سازوکار این گسل را راستالغز چپ‌بر معرفی کرده‌اند. عباسی (۱۳۸۱)، سازوکار راستالغز راست‌گرد را برای آن در نظر گرفته است. Nazari (2006)، نیز بر سازوکار راستالغز چپ‌بر به همراه مؤلفه عادی اعتقاد دارد.

این پژوهش که ارائه ابتدایی از دستاوردهای پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی در گستره گسل آستانه است، در قالب بخش کوچکی از سری مطالعات دیرینه‌لرزه‌شناسی در حال اجرای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در پهنه البرز مرکزی است که در آن، ضمن پرداختن به ویژگی‌های ساختاری و سازوکار گسل آستانه، احتمال همبستگی رویدادهای ثبت شده تاریخی (چون رخداد زمین‌لرزه ۸۵۶ کومس) با دیرینه‌لرزه‌های به‌دست آمده بر اساس پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی بر روی گسل یاد شده است. با وجود برش آشکار گسل آستانه در رسوبات کواترنری، آیا می‌توان زمین‌لرزه تاریخی مشخصی را به آن نسبت داد؟ با توجه به نزدیکی آن به گستره رویداد لرزه‌ای زمین‌لرزه تاریخی ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس با بزرگی  $M_s=7.9$  (Ambraseys & Melville, 1982)، آیا رخداد زمین‌لرزه ویرانگر کومس، با جنبش گسل آستانه مربوط بوده است؟ دیرینه‌لرزه‌شناسی به‌عنوان رابطی بین پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی - نوزمین‌ساخت و لرزه‌شناسی، می‌تواند پاسخگوی این پرسش‌ها باشد، اگرچه پاسخ به همه پرسش‌های موجود در گرو نتایج سن‌سنجی به روش‌های کربن ۱۴ و لومینسانس خواهد بود که در اندازه این نوشتار نمی‌گنجد.

## زمین‌شناسی و جایگاه زمین‌ساختی گسل آستانه در البرز مرکزی

کوه‌های البرز در شمال ایران به شیوه‌ای خمیده با درازایی حدود ۲۰۰۰ کیلومتر

است. که از جمله آنها می‌توان به نوشته‌هایی چون سفرنامه‌ها، دست‌نوشته‌ها، اشعار و... اشاره کرد، که از نسل‌های پیشین تا کنون به ما رسیده‌اند. از این منابع، تا آنجا که ارزش آنها به‌عنوان داده مه‌لرزه‌ای مربوط می‌شود، گردآوری و استفاده می‌شود.

با توجه به اسناد و مدارک تاریخی موجود، دو زمین‌لرزه تاریخی منسوب به گسل آستانه موجود است که یکی زمین‌لرزه تاریخی و ویرانگر کومس با بزرگی  $M_s=7.9$  (Ambraseys & Melville, 1982) و حدود ۲۰۰۰۰۰ کشته در ایالت کومس (سمنان، دامغان، بسطام، شاهرود و...) بوده است (شکل ۴). بر اثر این زمین‌لرزه و بر اساس اسناد موجود، شهر دامغان بیشترین خسارت را در مقایسه با شهرهای همجوار داشته است به طوری که بیش از نیمی از شهر ویران شد و نزدیک به ۴۵۰۰۰ تن از مردم شهر کشته شدند. نوشتارهایی که در مورد زمین‌لرزه ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس در دست است، به‌طور خلاصه در جدول ۱ آورده شده است (البته نقش گسل دامغان را نیز نمی‌توان در رخداد این زمین‌لرزه نادیده گرفت). دیگری زمین‌لرزه تاریخی ۱۱۰۲ میلادی است که در آن، گردکوه در منطقه دامغان شاهد رویداد زمین‌لرزه‌ای بود که بر اثر آن، شمار اندکی از خانه‌ها ویران شد؛ ساختمان‌های همگانی شکاف برداشت اما تلفات انسانی در بر نداشت. زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگاهی رخ داده در گستره البرز مرکزی در شکل ۵ نشان داده شده است.

### دیرینه لرزه‌شناسی

دیرینه‌لرزه‌شناسی مطالعه زمین‌لرزه‌های گذشته و در واقع مطالعه مکان و زمان و اندازه زمین‌لرزه‌های کهن (پیش از تاریخ) است. بنابراین، در مقایسه با زلزله‌شناسان که داده‌های ثبت شده توسط دستگاه‌های لرزه‌نگاری را مطالعه می‌کنند، دیرینه‌لرزه‌شناسان آن دسته از شواهد زمین‌شناختی را تفسیر می‌کنند که توسط زمین‌لرزه‌های مجزای دیرینه خلق شده‌اند. همچنین در مقایسه با نوزمین‌ساخت، که به مطالعه عمومی حرکات آرام و یا سریع پوسته زمین در طی سنوزویک پسین می‌پردازد، دیرینه‌لرزه‌شناسی علمی است که منحصرأً به مطالعه دگرشکلی‌های رسوبی سطحی زمین به هنگام وقوع زمین‌لرزه می‌پردازد. بنابراین، این روش دقیق و متمرکز که دیرینه‌لرزه‌شناسی خوانده می‌شود، امکان مطالعه و بررسی توزیع مکانی و زمانی زمین‌لرزه‌های تاریخی را تا گذشته‌های دور فراهم می‌کند. چنین تاریخ طولانی از زمین‌لرزه‌های کهن خود به درک بسیاری از جنبه‌های نوزمین‌ساخت همچون الگوی منطقه‌ای دگرشکلی‌های زمین‌ساختی و رفتار لرزه‌زای مناطق و یا گسل‌های خاص کمک می‌کند.

### مراحل اجرای پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی

حفر تراشه و پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی در طی مراحل چند گانه زیر

ژوراسیک (سازند لار) و رسوبات رودخانه‌ای جوان در سوی شمالی گسل (فرو دیواره) و شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک و دولومیت توده‌ای تریاس در سوی جنوبی گسل (فرا دیواره) قرار می‌گیرد.

این گسل، در بیشتر درازای خود دست کم در دو خط گسل کم و بیش موازی و با فاصله نزدیک به ۱۵ تا ۵۰۰ متر، به‌همراه شاخه‌های فرعی آن منطقه گسلی به‌نسبت وسیعی را می‌سازد که در امتداد آن دره‌ای با کف به‌نسبت مسطح با پوشش قابل توجه نهشته‌های کواترنری شکل گرفته است (امیدی، ۱۳۸۰). بخش وسیع گسل آستانه در فاصله بین آستانه تا فولادمحله، روند کلی شمال خاوری جنوب باختری (N55E) داشته و از آنجا نیز به سمت جنوب باختری تا شمال شهمیرزاد با همین روند ادامه می‌یابد. شاخه‌ای از آن به سمت شمال خاوری پس از عبور از آستانه با تغییر روند با حالت تقریبی خاوری-باختری ادامه دارد (شکل ۲). برش چپ‌بر در رسوبات کواترنری بخشی از گسل آستانه در آبراهه‌های تهیه شده از عکس هوایی بزرگ مقیاس به‌همراه محل تراشه‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی شماره ۳ و ۴ در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.

استان سمنان بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری-رسوبی ایران در زون‌های ایران مرکزی و البرز مرکزی قرار می‌گیرد که در دامنه‌های جنوبی بلندی‌های البرز (مرکزی - خاوری) و در حاشیه شمالی کویر بزرگ قرار دارد و بنابراین از نگاه زمین‌شناسی، به دو پهنه ساختاری البرز مرکزی و ایران مرکزی تعلق دارد. در یک روند تقریبی از شمال به جنوب، پهنه استان سمنان را می‌توان به چند واحد ساختاری-رسوبی جدا تقسیم کرد:

الف) پهنه موسوم به البرز، ب) زون افیولیتی فرومد، ج) نوار آتشفشانی عباس‌آباد، د) مجموعه دگرگونی ترو، ح) فرو نشست دشت کویر.

منطقه مورد مطالعه و همچنین گسل آستانه در پهنه موسوم به البرز و در حاشیه شمالی استان سمنان قرار دارد که بخشی از دامنه جنوبی کوه‌های البرز با ریخت‌شناسی خشن و بلند است که به‌طور معمول از آن به‌عنوان البرز مرکزی-خاوری یاد می‌شود. در این بخش، چین‌ها به‌صورت تاقدیس و ناودیس‌های باریک و طولی هستند که به‌طور عموم پهلوی جنوبی آنها بر اثر عملکرد گسل‌های راندگی بریده و به سمت جنوب جابه‌جا شده‌اند. اگرچه با توجه به عملکرد به‌نسبت شدید راندگی‌ها، توالی‌های سنگی نظم اولیه خود را از دست داده‌اند، اما با این وجود واحدهای زمین‌ساختی-چینه‌ای البرز، به‌طور پراکنده برونزد دارند.

### زمین‌لرزه‌های تاریخی منسوب به گسل آستانه

تاریخ کهن ایران و وجود نوشتارهای بی‌شمار به‌جای مانده از پیشینیان، گنجینه بسیار مستندی از رویدادهای گوناگون از جمله رخداد‌های طبیعی این مرز و بوم فراهم آورده است و در این باره، مدارک و منابع گوناگونی در دست

صورت می‌گیرد:

۱- انتخاب محل مناسب برای حفر ترانشه

۲- حفر ترانشه عمود و یا موازی بر پرتگاه گسل

۳- شبکه‌بندی و برداشت شاخص‌های زمین‌شناسی از دیواره ترانشه

۴- نمونه‌برداری و تعیین سن به روش‌های رادیوکربن و یا لومینسانس

۵- بازسازی سناریوی زمین‌لرزه‌های کهن و تفسیر داده‌ها، در راستای برآورد

بزرگی و دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها

### پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی روی گسل آستانه

با توجه به نزدیکی گسل پویای آستانه، با شهرهای شه‌میرزاد و دامغان و همچنین روستاهای فولاد محله، آستانه، آهوان و ... و همچنین قرارگیری این گسل در محدوده لرزه‌ای زمین‌لرزه تاریخی ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس، پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی بر روی این گسل، برای شناسایی زمین‌لرزه‌های کهن آن با حفر ۴ ترانشه آغاز شد که در اینجا به معرفی پژوهش انجام شده بر روی ترانشه ۴ که مورد بحث این نوشتار است، پرداخته می‌شود.

مطالعات ریخت‌شناسی و ریخت‌زمین‌ساخت در محدوده گسل، برای شناسایی و انتخاب محل مناسب برای حفر ترانشه، اولین و اساسی‌ترین مرحله در پژوهش‌های دیرینه‌لرزه‌شناسی است که در تشخیص شواهد گسیختگی‌های زمین‌لرزه‌های کهن، بسیار مؤثر است. پیدا کردن محل مناسب که هم پرتگاه گسلی آشکار داشته و هم حاوی نهشته‌های ریزدانه جوان باشد، که نشانه‌های زمین‌لرزه‌های دیرین را در خود نگه دارد، یکی از مراحل بسیار مهم و البته بسیار مشکل و زمان‌بر است. در این مرحله، با بهره‌گیری از دانش ریخت‌زمین‌ساخت، مطالعه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از ابزارهای دقیق نقشه‌برداری همانند GPS سینماتیک، مکان مناسب برای حفر ترانشه انتخاب می‌شود. محل ترانشه‌های حفر شده بر روی گسل آستانه در شکل ۲ نشان داده شده است.

پس از انتخاب محل مناسب، ترانشه بر روی گسل حفر می‌شود که بسته به هندسه و سازوکار گسل مورد مطالعه، به صورت موازی یا عمود بر خط اثر گسل یا پرتگاه گسلی اجرا می‌شود. حفر ترانشه به دو روش ۴۵° (ژاپنی) و عمودی (غربی) امکان‌پذیر است که در این پژوهش، از روش غربی استفاده شد. درازا و ژرفای ترانشه ارتباط نزدیکی با حوضه و رسوبات به تله افتاده، اثر سطح گسیختگی و ویژگی پرتگاه گسلی دارد که گاه به ۱۰۰ متر درازا و ۱۰ متر ژرفا نیز می‌رسد. به علت جنبش‌های قبلی گسل آستانه، شرایط انباشت رسوبات جوان فراهم شده و حوضه به تله افتاده‌ای را شکل می‌دهد (شکل ۶). ترانشه‌ها معمولاً به روش‌های گوناگون به صورت دستی و یا توسط بیل مکانیکی حفر می‌شوند. ترانشه شماره ۴ گسل آستانه تقریباً در مرکز یک

حوضه به تله افتاده، حاوی رسوبات نرم و ریزدانه که بیشتر شامل ماسه، سیلت و رس است، به صورت دستی حفر شد (شکل ۷). این ترانشه ۱۵ متر درازا و کمی بیش از ۳ متر ژرفا دارد و عمود بر پرتگاه گسلی، تقریباً در مرکز حوضه به تله افتاده گسل در مختصات جغرافیایی "E54° 02' 54", "N36° 15' 34.6" (جنوب ترانشه) و "E54° 02' 53.6", "N36° 15' 35.1" (شمال ترانشه) قرار دارد.

پس از حفر ترانشه، برای شناسایی و به وضوح دیده شدن افق‌های چینه‌ای - رسوبی و ساختارهای نگهداری شده مربوط به زمین‌لرزه‌های کهن، دیواره ترانشه با ابزارهای مخصوص صاف و تمیز شد. سپس دیواره خاوری ترانشه، در اندازه‌های ۱×۱ متر با بیشینه خطای 5mm به وسیله رشته‌های نخ و با استفاده از میخ‌های فلزی بزرگ، شبکه‌بندی و شماره‌گذاری شد. این کار باید با دقت هر چه بیشتر صورت گیرد، چرا که نتایج به دست آمده ارتباط مستقیمی با دقت در شبکه‌بندی دارد. تمامی عوارض و واحدهای دیواره نسبت به نقطه ۰/۰ ترانشه (گوشه سمت چپ و پایین شبکه ایجاد شده) دارای مختصات X و Y هستند.

سپس همه واحدهای موجود در دیواره ترانشه، از دیدگاه رسوبی - چینه‌ای به وسیله نشانه‌هایی از جنس روبان که به اصطلاح پرچم نامیده می‌شوند، تفکیک شده و با مقیاس ۱:۲۰ بر روی کاغذ میلی‌متری انتقال یافت، که به کلیه این مراحل نگاربرداری یا نقشه‌برداری دیواره شبکه‌بندی شده می‌گویند. در این ترانشه، ۱۹ واحد رسوبی به همراه گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از آن و همچنین جابه‌جایی‌های ناشی از زمین‌لرزه شناسایی و برداشت شد و با محاسبه مختصات مربوطه به روی کاغذ میلی‌متری منتقل شده، سپس توسط نرم‌افزار تمامی نقاط و عوارض برداشت شده بازسازی شد (شکل ۸).

پس از پایان نقشه‌برداری دیواره ترانشه و با توجه به جنس نهشته‌های کواترنری، به منظور تعیین سن رخداد‌های زمین‌لرزه‌ای کهن در صورت وجود، از دیواره برای تعیین سن نمونه‌گیری می‌شود. تعیین سن به صورت‌های مختلفی صورت می‌گیرد که در این پژوهش از دو روش زیر استفاده شد:

**الف: تعیین سن به روش رادیوکربن:** متداول‌ترین روش سن‌یابی در این گونه مطالعات، استفاده از روش کربن ۱۴ است. رسوبات جوان کواترنری به‌طور کلی حاوی قطعات ذغال چوب، خاک‌های آلی و لایه‌های آلی هستند که برای تعیین سن به روش کربن ۱۴ از آنها استفاده می‌شود. به منظور جلوگیری از آلودگی نمونه و ایجاد خطا در سن به دست آمده از نمونه برداشت شده، باید نمونه با دقت بسیار و بدون تماس با دست یا هر جسم خارجی از دیواره ترانشه جدا شده و در محفظه‌های مخصوص قرار گیرد (شکل ۹). در این پژوهش از دیواره خاوری ترانشه شماره ۴ گسل آستانه، ۱۲ نمونه حاوی کربن و یک نمونه خاک سطحی برداشت شد.

### نتیجه‌گیری

ویژگی‌های چینه‌ای و نشانه‌های برداشت شده موجود از دیواره ترانسه شماره ۴، بر رخدادهای دست کم ۴ تا ۵ زمین لرزه کهن، بر روی گسل آستانه به عنوان گسلی با سازوکار راستالغز چپ‌بر با مؤلفه عادی (نرمال)، دلالت دارند. افق ۱۸ که شامل ماسه رسی به رنگ خاکستری روشن (خاک سطحی) است، نشانگر جوان‌ترین رخداد زمین لرزه (event 1)، در گسل آستانه است که تا سطح زمین ادامه داشته و در سمت چپ و بالای گرید ۳/۹ مشخص است. به دلیل قطع شدگی گسل در بالای گرید ۳/۱۰، در زیر افق ۱۷، این افق که شامل ماسه درشت‌دانه قهوه‌ای رنگ با زمینه رسی است، نشانگر دومین رخداد (event 2) است. توقف گسل در وسط افق ۱۱ در سمت راست گرید ۲/۹، با بیانگر همزمانی سومین رخداد زمین لرزه (event 3) با زمان تشکیل افق ۱۱ و یا به رخدادهای بعد از تشکیل آن دلالت دارد. این افق حاوی شن‌هایی با بزرگی تا ۴ سانتی‌متر است که به سمت بالا به ماسه دانه‌درشت تبدیل می‌شود. چهارمین رخداد زمین لرزه (event 4) در گسل آستانه نیز به دلیل توقف گسل در بین گریدهای ۲/۹ و ۱/۹ و در درون افق ۹ که شامل توالی ماسه بسیار درشت و گل در بخش بالایی واحد است، قرار دارد که به همزمانی با تشکیل افق ۹ و یا بعد از تشکیل آن دلالت دارد. با توجه به خم‌شدگی افق ۶ در برابر گسیخته شدن و پایین افتادگی افق ۵ و همچنین بیشتر بودن میزان جابه‌جایی افق ۵ در مقایسه با جابه‌جایی افق‌های جوان‌تر، پنجمین رخداد زمین لرزه بر روی گسل آستانه (event 5)، سمت راست و پایین گرید ۱/۹ و در افق ۵ که شامل ماسه متوسط تا ریزدانه خاکستری تا سبز با زمینه سیلتی است، قابل مشاهده است. آهنگ لغزش افقی در راستای گسل آستانه با توجه به جابه‌جایی بادزن‌های آبرفتی حدود ۲/۵ میلی‌متر در سال است.

تطابق و شناخت رخداد ۸۵۶ کومس با یکی از زمین لرزه‌های کهن ثبت شده در ترانسه AT4 و برآورد دوره بازگشت زمین لرزه بر روی گسل آستانه و همچنین محاسبه آهنگ لغزش افقی و قائم در هر رویداد، وابسته به نتایج آزمایش‌های تعیین سن بر روی نهشته‌های پیش و پس از رخدادهای پنجگانه یاد شده است.

### سپاسگزاری

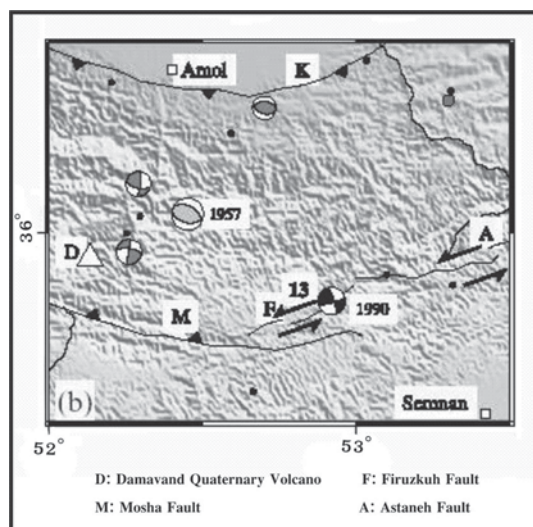
بی‌گمان در انجام این پژوهش از راهنمایی و یاری بسیاری بهره‌مند بوده‌ایم که به این وسیله از همگی قدردانی می‌شود.

**ب: تعیین سن به روش لومینسانس (OSL):** در صورت نبود نهشته‌های آلی، از این روش که روی نهشته‌های ماسه‌ای و یا سیلتی صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. در این مورد، با استفاده از ابزارهای لازم، لوله‌هایی را که از قبل فراهم شده‌اند و حدود ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر درازا و نزدیک به ۱۰ سانتی‌متر قطر دارند، با وارد کردن ضربه درون دیواره ترانسه فرستاده و نمونه از لایه مورد نظر برداشت می‌شود (شکل ۱۰). باید توجه داشت که نمونه‌های برداشت شده به هیچ‌وجه نباید در معرض نور قرار گیرند، چرا که این روش براساس خاصیت موجود در برخی از کانی‌ها چون کوارتز، شکل گرفته که در آن، سن پوشیده شدن این کانی‌ها توسط رسوبات و قطع ارتباط آنها با نور خورشید (که در این نقطه شمارش گر کانی صفر می‌شود)، تعیین می‌شود. عمق برداشت نمونه نیز نباید کمتر از ۵۰ سانتی‌متری سطح زمین باشد، چرا که نور خورشید ممکن است تا این عمق نیز نفوذ کند. در این پژوهش، ۷ نمونه برای تعیین سن به روش لومینسانس، از دیواره ترانسه شماره ۴ گسل آستانه برداشت شد.

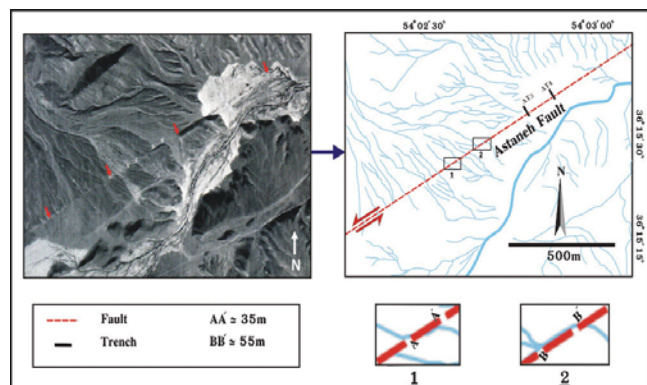
در پایان، بازسازی الگوی رخداد زمین لرزه‌های کهن براساس الگوی برگشتی که روی نگار تهیه شده از دیواره موجود است، انجام می‌گیرد. همچنین با استفاده از داده‌های حاصل از تعیین سن و با بهره‌گیری از روابط Wells & Coopersmith (1994) بزرگای زمین لرزه‌های روی داده و دوره بازگشت آنها برآورد می‌شود. با شناخت دوره بازگشت و بزرگای هر یک از زمین لرزه‌های کهن، می‌توان میزان لغزش و آهنگ شکست را روی سطح گسل محاسبه کرد. اگرچه برآورد آهنگ لغزش افقی و قائم در هر رویداد وابسته به نتایج تعیین سن است، ولی با توجه به جابه‌جایی افقی و برش چپ‌بر بادزن‌های آبرفتی در حدود ۵۵ متر (شکل ۳)، در راستای گسل آستانه، اگر بتوان تشکیل بادزن‌های آبرفتی را به رسوبگذاری پس از آخرین عصر یخ (که ۱۰۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰ سال به طول انجامید) نسبت داد، در این صورت آهنگ لغزش افقی در راستای این بخش از گسل آستانه، حدود ۲/۵ میلی‌متر در سال خواهد بود که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های انجام شده بر روی گسل‌های فیروزکوه و مشا، همخوانی دارد. با توجه به اینکه در امتداد باختری گسل آستانه، گسل‌های فیروزکوه و مشا قرار دارند و آهنگ لغزش افقی محاسبه شده برای گسل فیروزکوه ۲/۳ میلی‌متر در سال (Nazari et al., 2007) و این مقدار لغزش برای گسل مشای خاوری ۲/۲ میلی‌متر در سال (Ritz et al., 2003) برآورد شده و با توجه به امتداد لغز بودن گسل آستانه، و حرکت حوضه خزر جنوبی به سوی باختر، آهنگ لغزش در گسل آستانه نمی‌تواند کمتر از ۲/۳ میلی‌متر در سال باشد و کمترین آهنگ لغزش افقی در راستای این گسل، ۲/۳ میلی‌متر در سال خواهد بود.

جدول ۱- نوشتارهای تاریخی منسوب به زمین لرزه ۲۲ دسامبر ۸۵۶ کومس (بربریان و همکاران، ۱۳۷۵)

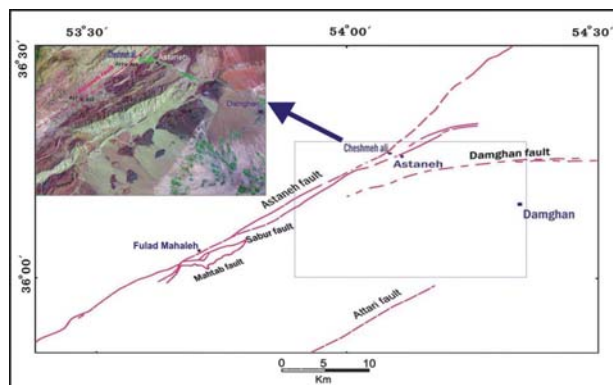
سال پس از زمین لرزه	مرجع داده‌ها	دگرشکلی زمین	شمار کشتار انسانی	بهنه ویرانی	تاریخ زمین لرزه
-	قصیده داودبن طهمان البیهقی (همزمان زمین لرزه)	—	گروه زیادی	ارض کومس	شعبان ۲۴۲، شب
۱۸	احمد یعقوبی، کتاب تاریخ یعقوبی (۸۷۴/۲۶۰: ii، ۵۲۱)	زمین فرو رفت	۲۰۰۰۰	کومس، نیشابور و توابع آن	۱۸ شعبان ۲۴۲، روز شنبه
۵۹	محمدبن جریر طبری، کتاب الرسل و الملوک (تاریخ طبری ۳۰۲: ۴۸/۹۱۵: ۶۰۵۷)	—	۲۵۰۹۶ بیشتر در دامغان	کومس و روستاهای آن، بیشتر در دامغان	شعبان ۲۴۲
۸۷	ابوالحسن علی بن حسین مسعودی، کتاب التنبیه و الاشراف (۹۴۳/۳۳۲: ۴۸)	خشک شدن وزایش چشمه‌ها	—	ولایت کومس	—
۳۲۵	عبدالرحمن بن الجوزی، کتاب المنتظم فی تاریخ الملوک و الامم (۱۱۸۱/۵۷۷: ۸۵۷، ۲۸۶)	کوه‌ها شکافتند و برخی بر روی دیگری بسته شدند، صدا از زمین و هوا شنیده شد	۲۵۰۰۰	کومس، دامغان، ری، جرجان، طبرستان، نیشابور، اصفهان، قم، کاشان، کومس و پیرامون، دامغان	—
۳۷۵	عزالدین علی ابن الاثیر، کتاب الکامل فی التاریخ (تاریخ الکامل ۲۴۷ و XI: ۵۳: VII: ۶۲۸/۱۲۳۱ [با اشاره به طبری])	—	۴۵۰۹۶ بیشتر در دامغان	کومس و پیرامون، دامغان	۲۴۲
۱۱۲۰	Berberian (1979: 196; 1981: 42)	گسل دامغان	—	—	۲۲ دسامبر ۸۵۶
۱۱۲۶	Ambraseys and Melville (1982)	—	۴۵۰۹۶	شمال خاوری بسطام تا جنوب باختری آهوان در دامغان	۲۲ دسامبر ۸۵۶
۱۱۲۸	بربریان (۱۳۶۳ / ۱۹۸۴) و بربریان و قرشی (۱۹۸۸/۱۳۶۷)	گسل‌های دامغان و آستانه + روانگرایی یا لغزش در کومس	—	—	۲۲ دسامبر ۸۵۶



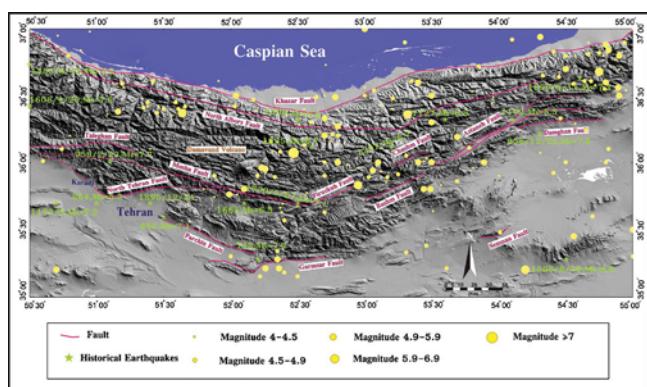
شکل ۱- جایگاه زمین‌ساختی گسل آستانه (Berberian et al., 1996)



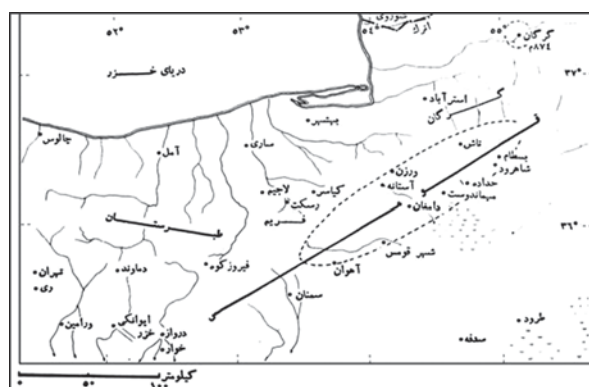
شکل ۳- برش چپ‌بر آبراهه‌ها و بادزن‌های آبرفتی در بخشی از گسل آستانه، تهیه شده از عکس‌های هوایی بزرگ مقیاس



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی شهر دامغان و گسل‌های آستانه، دامغان و عطاری، تهیه شده از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ (کیاسر، دامغان، سمنان، معبد و جام) به همراه نمایش محل ترانشه‌های دیرینه لرزه‌شناسی بر روی گسل آستانه



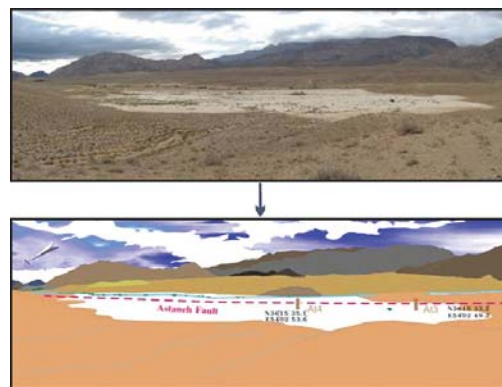
شکل ۵- تصویر SRTM گسل‌های مهم البرز مرکزی به همراه زمین لرزه‌های دستگاهی و تاریخی (به نقل از Nazari et al., 2007)



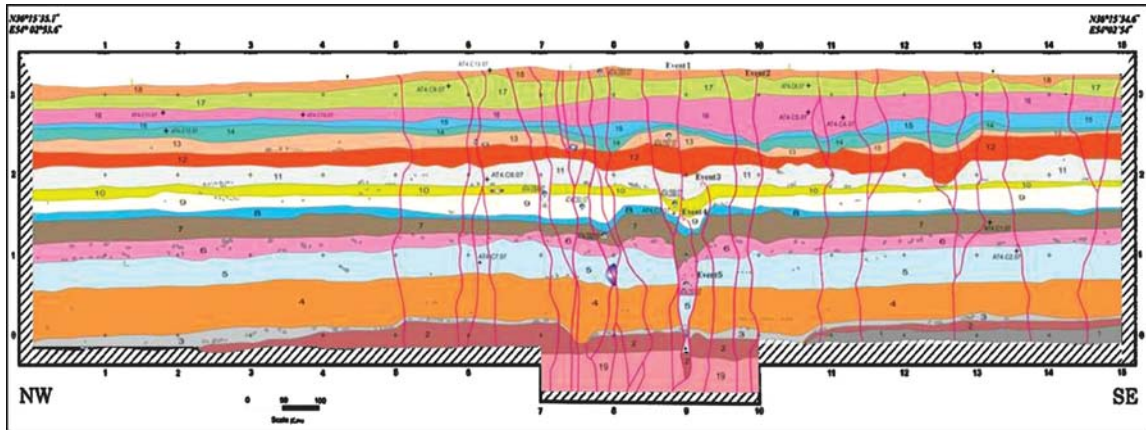
شکل ۴- ایالت کومس و گستره زمین لرزه تاریخی ۲۲ دسامبر ۸۵۶ برگرفته از تاریخ زمین لرزه‌های ایران (رده، ۱۳۷۰).



شکل ۷- نمایی از دیواره خاوری ترانشه دیرینه لرزه‌شناسی حفر شده شماره ۴ (AT4) به روش غربی بر روی گسل آستانه.



شکل ۶- حوضه به تله افتاده (sag pond) و موقعیت ترانشه‌های دیرینه لرزه‌شناسی AT3 و AT4 گسل آستانه



شکل ۸- نگار دیرینه‌لرزه‌شناسی از دیواره خاوری ترانسه AT4 بر روی گسل آستانه

ویژگی‌های افق‌های تشکیل‌دهنده نگار دیرینه‌لرزه‌شناسی دیواره ترانسه شماره ۴ گسله آستانه:

- واحد ۱: افق شنی (گراولی) تا ماسه‌ای خیلی درشت‌دانه خاکستری روشن تا سبزرنگ، با زمینه ماسه‌ای، سیلتی دارای جورشدگی ضعیف و گرد شدگی متوسط
- واحد ۲: افق ماسه‌ای درشت‌دانه کرم رنگ با زمینه سیلتی که به سمت بالا تبدیل به ماسه نخودی لیزی می‌شود، دارای مرز زیرین فرسایشی، حاوی دانه‌بندی تدریجی نرمال
- واحد ۳: افق شنی (گراولی) خاکستری رنگ، دانه پشیمان (حدود ۶۰٪ - ۴۰٪ زمینه) با زمینه ماسه‌ای سیلتی (بیشترین اندازه دانه‌ها ۶ سانتی‌متر)، دارای جور شدگی ضعیف و گرد شدگی متوسط، مرز زیرین فرسایشی و دانه‌بندی تدریجی نرمال
- واحد ۴: افق ماسه‌ای (تناوبی از ماسه دانه درشت تا بسیار ریز دانه) خاکستری رنگ، دارای ریز لایه‌بندی (لامیناسیون) موازی و مورب در برخی قسمت‌ها، حاوی میان لایه‌هایی از سیلت و لایه‌های شنی لیزی شکل
- واحد ۵: افق ماسه‌ای متوسط تا ریز دانه خاکستری تا سبزرنگ با زمینه سیلتی، دارای سطح زیرین فرسایشی واضح (شارپ) همراه با دانه‌بندی تدریجی نرمال، دارای میان لایه‌های لیزی شکل از گراول
- واحد ۶: افق گراولی متوسط لایه به رنگ قهوه‌ای روشن (اندازه دانه‌ها از ۲ میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر) با زمینه ماسه‌ای، دانه پشیمان (۸۰٪ - ۲۰٪ زمینه)، جور شدگی و گرد شدگی ضعیف تا متوسط
- واحد ۷: افق ماسه‌ای متوسط تا بسیار ریز دانه متوسط لایه کرم رنگ، دارای لایه‌بندی با ریز لایه‌بندی (لامیناسیون) مسطح، قاشقی و مورب موازی، حاوی لزه‌های گراولی
- واحد ۸: افق ماسه‌ای بسیار ریز دانه با زمینه گل، به رنگ کرم روشن دارای سطح زیرین شارپ ناگهانی، حاوی آثار زیستی به صورت حفرات (ریشه گیاه)
- واحد ۹: توالی ماسه بسیار درشت و گل بیشتر در بالای افق به رنگ قهوه‌ای، دانه‌بندی دانه تدریجی نرمال، دارای لایه‌بندی مسطح موازی، حاوی لایه‌های لیزی شکلی از گراول
- واحد ۱۰: افق ماسه‌ای بسیار ریز تا متوسط دانه آجری رنگ بدون زمینه، دارای سطح زیرین شارپ ناگهانی، دارای لامیناسیونهای مسطح، موازی و مورب موازی
- واحد ۱۱: افق گراولی خاکستری رنگ بدون زمینه با ماکزیمم اندازه دانه ۴ سانتی‌متر، جورشدگی متوسط، به سمت بالا به ماسه درشت‌دانه تبدیل می‌شود، دارای مرز زیرین فرسایشی، دارای لایه‌بندی موازی و مورب
- واحد ۱۲: افق ماسه گلی کرم رنگ متوسط لایه، که به سمت جنوب به گل ماسه‌ای تبدیل می‌شود، حاوی ساختارهای زیستی آثار ریشه گیاهان
- واحد ۱۳: افق گراولی تا ماسه درشت‌دانه قهوه‌ای رنگ متوسط لایه (به سمت جنوب ترانسه از ستبرای افق کاسته می‌شود)، جور شدگی متوسط و گرد شدگی ضعیف، دارای مرز زیرین فرسایشی همراه با دانه‌بندی تدریجی، دارای لایه‌بندی با لامیناسیون‌های موازی و مسطح، دارای لزه‌های گراولی
- واحد ۱۴: افق ماسه‌ای سیلتی - رسی به رنگ خاکستری تا سبز در جنوب ترانسه گل بیشتر می‌شود، دارای لایه‌بندی موازی، حاوی آثار زیستی ریشه گیاه، همراه با آثار رسی آجری رنگ
- واحد ۱۵: افق ماسه‌ای نازک لایه بسیار ریز تا ریز دانه سبزرنگ، دارای سطح زیرین فرسایشی و دانه‌بندی دانه تدریجی نرمال، دارای لایه‌بندی با لامیناسیون مسطح موازی، حاوی ساختار ریشه گیاه
- واحد ۱۶: افق رسی سیلتی ماسه‌ای سبز تا خاکستری روشن که به طور جانبی به ماسه تبدیل می‌شود، حاوی میان لایه‌هایی از رس آجری رنگ، دارای آثار زیستی ریشه گیاه، به سمت جنوب ترانسه ستبرای افق بیشتر می‌شود.
- واحد ۱۷: افق ماسه‌ای درشت‌دانه قهوه‌ای رنگ با زمینه گل، جور شدگی ضعیف، دارای سطح زیرین فرسایشی، دارای لایه‌بندی موازی، همراه با آثار ریشه گیاه
- واحد ۱۸: افق ماسه رسی به رنگ خاکستری روشن (ماسه ریز تا متوسط دانه)، دارای لایه‌بندی موازی، دارای آثار زیستی، حاوی لامینه‌های سیلتی در برخی قسمت‌ها
- واحد ۱۹: تناوبی از رس و سیلت به رنگ کرم تا خاکستری تیره که به سمت بالای افق رس بیشتر می‌شود، جور شدگی خوب، دارای لایه‌بندی با لامیناسیون‌های موازی



شکل ۹- روش برداشت نمونه برای تعیین سن به روش کربن ۱۴ از دیواره ترانسه

شکل ۱۰- روش برداشت نمونه برای تعیین سن به روش لومینسانس (OSL)



**کتابنگاری**

- آق‌باتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ صفحه.
- اشتری جعفری، م.، ۱۳۸۶- ویژگی‌های لرزه‌زایی البرز مرکزی، مقاله فصلنامه زمین، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۱۴ صفحه.
- اقلیمی، ب.، ۱۳۷۹- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین‌شناسی.
- امبرسیز، ن.، ن. و ملویل، ج.، پ.، ۱۳۷۰- تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، ترجمه ابولحسن رده، ۶۷۴ صفحه.
- امیدی، پ.، ۱۳۸۰- تحلیل ساختاری و دینامیکی تفصیلی زون‌های گسلی در حاشیه جنوبی البرز خاوری، پایان‌نامه تحصیلی کارشناسی ارشد. گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس.
- بربریان، م.، ۱۳۶۳- بررسی و پژوهش نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه- گسلش در ناحیه باختر دامغان، مهندسین مشاور کویانکاو، سازمان آب منطقه‌ای سمنان.
- بربریان، م.، قرشی، م.، ۱۳۶۷- بررسی‌های لرزه‌زمین‌ساختی و مهندسی زمین‌لرزه طرح سد مخزنی فجن شاهرود، سازمان آب منطقه‌ای تهران، امور منابع آب استان سمنان، دفتر مشاورین لار، ۲۳۹ ص.
- بربریان، م.، قرشی، م.، طالبیان، م.، شجاع طاهری، ج.، ۱۳۷۵- پژوهش و بررسی نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر گسلش در گستره سمنان (گزارش شماره ۶۳ سازمان زمین‌شناسی کشور). ۲۶۶ صفحه.
- سعیدی، ع.، اکبریپور، م.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کیاسر انتشارات سازمان زمین‌شناسی.
- عباسی، م.، ۱۳۸۱- وضعیت تنش نوزمین‌ساختی در لبه جنوبی البرز مرکزی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- علوی نایینی، م.، حامدی، ع.، ۱۳۷۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، جام، انتشارات سازمان زمین‌شناسی.
- علوی نایینی، م.، صالحی راد، م.، ۱۹۷۵- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، دامغان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی.
- نوی، م.، ج.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران- سازمان زمین‌شناسی.
- نوی، م.، ج.، ۱۳۶۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، سمنان، انتشارات سازمان زمین‌شناسی.

**References**

- Alavi, M., 1991- Tectonic map of the Middle East. Geological Survey of Iran.
- Alavi Naini, M., 1972 - Etude geologique de la region de Djam. Geol. Surv. Iran, No.23,288p.
- Allen, M. B, Ghassemi, M.R, Shahrabi, M, Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range ,northern Iran- Journal of Structural Geology, 14p.
- Ambraseys, N. N., Melville, C. P., 1982- "A history of Persian earthquakes." Cambridge University press, Cambridge.
- Jackson, J., Priestly, K., Allen, M., Berberian, M., 2002- "Active tectonics of the South Caspian Basin", Geophys. J. Int. (2002) 148, 214-245.
- McCalpin, J. P., 1996- Paleoseismology. New York, Academic Press.
- Nazari, H., 2006- Analyses de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Tehran: Approche morphotectonique et paleoseismologique. Science de la terre et de l'eau. Montpellier, Montpellier: 247.
- Nazari et al., 2007- Paleoseismological analysis in central Alborz, Iran. (The 1957 Geobi-Attay Earthquake Commemoating Conference 24 July-08 August 2007, Ulaanbatar-Mongolia).
- Ritz, J. F et al., 2003- Determining the long-term slip rate along the Mosha Fault, Central Alborz., Iran. 4 th. International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, (See 4), Tehran, Iran.
- Rivier, A., 1941- Contribution a l'etude du Jurassique dans l'Elbourz central. C.R.Acd Sci., Paris; Vol.195.pp.540-542.



Vernant, ph., et al., 2004- Deciphering oblique shortening of central alborz in Iran using geodetic data, Earth & Planetary Science Letters, 233, 177-185.

Wells, D. L., Coopersmith, K. J., 1994- "Emprical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement." Bull, Seismo. Soc. Am. (84) : 974-1002 .