

پژوهش‌های لرزه‌شناسی باستانی بر روی سامانه گسل خزر، با تکیه بر روش پارینه‌لرزه‌شناسی (سایت پیش از تاریخ گوهرتپه، بهشهر - مازندران)

زینب بختیاری‌زاده^۱، حمید نظری^۲، محمدعلی شکری^۳، علی ماهفروزی^۴ و آمنه کاوه‌فیروز^۵

^۱ کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ دانشیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ کارشناسی ارشد، سازمان زمین‌شناسی مرکز گیلان، ایران

^۴ استادیار، دانشکده میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

^۵ دانشجوی دکترا، دانشگاه زوریخ، زوریخ، سوئیس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۶

چکیده

به عقیده باستان‌شناسان انسان‌هایی که در غارهای باستانی مازندران همچون غار کمیشان، غار هوتو و غار کمر بند زندگی می‌کردند، پس از خروج از غار به مرور وارد دوره روستائینی شده و سپس در نهایت در عصر مفرغ و آهن باعث شکل‌گیری و پیدایش گوهرتپه شدند. مطالعات باستان‌شناسی اشاره به قدمت ۱۴ هزار ساله این منطقه دارد و یافته‌هایی از آغاز دوره فرابارینه‌سنگی تا عصر آهن را آشکار می‌سازد. در این پژوهش بررسی‌های لرزه‌شناسی باستانی با تکیه بر دانش پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی سامانه گسلی خزر در سایت پیش از تاریخ گوهرتپه در ناحیه بهشهر استان مازندران انجام گرفته است. بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی به روش میدانی در ترانسه باستان‌شناسی سایت گوهرتپه انجام شده و داده‌های ژئوفیزیکی (GPR و ژئوالکترونیک) از محدوده در مقیاس مناسب مورد بررسی قرار گرفته است. بر پایه انجام پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناسی ۵ رویداد زمین‌لرزه‌ای در بازه زمانی ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ سال گذشته، با بزرگای ۶/۲ تا ۷/۰ در مقیاس بزرگای گشتاوری (Mw) شناسایی شده است. همچنین پیشینه جابه‌جایی قائم‌سناسایی شده در مشاهدات پارینه‌لرزه‌شناسی توسط برداشت‌های ژئوفیزیکی و داده‌های GPR نیز تأیید شده است. همچنین دوره بازگشت میانگین رخدادهای زمین‌لرزه‌ای در حدود ۳۷۵ سال برآورد شده است. بر اساس بررسی‌های لرزه‌شناسی باستانی انجام گرفته در منطقه، مشخص شده است که وقوع رخدادهای زمین‌لرزه‌ای در منطقه سبب از بین رفتن و یا کوچ و مهاجرت مردمان پیش از تاریخ گوهرتپه در محدوده زمانی چند صد سال شده است.

کلیدواژه‌ها: دوران مفرغ، عصر آهن II، لرزه‌شناسی باستانی، پارینه‌لرزه‌شناسی.

***نویسنده مسئول:** زینب بختیاری‌زاده

E-mail: zbakhtiarizadeh89@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

رویدادهای طبیعی، اتفاقاتی هستند که بشر از آغاز پیدایش زمین با آنها روبرو بوده است. یکی از این رویدادهای طبیعی زمین‌لرزه است که بیشترین تلفات جانی را به خود اختصاص داده است. رویدادهای تاریخی نقش مهمی در برآورد لرزه‌خیزی، پیش‌بینی و به‌طور کلی در علل دانش زمین‌لرزه‌ایفا می‌کنند. هر چند امروزه با پیشرفت زمین‌لرزه‌شناسی دستگاهی، گامی مؤثر در این رشته برداشته شده است؛ اما همچنان برای بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی به روش‌ها و علوم دیگری همچون باستان‌شناسی (Archaeoseismology) و پارینه‌لرزه‌شناسی (Paleoseismology) نیاز است. مطالعه زمین‌لرزه‌های ویرانگر قدیمی نشان داده است که این زمین‌لرزه‌ها، سکونت‌گاه‌های باستانی مهمی را از بین برده‌اند. این امر ضرورت شناسایی زمین‌لرزه‌های باستانی در کشور را نشان می‌دهد. امروزه محققان توانسته‌اند با تلفیق این دو علم به نتایج قابل اعتمادی دست یابند. بر اساس شواهد لرزه‌شناسی باستانی، هرگاه در یک کاوش لرزه‌ای به شواهد زیر برخورد شود به احتمال یک رخداد طبیعی روی داده است (مغرب و همکاران، ۱۳۹۱): ترک یک منطقه مسکونی و متروک شدن آن؛ فروریختن دیوارهای خشتی؛ چرخش و جابجایی ستون‌ها و دیوارها؛ اسکلت‌هایی که با وضعیت غیر متعارف دفن شده‌اند؛ خرد شدن سفال‌ها و فرفرافادن خمره‌های بزرگ؛ اثرات آتش‌سوزی وسیع؛ ایجاد شکاف و بهم‌ریختگی زمین.

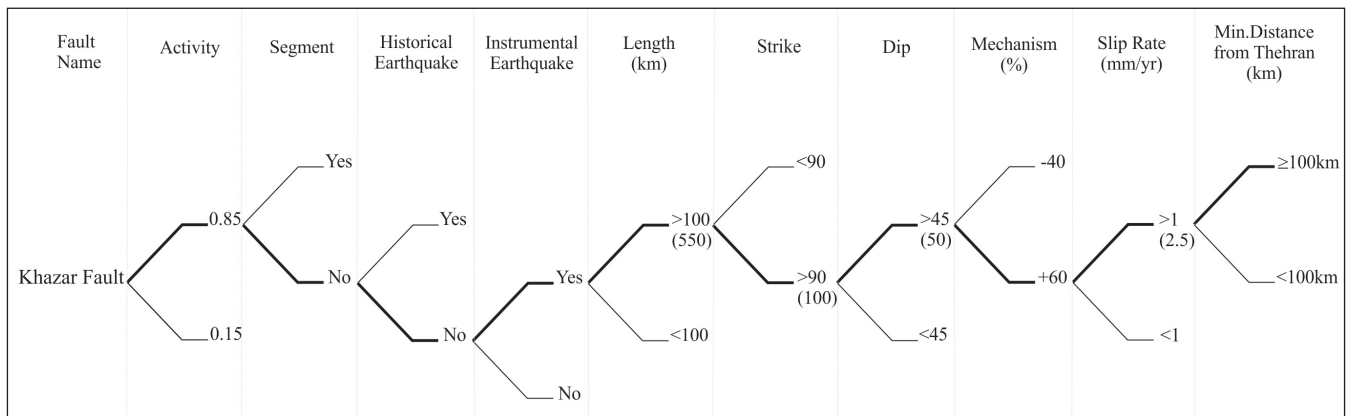
میزان کوتاه‌شدگی البرز در راستای شمالی-جنوبی، معادل 5 ± 2 میلی‌متر در سال برآورد شد (Vernant et al., 2004). در حالی که کوتاه‌شدگی مایل در البرز را شامل $1/5 \pm 2$ میلی‌متر در سال به موازات گسل‌های امتدادلغز چپ‌گرد البرز و کوتاه‌شدگی SW-NE را به میزان $4/7 \pm 2$ میلی‌متر در سال بین حوضه کاسپین و پهنه داخلی البرز مرکزی دانسته‌اند (Ritz et al., 2008) که به سمت جنوب نیز، یک کوتاه‌شدگی به میزان $1/5 \pm 2$ میلی‌متر در سال در طول پهنه گسل شمال تهران و سامانه گسل‌های پارچین و ییشوا و جنوب‌خاوری گرمسار معرفی شده است. نتایج مطالعات پژوهشگران نشان می‌دهد که تغییر شکل در قسمت خاوری البرز بیشتر از نوع امتدادلغز و در قسمت باختری آن از نوع تراست و گسلش معکوس است (Djamour et al., 2010)، که جنبش‌شناسی امروزه با نتایج مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی (Ritz et al., 2006) نیز مطابقت دارد؛ این موضوع این ایده را حمایت می‌کند که جنبش‌شناسی این ناحیه اخیراً به دلیل تغییر در حرکت حوضه کاسپین جنوبی تغییر یافته است.

۲- زمین‌شناسی و زمین‌ساخت البرز مرکزی

بلندی‌های البرز بخشی از رشته‌کوه‌های آلپ-همیالیا در آسیای باختری هستند که در سوی جنوب در کنار پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار می‌گیرند و در سوی شمال به دریای کاسپین (بلوک کاسپین جنوبی) متصل می‌شوند (Alavi, 1996). البرز مرکزی محل همگرایی دو امتداد البرز خاوری و باختری است (آقانباتی، ۱۳۸۳). این بخش

بر اساس نقشه لرزه‌زمین‌ساخت البرز مرکزی (Nazari et al., 2005)، شمالی‌ترین گسل البرز مرکزی، گسل خزر است که در بخش جنوبی دریای کاسپین واقع شده است. گسل خزر که به نام گسل کاسپین نیز نامیده می‌شود در دامنه شمالی البرز، از لاهیجان تا جنوب گنبد کاووس به طول ۵۵۰ کیلومتر و به موازات دریای کاسپین کشیده شده است. مکانیسم این گسل، تراستی همراه با مؤلفه امتدادلغز چپ‌گرد است. مؤلفه تراستی گسل خزر از ۲ mm/yr در خاور تا ۸ mm/yr در باختر و نرخ امتدادلغز چپ‌گرد ۵-۲ mm/yr در طول گسل متفاوت است (Djamour et al., 2010). نمودار درخت منطقی (Logictree) از ویژگی‌های این گسل در شکل ۱ ارائه شده است.

بررسی‌های دیگر نیز نتایج را مبنی بر حرکت امتدادلغز و فشارشی به ترتیب در البرز خاوری و باختری (Djamour et al., 2010) تأیید می‌کند (خرمی و همکاران، ۱۳۹۰). به این صورت که با استفاده از اندازه‌گیری‌های شبکه دائمی GPS در ایران، در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹، جنبش‌شناسی کنونی در البرز خاوری به صورت ۵ mm/yr~ حرکت امتدادلغز چپ‌گرد و ۲ mm/yr~ کوتاه‌شدگی فراهم آمد، در حالی که در البرز مرکزی- باختری مقدار حرکت امتدادلغز چپ‌گرد و کوتاه‌شدگی به ترتیب برابر ۲ mm/yr~ و ۶ mm/yr~ است. قابل توجه است که حدود ۷۰٪ کوتاه‌شدگی موجود در البرز مرکزی- باختری (۴ mm/yr~) روی گسل‌های شمال البرز و خزر باختری و مابقی (۲ mm/yr~) در دامنه‌های جنوبی روی می‌دهد.



شکل ۱- نمودار درختی تهیه شده از ویژگی‌های گسل خزر.

کیلومتری از جاده نکا به بهشهر قرار دارد. رستم کلا واقع در اتوبان ساری- بهشهر ۴۰ کیلومتر از ساری و حدوداً ۸ کیلومتر از بهشهر فاصله دارد (شکل ۳).

محدوده گوهر تپه از نظر بوم‌شناختی در میان نوار باریک حاصل‌خیزی بین دریای مازندران در شمال و دامنه‌های کوه‌های البرز در جنوب قرار دارد. این محوطه فاصله کمی با ساحل دریا دارد و ارتفاعات البرز در فاصله کمتر از یک کیلومتری جنوب آن قرار دارند.

۴- پژوهش‌های لرزه‌شناسی باستانی

گوهر تپه یکی از استقرارگاه‌های پیش از تاریخی ایران است که از اواخر هزاره چهارم شکل گرفته و تا هزاره اول قبل از میلاد تداوم استقرار داشته است. همچنین در بخش خاوری تپه آثار بسیار اندکی از دوره پارت شناسایی شده است (ماهری‌روزی، ۱۳۸۴).

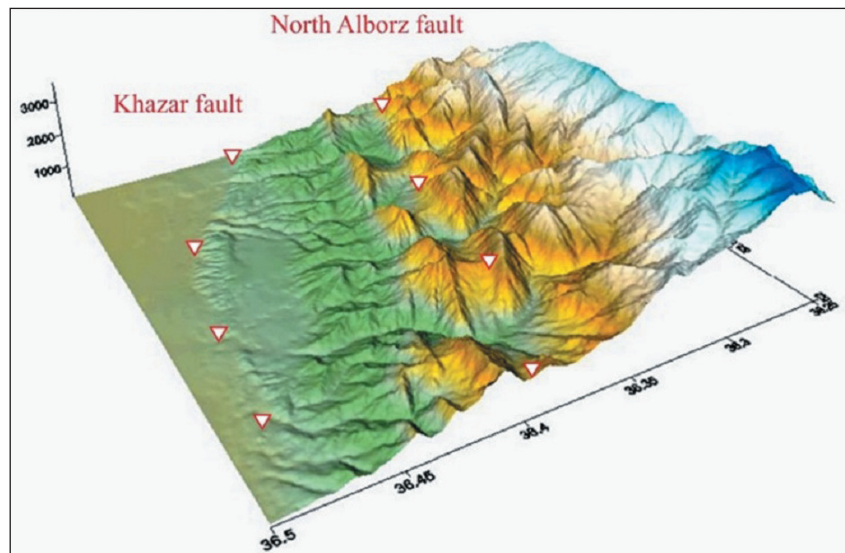
به عقیده باستان‌شناسان انسان‌هایی که در غارهای باستانی مازندران همچون غار کمیشان، غار هوتو و غار کمر بند زندگی می‌کردند، پس از خروج از غار به مرور باعث پیدایش گوهر تپه شدند. در این تپه با گذشت زمان، مردم ساکن با از بین رفتن و فرسوده شدن فضاهای مورد استفاده قبلی سکونتگاه‌های جدیدی را روی گوهر تپه ایجاد کردند و در نهایت باعث به وجود آمدن شهری همانند گوهر تپه شدند. با توجه به سرچشمه‌های آبی، جنگل، دریا، غارها، منابع مصنوعات سنگی و شرایط مطلوب منطقه همراه با پتانسیل‌های موجود دیگر، گوهر تپه به صورت تدریجی مسیر توسعه را پیمود و در دوران مفرغ به شهری بزرگ با وسعت ۵۰ هکتار تبدیل شد. بدین ترتیب در عصر نوسنگی شکل زندگی روستائینی داشته و در دوره مفرغ مورد توجه قرار گرفته و حالت شهرنشینی پیدا کرده است. احتمالاً تا دوره مفرغ میانی فضای مسکونی و محل دفن در یک مکان بوده است. اما در دوره مفرغ پایانی هم از وسعت شهر کاسته شده و هم قبرستان را به خارج از فضای مسکونی انتقال داده‌اند.

در حالی که داده‌های زمین‌لرزه‌ای دستگاهی از این گسل گزارش نشده، وقوع چندین زمین‌لرزه تاریخی (زمین‌لرزه ۱۲ نوامبر ۸۷۴ میلادی گرگان با بزرگای Ms = 6.0؛ زمین‌لرزه ۱۴۳۶ میلادی گرگان با بزرگای Ms = 5.3؛ زمین‌لرزه ۱۴۷۰ میلادی گرگان با بزرگای Ms = 5.5؛ زمین‌لرزه ۱۴۹۸ میلادی گرگان با بزرگای Ms = 6.5؛ زمین‌لرزه ۳ فوریه ۱۶۷۸ میلادی لاهیجان با بزرگای Ms = 6.5؛ زمین‌لرزه سال ۱۸۰۹ میلادی آمل با بزرگای Ms = 6.5) به آن انتساب داده شده است (Berberian, 1994). شاه‌پسندزاده و زارع (۱۳۷۴) زمین‌لرزه ویرانگر ۱۵ اوت ۱۴۸۵ میلادی (۲۵ مرداد ۸۶۴ هجری شمسی) در منطقه دیلمستان واقع در مازندران- گیلان را نیز به این گسل نسبت داده‌اند.

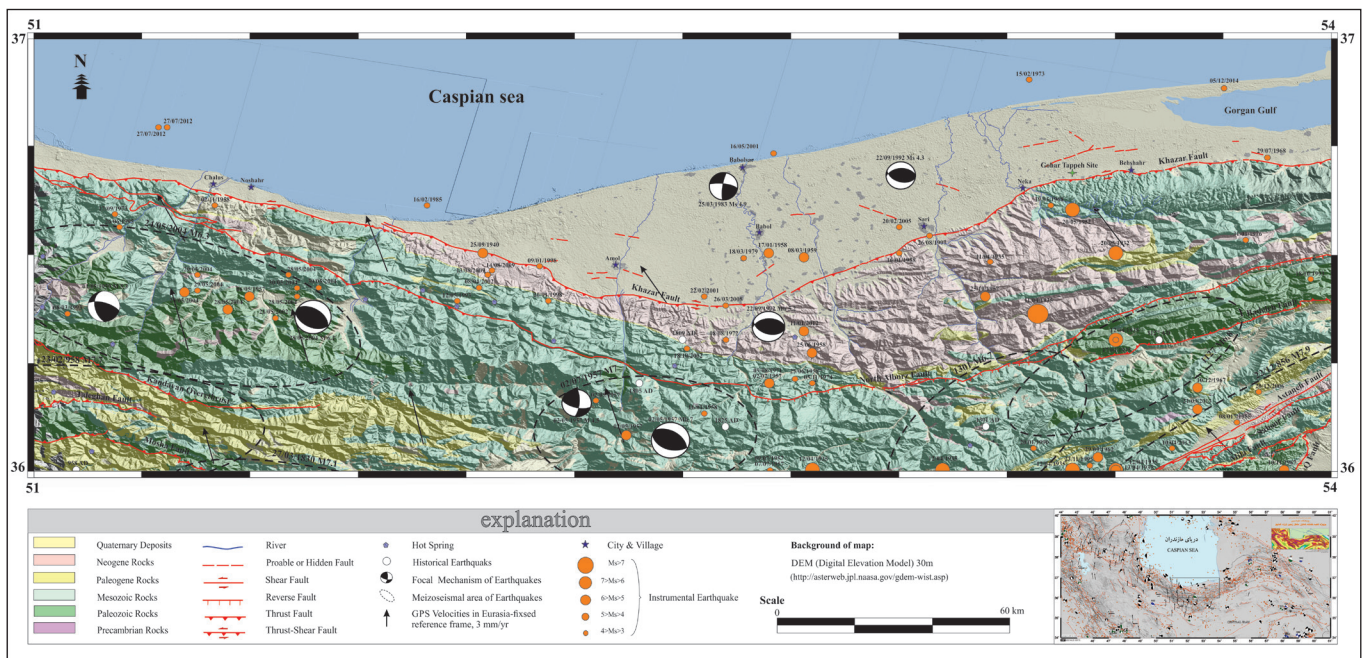
(Tatar et al. 2007) گسل خزر را یک گسل لرزه‌ای تک صفحه مستقل در ژرفا دانستند. داده‌های به دست آمده از تلفیق پژوهش‌های مغناطیسی هوایی و زیرسطحی (Brookfield and Hashmat 2001) و پژوهش‌های ریخت‌زمین‌ساختی (Nazari and Ritz 2008) و (Nazari 2006) گسل خزر را شاخه‌ای برآمده صفحه گسل شمال البرز در ژرفا می‌انگارد (شکل ۲). گسل خزر در طول خود با بریدن ترازهای گوناگون توپوگرافی با بیش از ۲۰۰ متر اختلاف و تغییر در اختلاف ارتفاع گسل یاد شده از سوی (Nazari and Ritz 2008) اندازه‌گیری شده است که می‌توان آن را ردی بر دیدگاه (Guest et al. 2006) دانست که از افزاز (Scarp) گسل خزر به عنوان یک افزاز کرانه‌ای و نه گسلی یاد می‌کند.

۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

ناحیه مورد بررسی در مختصات جغرافیایی ۳۶° 40' 42" N و ۵۳° 24' 7" E در پنج کیلومتری باختر بهشهر و دو کیلومتری شمال باختر شهر رستم کلا در استان مازندران قرار دارد. رستم کلا شهر کوچکی در بخش مرکزی شهرستان بهشهر است و در ۱۰



شکل ۲- مدل سه بعدی از بلندی‌های خاوری البرز مرکزی نشانگر گسل‌های خزر و شمال البرز در باختر آمل (Nazari, 2006).

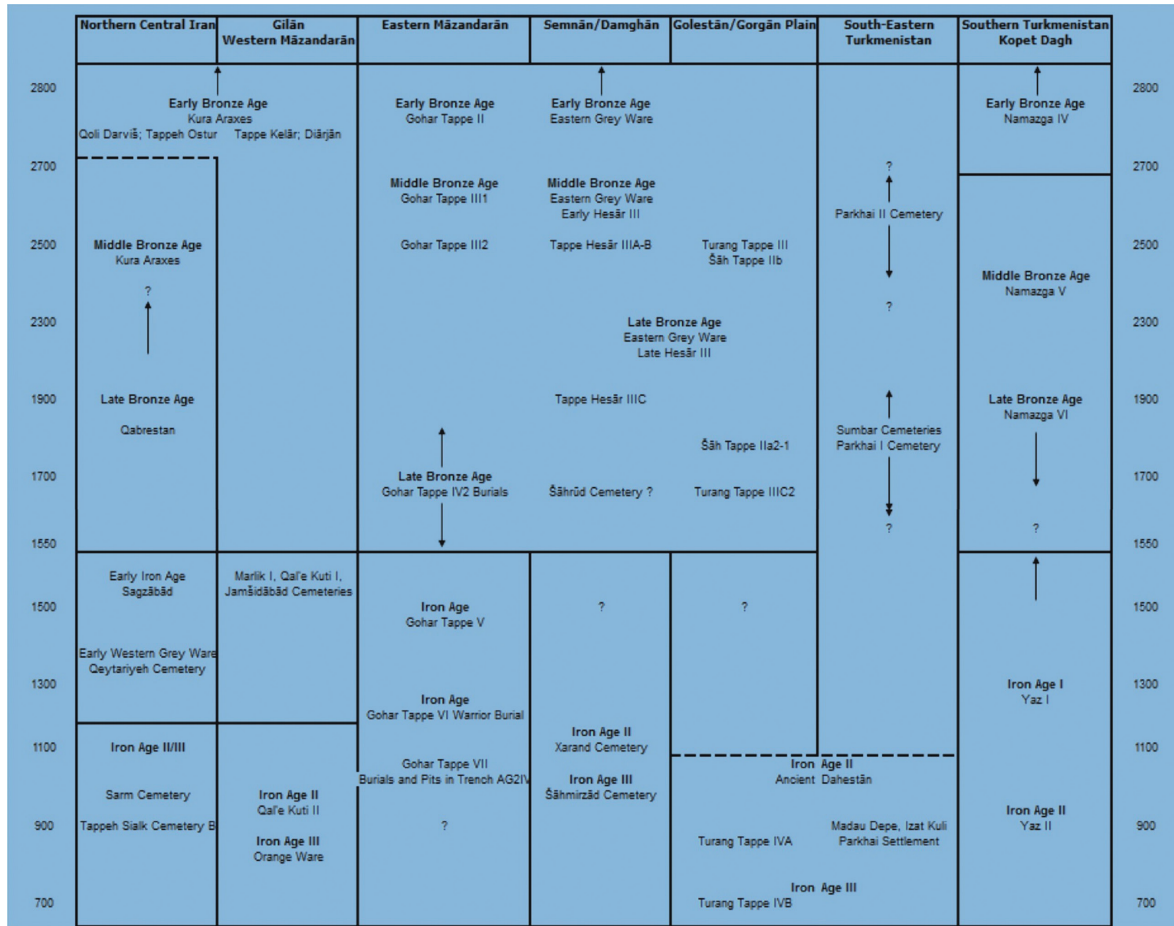


شکل ۳- موقعیت منطقه مورد بررسی بر روی نقشه لرزه‌زمین ساخت تهیه شده از محدوده.

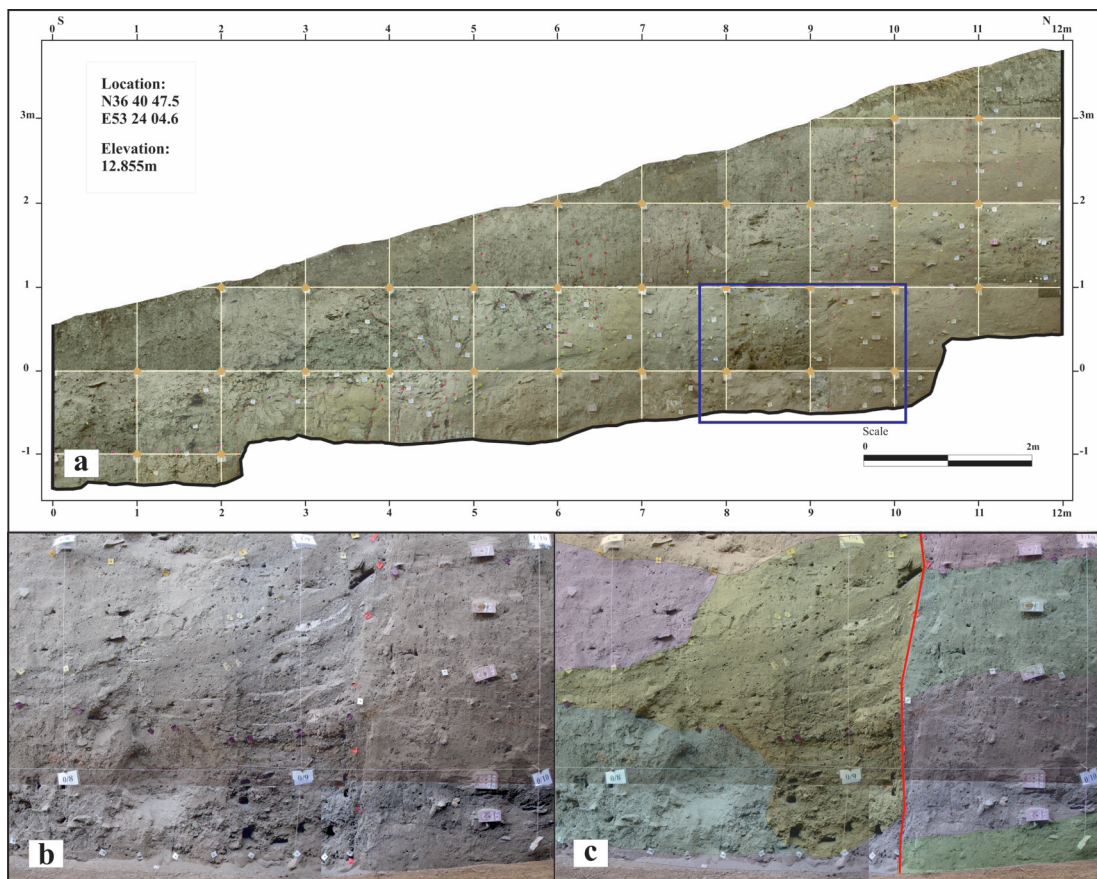
ترانشه موجود در سایت پیش از تاریخ گوهرتپه مشاهده شده است. اثر لرزش زمین لرزه‌ای مشاهده شده در سایت پیش از تاریخ گوهرتپه، ریزش و کج‌شدگی واحدها در محل گسلش است. گوهرتپه، سکونتگاه طبیعی نیست و در نتیجه فعالیت‌های انسانی شکل گرفته است. در نتیجه انتظار می‌رود که تمامی این واحدها تا حدودی به صورت یک دست و متناسب با شیوه زندگی آن مقطع زمانی شکل گرفته باشند. اما در قسمتی از محدوده مورد مطالعه چینه‌ها به‌طور ناگهانی به حالت مورب و واریزه‌ای در راستای گسیختگی (گسلش) قرار گرفته‌اند (واحد ۴ در لوگ دیواره ۱۲ متری)؛ به گونه‌ای که چینه‌ها در سوی دیگر گسیختگی، در بالا و پایین آن حالت افقی دارند و جابه‌جایی آشکاری نشان می‌دهند. این امر می‌تواند نشانه‌ای از رخداد زمین لرزه باستانی صورت گرفته در این محدوده باشد که سبب کج‌شدگی و جابه‌جایی واحدهای افقی شده است (شکل ۵).

در بین دوره مفرغ و آهن حدود ۲۰۰ سال این منطقه خالی از سکنه شد و در عصر آهن قبرستان به خارج از مکان مسکونی انتقال یافت و مکان دارای سراسیمبی را برگزیدند تا شاهد نفوذ آب نباشند. حالت پلکانی این تپه اولین چیزی است که توجه هر بیننده‌ای را به خود جلب می‌کند. به گفته کارشناسان هر طبقه نشانه یک دوره از زمان است. هرچه به طبقات پایین‌تر می‌رویم قدمت مکان بیشتر می‌شود. شکل ۴ گاه‌نگاری محدوده مورد پژوهش را در دوره‌های مفرغ و آهن نشان می‌دهد.

در مطالعات لرزه‌شناسی باستانی، اثرات لرزش گسل شامل شکستگی بنا، دیوار کج شده، چرخش عناصر ساختمان، خمیدگی جانبی، شکستن و سقوط دیوارها، چرخش عمودی اشیا (سنگ قبر، ستون‌ها، بناهای تاریخی) و خرد شدن گوشه و کنار بلوک‌ها که در نتیجه تمرکز تنش ایجاد شده‌اند، یکی از شواهد آرکتوسایزیمیک است (Archaeoseismic) است (Galadini et al., 2006) که نمونه‌ای از آن در دیواره



شکل ۴- گاه‌نگاری دوره‌های باستانی مفرغ و آهن در شمال ایران و جنوب ترکمنستان (برگرفته از Pillar and Mahfrouzi, 2009).



شکل ۵- آثار زمین لرزه گوهرتپه، الف) موقعیت اثر زمین لرزه بر روی تصویر یکپارچه شده از دیواره باختری ترانسه سایت گوهرتپه؛ ب) کج‌شدگی و ریزش چینه‌ها در اثر زمین لرزه پ) کج‌شدگی و ریزش چینه‌ها به همراه نمایش واحدهای چینه‌ای.

خزر به سمت ساحل و به زیر تپه پیشروی کرده باشد. با شکل گیری این شاخه گسلی یک پس راندگی با شیب به سمت شمال در بخش جنوبی تپه ایجاد شده است. جهت بررسی بیشتر ساختارهای موجود در منطقه از داده های ژئوفیزیکی همچون نیمرخ های ژئوالکتریک و GPR (تهیه شده توسط گروه ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی) استفاده شد. با توجه به ریخت زمین ساخت و مشاهدات ژئوفیزیکی انجام گرفته در سایت پیش از تاریخ گوهرتپه، می توان به صورت شماتیک موقعیت گسل اصلی خزر را در سوی جنوب و سامانه پیشرونده آن در شمال سایت به تصویر کشید (شکل ۷).

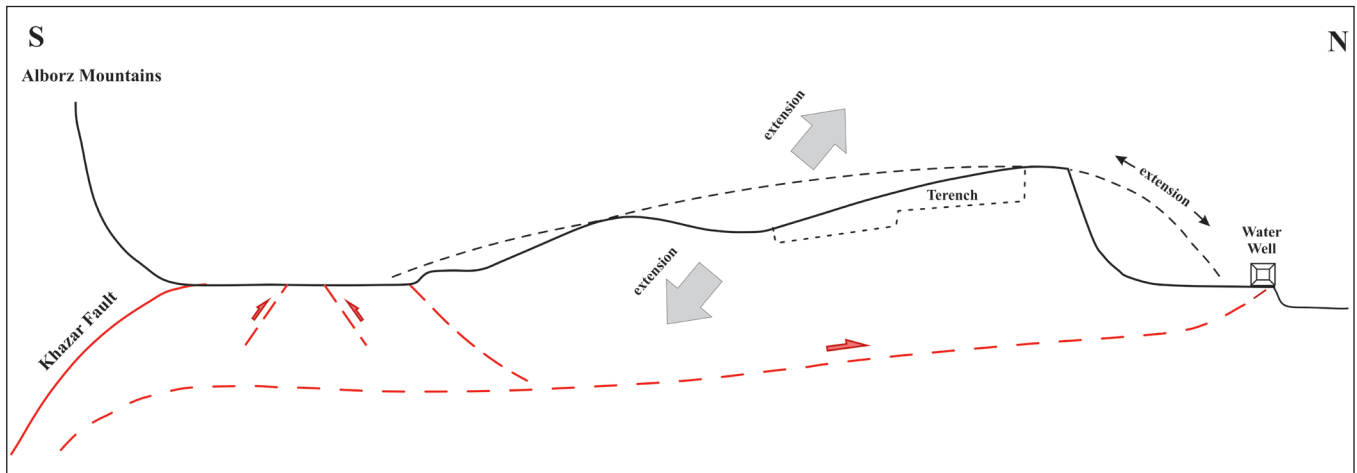
در بخشی از دیواره این موزه آثار گسلش و جابه جایی لایه های فرهنگی به سبب گسلش مشاهده شده (شکل ۶) که بیانگر رخداد زمین لرزه در این سایت است.

۵- ریخت زمین ساخت گوهرتپه

گوهرتپه در فاصله حدود ۲۰ کیلومتری از جنوب دریای کاسپین قرار گرفته است و نسبت به رشته کوه های البرز کمتر از یک کیلومتر فاصله دارد. این تپه در جنوب با یک افراز شروع می شود و در فاصله کمتر از دوست متری آن چاه آبی قرار گرفته است که بر روی یک افراز دیگر وجود دارد. با توجه به ریخت زمین ساخت مشاهده شده در منطقه انتظار می رود شاخه ای از گسل



شکل ۶- آثار گسلش در دیواره موزه سایت گوهرتپه.

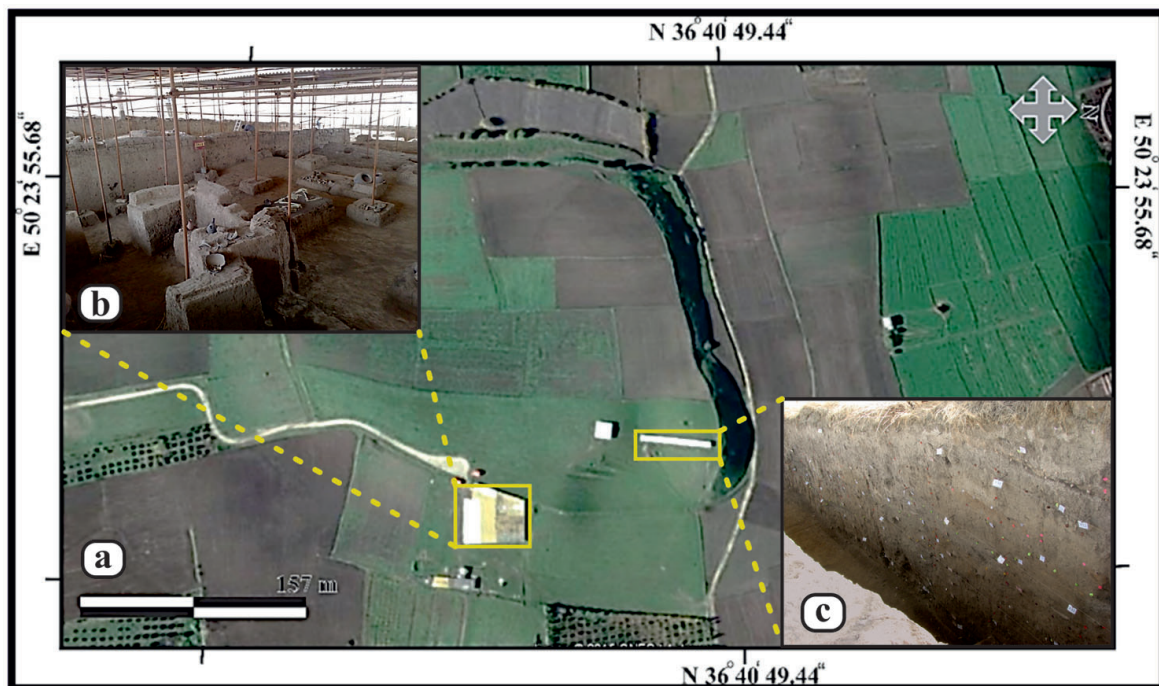


شکل ۷- مدل شماتیک ارائه شده از ریخت‌زمین ساخت محدوده مورد بررسی.

۶- بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی

گوهرتپه در شمال باختر شهر تاریخی بهشهر (مازندران) و در نزدیکی دو غار باستانی هوتو و کمر بند قرار گرفته است. درازای ترانشه مورد بررسی در حدود ۵۰ متر، در راستای شمالی-جنوبی به صورت پله‌ای حفر شده؛ در نتیجه ژرفای ترانشه در سراسر طول آن متغیر است. ترانشه به صورت مسقف و در موقعیت $N 36^{\circ} 40' 47.5''$ و $E 53^{\circ} 24' 04.6''$ قرار دارد (شکل ۸).

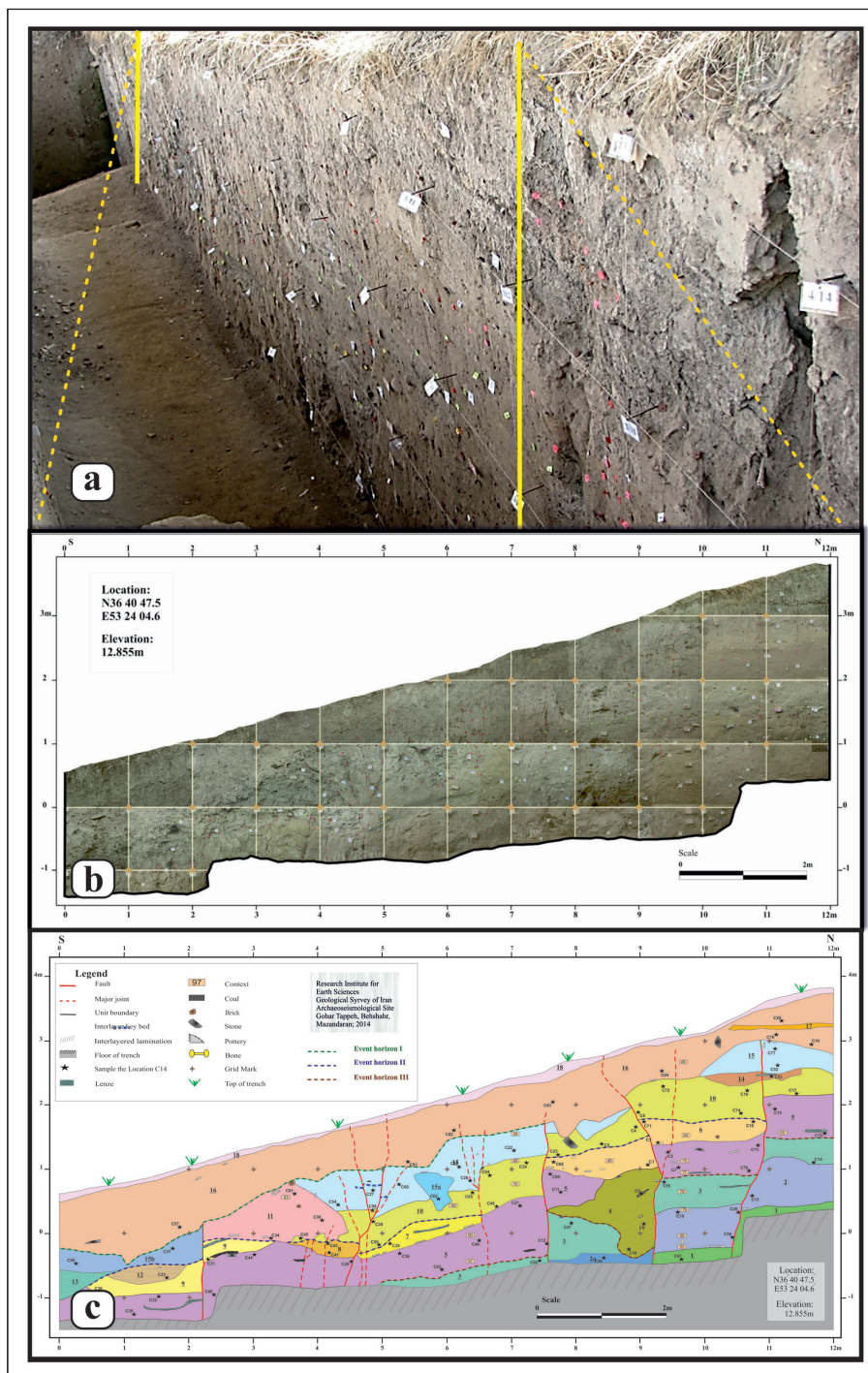
ساختگاه انتخاب شده جهت انجام پژوهش‌های پارینه‌لرزه‌شناختی، ترانشه حفر شده توسط سازمان میراث فرهنگی در سایت پیش از تاریخ گوهرتپه است. این ساختگاه، ترانشه لایه‌نگاری است که به وسیله مهندس ماهفروزی ایجاد شده است و بارها به وسیله باستان‌شناسان مورد پژوهش‌های باستانی قرار گرفته است (ماهفروزی، ۱۳۸۴).



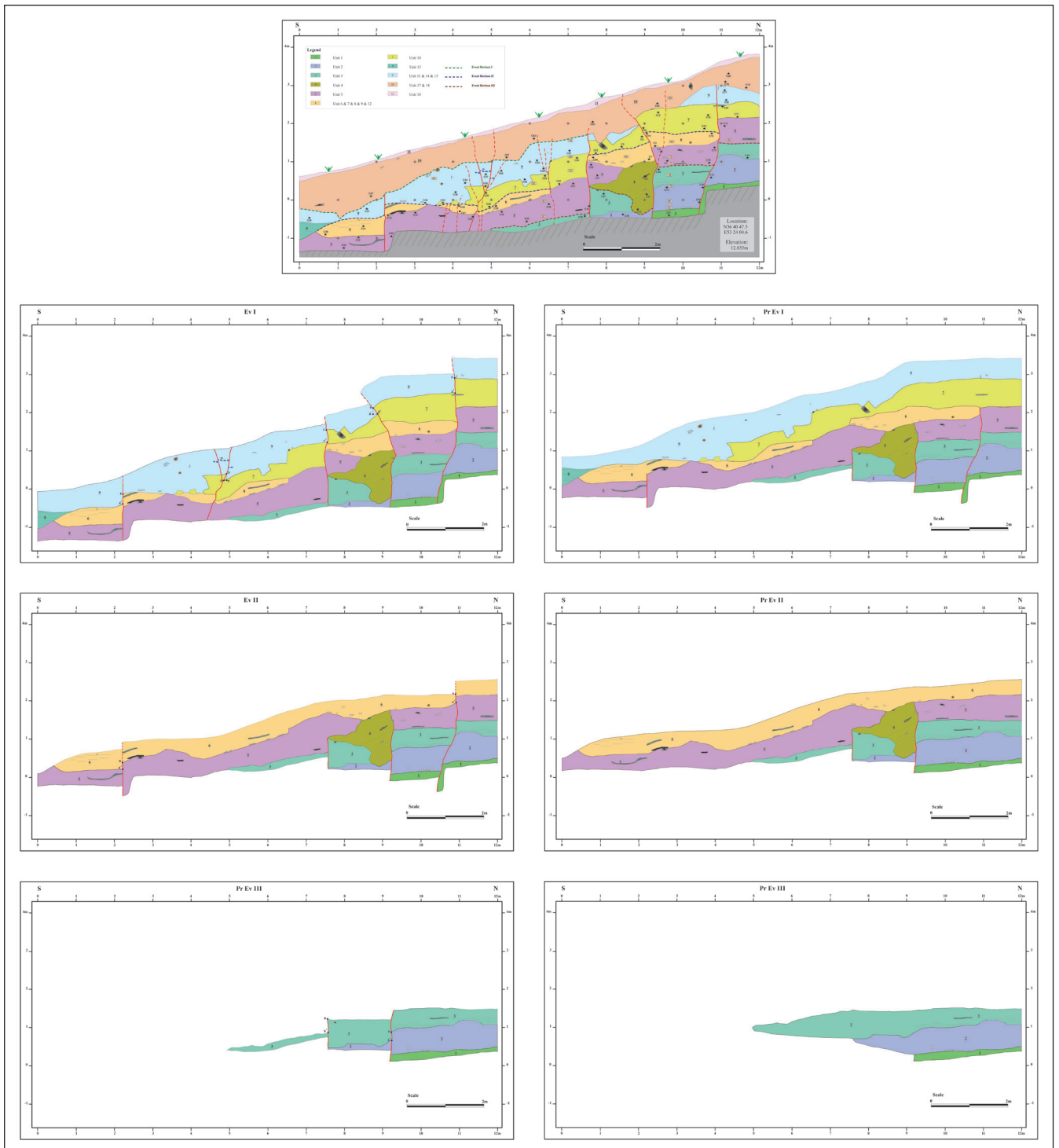
شکل ۸- الف) تصویر ماهواره Google Earth (www.maps.google.com) از سایت پیش از تاریخ گوهرتپه و ترانشه مورد مطالعه پارینه‌لرزه‌شناسی؛ ب) نمایی از موزه سایت پیش از تاریخ گوهرتپه؛ پ) نمایی از ترانشه مورد بررسی در سایت پیش از تاریخ گوهرتپه.

شده از محدوده ۱۲ متری دیواره ترانشه به همراه لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی آن نمایش داده شده است. به جهت تشابه بین تعدادی از واحدها، قبل از بازسازی لوگ، واحدهای مشابه با رنگ همسان به نمایش درآمده‌اند؛ و سپس بازسازی لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی صورت گرفته (شکل ۱۰) و ۴ رویداد زمین‌لرزه‌ای مشخص شده است (جدول ۱).

در این پژوهش، دو لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی از دیواره باختری ترانشه با مقیاس ۱:۲۰ تهیه شده که اولین لوگ، به طول ۱۲ متر از بخش جنوبی ترانشه تهیه شده است. در راستای تهیه سندی گویا از بخش مورد بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی، عکس‌برداری از کل دیواره صورت گرفته و از مجموع عکس‌ها، تصویری یکپارچه از محدوده‌های لوگ شده، تهیه شده است. در شکل ۹ تصویر پانوراما (یکپارچه)



شکل ۹- الف) نمای از محدوده داخلی ترانشه مورد بررسی و موقعیت بررسی پارینه‌لرزه‌شناسی؛ ب) نمای پانوراما شده از دیواره باختری ترانشه سایت گوهر تپه؛ پ) لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰ از دیواره باختری ترانشه سایت گوهر تپه.



شکل ۱۰- لوگک ایزوکرون شده به همراه بازسازی‌های صورت گرفته از بخش ۱۲ متری دیواره باختری ترانشه.

جدول ۱- شواهد رخدادهای شناسایی شده از لوگک ۱۲ متری دیواره باختری سایت گوهرتپه.

رویداد (Event)	افق رویداد (Event Horizon)	شواهد
I	کف واحد ۱۰	قطع و جابه‌جایی در واحدهای ۷ و ۹
II	کف واحد ۷	قطع و جابه‌جایی در واحدهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵
III	کف واحد ۵ و ۴	قطع و جابه‌جایی در واحدهای ۱، ۲ و ۳

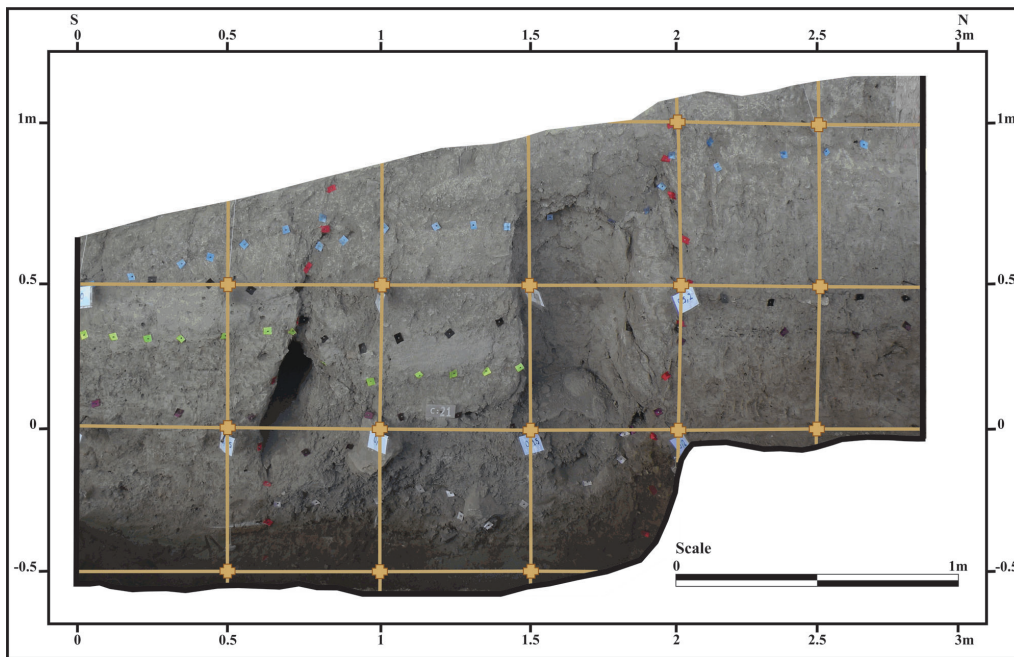
تعیین شده در لوگ‌ها حاصل وقوع یک رخداد هستند. بدین ترتیب در طول بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی در طول دیواره باختری ترانشه، ۵ رخداد زمین‌لرزه‌ای مجزا مشخص شده است (جدول ۳). در پایان، برآورد مجموع مقادیر جابه‌جایی و بزرگای زمین‌لرزه‌های پارینه، با بهره‌گیری از رابطه بزرگای زمین‌لرزه از Wells and Coppersmith (1994) انجام گرفته است.

$$M_w = 6.93 + 0.82 \log(AD)$$

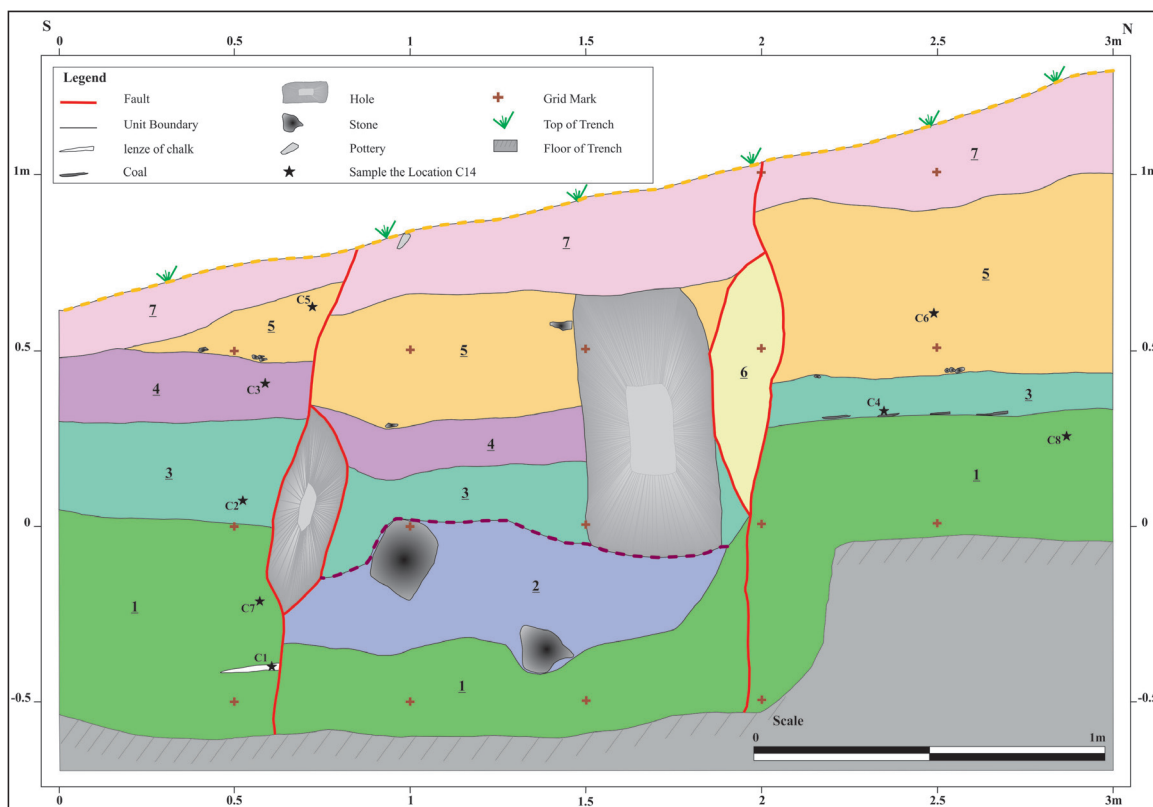
AD: Average Displacement

در ادامه بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی، ۳ متر دیگر از بخش شمالی تر دیواره باختری ترانشه (شکل ۱۱) در امتداد لوگ تهیه شده قبلی، مورد بررسی قرار گرفت و لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی (شکل ۱۲) از آن تهیه و پس از بازسازی پارینه‌لرزه‌شناسی از آن (شکل ۱۳) دو رویداد زمین‌لرزه‌ای از آن استنباط شد (جدول ۲).

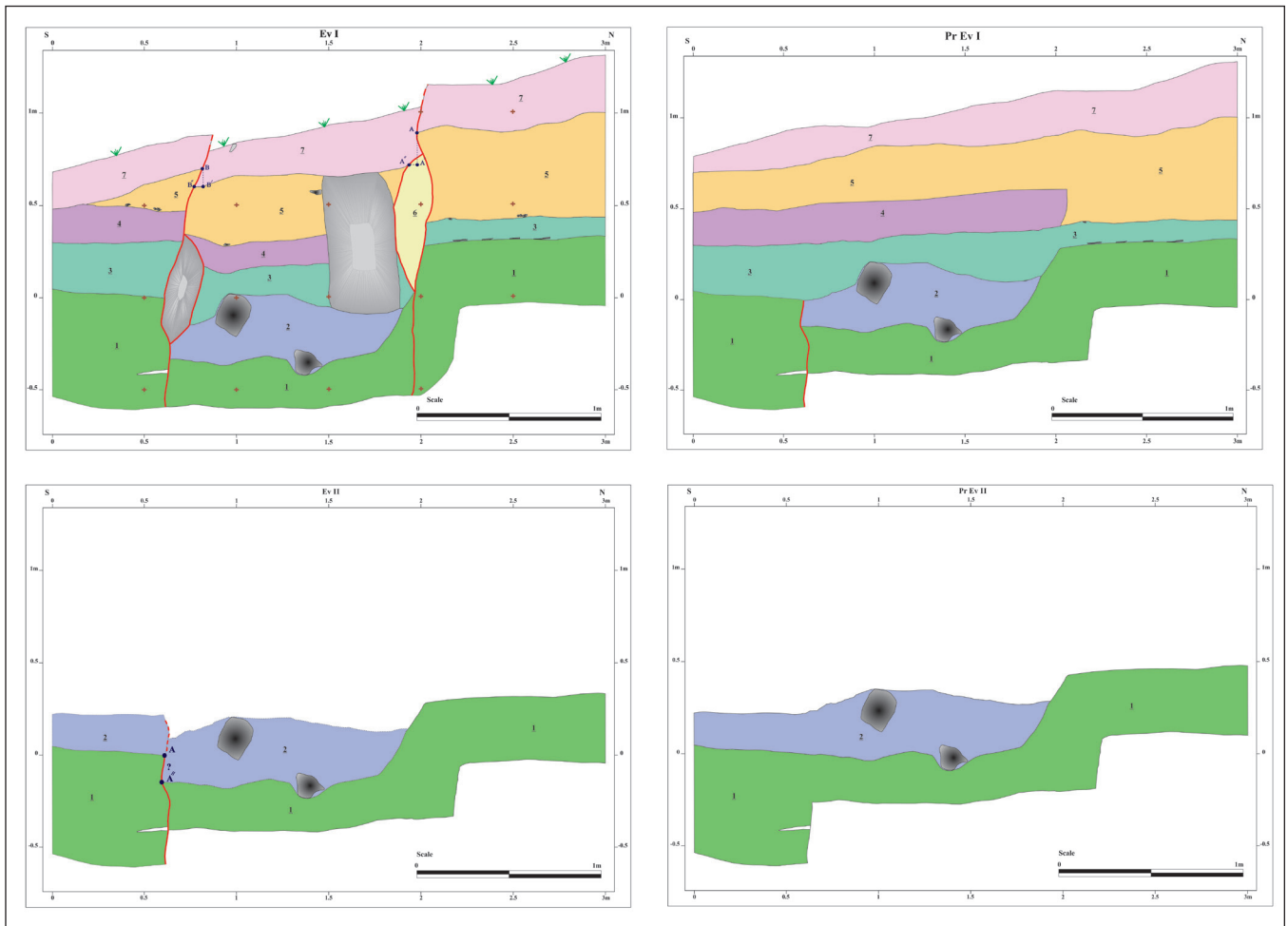
با مقایسه بین هر دو لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی تهیه شده از دیواره ترانشه، با در نظر گرفتن واحدهای یکسان در هر دو لوگ (واحدهای یکسان در هر دو لوگ با رنگ مشابه مشخص شده‌اند)، می‌توان چنین استنباط کرد که برخی رویدادهای



شکل ۱۱- تصویر پانورامای تهیه شده از بخش شمالی ترانشه.



شکل ۱۲- لوگ پارینه‌لرزه‌شناسی از بخش شمالی ترانشه.



شکل ۱۳- بازسازی‌های صورت گرفته از بخش ۳ متری دیواره باختری ترانشه.

جدول ۲- شواهد رخدادهای شناسایی شده از لوگ ۳ متری دیواره باختری سایت گوهرتپه.

شواهد	افق رویداد (Event Horizon)	رویداد (Event)
قطع و جابه‌جایی در واحدهای ۱، ۳، ۴ و ۵	کف واحد ۷	I
قطع و جابه‌جایی در واحدهای ۱ و ۲	کف واحد ۲	II

جدول ۳- برآورد مقادیر جابه‌جایی و بزرگای رخدادهای زمین‌لرزه‌ای پاریته در ترانشه سایت گوهرتپه با استفاده از رابطه $(M_w = 6.93 + 0.82 \text{ Log } AD)$

Event	Log A		Log B		AD (m) (Total Measurement)	MW
	Event	Measurement (cm)	Event	Measurement (cm)		
Event I	-	-	Ev I	31.5	0.31	~ 6.5
Event II	Ev I	137	-	-	1.37	~ 7.0
Event III	Ev II	39.8	-	-	0.39	~ 6.6
Event IV	Ev III	57.4	-	-	0.57	~ 6.7
Event V	-	-	Ev II	14.3	0.14	~ 6.2

قطعیت‌ها در برآورد خطر زمین‌لرزه می‌انجامد که این امر بسیار حائز اهمیت است. به لحاظ باستان‌شناسی نیز پی بردن 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 می‌توان در تحقیقات لرزه‌شناسی باستانی جست و جو کرد.

گوهرتپه بهشهر نیز با توجه به پیشینه تاریخی وسیع و به جهت قرارگیری در محدوده فعالیت گسل فعال خزر، لزوم انجام مطالعات لرزه‌شناسی باستانی را آشکار کرده است.

در مدل شماتیک ارائه شده در این پژوهش، پیشنهاد شده است که از گسل خاوری-باختری خزر، شاخه‌ای به سمت شمال و به زیر محدوده مورد بررسی پیشروی کرده است. در لبه جنوبی تپه، پس‌راندگی عمل کرده است. در فرادواره گسل تراستی به جهت عملکرد حداکثر کشش (Maximum extension)، فرسایش قابل ملاحظه‌ای اثر کرده است. همچنین در بخش شمالی تپه نیز کشش ناشی از تأثیر فعالیت گسل تراستی باعث فرسایش بخش شمالی تپه و فعالیت کشاورزان و پیشروی آنها به سمت تپه باعث تشدید تخریب تپه شده است.

بررسی نیمرخ‌های ژئوفیزیکی (GPR و ژئوالکتریک) تهیه شده در این پژوهش به خوبی تأیید کننده مدل ریخت‌زمین ساخت پیشنهاد شده از منطقه بوده است. همچنین جابه‌جایی‌های مندرج در نیمرخ‌های GPR دقیقاً منطبق با پرتگاه‌ها و جابه‌جایی‌های قابل مشاهده در منطقه و دیواره ترانشه است.

در ادامه بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی بر روی دیواره باختری ترانشه سایت گوهرتپه انجام گرفت. بر خلاف نبود زمین‌لرزه‌های تاریخی و دستگامی بزرگ در گستره گسل خزر، نتایج مطالعات پارینه‌لرزه‌شناسی ترانشه سایت گوهرتپه نشان از شواهد رخداد زمین‌لرزه‌های کهن بر روی گسل خزر در گستره زمانی ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ سال پیش دارد. بر پایه انطباق زمانی-چینه‌ای واحدها و شناسایی شواهد جنبش گسل خزر در ترانشه سایت گوهرتپه، دست کم ۵ رخداد زمین‌لرزه پارینه در طول حدود ۵۰۰۰ سال گذشته با بزرگای حدود ۶/۲ تا ۷/۰ در مقیاس بزرگای گشتاوری (Mw) شناسایی شده است.

با توجه به محدوده زمانی که بر اساس مطالعات باستان‌شناسی تعیین شده است، رخدادهای تشخیص داده شده در محدوده مورد بررسی بین بازه زمانی حدود ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ سال پیش رخ داده است. بدین ترتیب دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها را با فرض توزیع همگن رخدادها می‌توان محاسبه کرد. دوره بازگشت میانگین از تقسیم عدد حاصل از تفاضل سن رخداد اول و آخر بر تعداد فاصله (Interval) رخدادها به دست می‌آید. در نتیجه طبق محاسبات انجام شده دوره بازگشت میانگین رخدادهای زمین‌لرزه‌ای حدود ۳۷۵ سال است.

$$5000 - 3500 = 1500 \text{ yr}, \quad 1500 \div 4 = 375 \text{ yr}$$

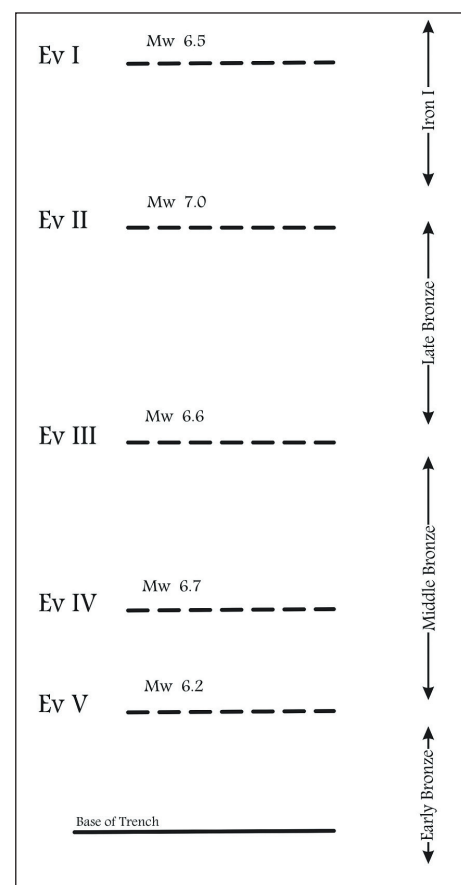
همچنین با برآورد جابه‌جایی‌ها در بازه زمانی مشخص، می‌توان نرخ کوتاه‌شدگی در منطقه را تعیین کرد. در منطقه مورد بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناسی 28.0 ± 14 سانتی‌متر جابه‌جایی مشاهده شده است که با توجه به بازه زمانی مشخص نرخ کوتاه‌شدگی $2/1 \pm 0/1$ میلی‌متر در سال برآورد شده است که این نرخ با داده‌های GPS پژوهش‌های پیش‌تر انجام شده در محدوده مطابقت دارد.

$$\Sigma \text{Displacement (mm)} \div \text{Time} = 2.1 \pm 0.1 \text{ mm/yr}$$

در بخش میانی ترانشه آثاری از وقفه چند صد ساله در ایجاد واحدها و در نتیجه نبود زندگی در این بخش مشاهده شده است. این در حالی است که در بخش‌های زیرین این قسمت شواهد رخداد زمین‌لرزه‌ای با بزرگای بالا مشاهده شده است. در این صورت چنین استدلال می‌شود که وقوع دو زمین‌لرزه پیش از تاریخ در این منطقه سبب از بین رفتن و یا کوچ و مهاجرت مردمان پیش از تاریخ گوهرتپه شده که این مطلب همسو با مطالعات باستان‌شناسی در منطقه است.

بزرگای هر رخداد با استفاده از پیشینه جابه‌جایی حقیقی و فرض گسلش مسبب در سازوکار عمودی (نرمال یا معکوس) برآورد شده است. از این رو بزرگای پنج زمین‌لرزه پارینه‌شناسی شده بر روی شاخه‌ای از گسل خزر در ترانشه سایت گوهرتپه در حدود ۶/۲ تا ۷/۰ در مقیاس Mw در بازه زمانی ۳۵۰۰ تا ۵۰۰۰ سال برآورد شده است. به توجه به قدمت دوره‌های زمانی باستانی و میزان رسوب‌گذاری و ستبرای واحدها، رویدادهای لرزه‌ای در دوره‌های باستانی محدوده مورد مطالعه (شکل ۱۴) برآورد شده است.

انجام آزمایشات تعیین سن کربن ۱۴ به منظور پی بردن به سن دقیق رویدادها، از واحدهای چینه‌ای متفاوت و در مرز بالایی و زیرین هر رویداد زمین‌لرزه‌ای در دست بررسی است که با ارائه نتایج آن می‌توان دوره بازگشت دقیق‌تری از زمین‌لرزه‌های رخ داده پیش‌بینی کرد.



شکل ۱۴- رویدادهای زمین‌لرزه‌ای روی داده در عصرهای زمانی باستانی گوهرتپه.

۷- نتیجه‌گیری

پی بردن به زمان، مکان و بزرگی زمین‌لرزه‌ها در نتایج مستقیم پژوهش‌های لرزه‌شناسی باستانی برای زمین‌لرزه‌شناسان و باستان‌شناسان اهمیت فراوانی دارد. از دیدگاه زمین‌لرزه‌شناسی مشخصه‌های یاد شده برای برآورد خطر زمین‌لرزه و تعیین دوره بازگشت زمین‌لرزه‌ها ضروری است. همچنین لرزه‌شناسی باستانی با فراهم کردن داده‌های تاریخی جدید، به تکمیل فهرست‌نامه زمین‌لرزه‌های تاریخی کمک می‌کند. روشن است که افزایش آگاهی نسبت به سابقه لرزه‌خیزی، به کاهش عدم

کتابنگاری

- آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ ص.
- شاه‌پسندزاده، م. و زارع، م.، ۱۳۷۴- بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه- گسلش در پهنه استان مازندران. پژوهشنامه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال چهارم، شماره ۵، صص. ۱۰ تا ۱۲.
- خرمی، ف.، حسامی، خ.، نانکلی، ح. ر. و توکلی، ف.، ۱۳۹۰- بررسی زمین‌ساخت جنبا در منطقه البرز با استفاده از مشاهدات شبکه دائمی GPS، فصلنامه علوم زمین سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۲، صفحه ۲۲۳ تا ۲۳۰.
- ماهفروزی، ع.، ۱۳۸۴- گزارش مقدماتی بررسی‌ها و کاوش‌های باستان‌شناختی در شرق مازندران، گزارش باستان‌شناسی ۲، ۱۶۳ ص.
- مجرم، م.، معاریان، ح. و زارع، م.، ۱۳۹۱- جستجوی زمین‌لرزه‌های تاریخی در تپه سیلک، با استفاده از باستان‌شناسی لرزه‌ای، مجله مطالعات باستان‌شناسی، شماره ۱، صص. ۲۰۳ تا ۲۲۰.

References

- Alavi, M., 1996- Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran. *Journal of Geodynamics* 21, 1– 33.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M. and Qorashi, M., 2003- Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology* 25, 659–672.
- Berberian, M., 1994- Natural Hazards and the First Earthquake catalogue of Iran, vol. 1, Historical Hazards in Iran Prior to 1900, A UNESCO/ IIEES Publication during UN/ IDND International Institute of Earthquake Engineering and Seismology Tehran, 603 + 66 p.
- Brookfield, M. F. and Hashmat, A., 2001- The geology and petroleum potential of the north Afghan platform and adjacent areas (northern Afghanistan, with parts of southern Turkmenistan, Uzbekistan and Tajikistan), *Earth Sciences reviews*, 71-41,55.
- Djamour, Y., Vernant, Ph., Bayer, R., Nankali, H. R., Ritz, J., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Moigne, N., Sedighi, M. and Khorrami, F., 2010- GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran. *Geophys. J. Int.* 183(3): 1287-1301.
- Galadini, F., Hinz, K. G. and Stiros, S., 2006- Archaeoseismology: methodological issues and procedure. *Journal of Seismology*, 10, 395-414.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S. and Hassanzadeh, J., 2006- Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, *Geosphere*, 2, 35–52.
- Nazari, H., 2006- Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran: Approche morphotectonique et paleoseismologique, PhD thesis. University of Montpellier II, Montpellier, France.
- Nazari, H. and Ritz, J. F., 2008- Neotectonic in Central Alborz, *Geosciences*, special issue, Vol17, N. 1, GSI.
- Nazari, H., Ritz, J. F., Talebian, M. and Moosavi, A., 2005- Seismotectonic map of the Central Alborz, Scale 1:250000, Geological Survey of Iran.
- Piller, K. and Mahfrouzi, A., 2009- First preliminary report on the joint Iranian-German excavations at Gohar Tappe, Mazandaran, Iran. AMIT Band 41.
- Ritz, J. F., Djamour, Y., Vernant, Ph., Hatam, Y., Bayer, R., Hinderer, J., Luck, B., Le-Moigne, N., Sedighi, M. and Boy, J. P., 2008- The present-day deformation in Alborz (Iran) depicted by GPS and gravity observations, Paris; SGF conference.
- Ritz, J. F., Nazari, H., Ghasemi, A., Salamati, R., Shafiei, A., Solaymani, S. and Vernant, P., 2006- Active tractions inside central Alborz: A new insight into northern Iran-southern Caspian geodynamics.
- Tatar, M., Jackson, J., Hatzfeld, D. and Bergman, E., 2007- The 2004 May 28 Baladeh earthquake (Mw 6.2) in the Alborz, Iran: over thrusting the South Caspian Basin margin, partitioning of oblique convergence and the seismic hazard of Tehran, *Geophys J. Int.*, 170, 249–261.
- Vernant, Ph., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M. R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F. and Chéry, J., 2004- Deciphering oblique shortening of central alborz in Iran using geodetic data, *Earth & Planetary Science Letters*, 233, 177-185.
- Wells, D. L. and Coppersmith, K. J., 1994- Empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seis. Soc. Am.* 84, 974–1002.

Archaeoseismological investigation along the Khazar fault system, based on the Paleoseismology (Gohar Tappeh protohistory Site, Behshahr- Mazandaran)

Z. Bakhtiarizadeh^{1*}, H. Nazari², M. A. Shokri³, A. Mahfroozi⁴ and A. Kaveh-firooz⁵

¹M.Sc., Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

²Associate Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

³M.Sc., Geological Survey of Gilan Center, Iran

⁴Assistant Professor, Faculty of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

⁵Ph.D. Student, University of Zurich, Zurich, Switzerland

Received: 2017 February 18

Accepted: 2017 November 07

Abstract

Archaeologists believe that men who lived in Archaeological sites of Mazandaran such as Komishan cave, Hutu and Kamarband, After leaving the cave were gradually formed the Gohar tappeh. Over time, people living with the loss of previous places were higher places. In Neolithic village has been form of rural life there, and And the Bronze period considered and the state of urbanization has found. Archaeological studies dating this area back to seven thousand years and findings of the Bronze era (the third millennium), Iron II Age (mid-second millennium B.C.) unfold it. this study provided Archaeoseismology based on knowledge paleoseismological on the fault system of the Khazar in the protohistory area on Gohar tappeh in Behshahr of Mazandaran province. Field reviews of paleoseismological has been in the archeology trenches of the Gohar tappeh site and geophysical data (GPR and geoelectric) from this range is evaluated at the appropriate scale. On the basis of paleoseismology researches, five earthquake events in period of 3500 to 5000 past years, with magnitude of 7 -6.2 on the moment magnitude scale (M_w) detected. The maximum displacement of detected index in paleoseismological observations by the Geophysical perceptions and GPR data also confirmed. Moreover the average course back of earthquake events is estimated at about 375 years. According to Archaeoseismology researches conducted in area, occurrence of earthquake events has been identified that in Range a few hundred years ago Cause loss or migration and immigration of protohistorical Gohar Tappeh people.

Keywords: Bronze era, Iron II Age, Archaeoseismology, Paleoseismology

For Persian Version see pages 209 to 220

*Corresponding author: Z. Bakhtiarizadeh; E-mail: zbakhtiarizadeh89@yahoo.com