

گاه‌نگاری جوان‌ترین جنبش لرزه‌ای گسل فیروزکوه با استفاده از روش کربن ۱۴

حمید نظری^{۱*}، ژان فرانسوا ریتز^۲، ریچارد واکر^۳، رضا سلامتی^۴، عباس قاسمی^۴ و علیرضا شافعی^۴

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

^۲ آزمایشگاه علوم زمین مونت‌پلیه، دانشگاه مونت‌پلیه، مونت‌پلیه، فرانسه

^۳ دپارتمان علوم زمین، دانشگاه اکسفورد، اکسفورد، انگلستان

^۴ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۱/۲۹

چکیده

گسل فیروزکوه در بیشتر بخش خود در لبه جنوبی دره فیروزکوه در باختر البرز مرکزی قرار دارد. گسل فیروزکوه با درازای ۷۰ کیلومتر و راستای جنوب باختری - شمال خاوری و سازوکار کار چپ‌گرد - کششی از جمله ساختارهای گسله و مهم در ناحیه البرز مرکزی است. از این گسل در گذشته به عنوان گسل فشاری با شیب به سوی جنوب یاد شده است. پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی و سن سنجی رادیو کربن در راستای گسل راستالغز - چپ‌گرد فیروزکوه نشانگر رخداد زمین لرزه‌های بزرگ در البرز مرکزی در طی هولوسن است. در این نوشتار داده‌های به دست آمده از یکی از دو ترانشه حفر شده با درازای ۴۵ متر، پهنای ۲ متر و ژرفای ۴ متر واقع در خاور فیروزکوه ارائه می‌شود. در محلی که اثرات به جای مانده از آخرین زمین لرزه رخ داده بر اثر جنبش گسل فیروزکوه در دومین ترانشه (F2) یافت شده است. رخداد آخرین زمین لرزه با اثرات به جای مانده از گسل خوردگی جوان بر روی نهشته‌های سطحی که خود به طور چینه‌ای پوشاننده آبرفت‌های دارای قطعاتی از استخوان‌های انسانی است، قابل رهگیری است. سن به دست آمده برای این قطعات استخوانی که در ژرفای ۷۰-۶۰ سانتی متری ترانشه یافت شده است بر اساس روش کربن ۱۴ برابر 28 ± 1159 سال (پیش از ۱۹۵۰ میلادی، BP) برآورد می‌شود. با توجه به نرخ لغزش برآورد شده در هر رخداد لرزه‌ای که از بررسی نگاشت (لوگ) پارینه لرزه‌شناسی دیواره خاوری ترانشه (F1) به دست آمده است، بزرگای برآورد شده برای هر لرزه کهن نزدیک به ۷ است.

کلیدواژه‌ها: فیروزکوه، پارینه لرزه‌شناسی، کربن ۱۴، ترانشه

* نویسنده مسئول: حمید نظری

E-mail: h.nazari@gsi.ir

۱- مقدمه

گسل فیروزکوه با درازایی نزدیک به ۷۰ کیلومتر از پایانه خاوری گسل مشا در باختر روستای امین‌آباد تا گردنه گدوک بر روی تصاویر ماهواره‌ای و هوایی در مقیاس‌های گوناگون دیده می‌شود (Nazari, 2006)، (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی، این گسل بین سنگ نهشته‌های ژوراسیک - کراتاسه در بخش خاوری (فرادیواره) و نهشته‌های پلیو کواترنری در بخش باختری (فرو دیواره) گسل قرار دارد (Aghanabati and Hamed, 1994) (شکل ۲). این گسل با راستای جنوب باختری - شمال خاوری در دامنه شمالی بلندی‌های جنوب فیروزکوه قرار دارد که با بخشی از خطواره مغناطیسی F-16 (Yossefi and Friedburg, 1977) برابر است. از این گسل در ابتدا به عنوان گسل رانندگی با صفحه‌ای به سوی جنوب (Berberian et al., 1996) و پس از آن در شمار گسل‌های راستالغز با برش چپ‌گرد، (Allen et al., 2003; Jackson et al., 2002) و سپس چپ‌گرد با مؤلفه نرمال یاد شد (Nazari et al., 2005; Nazari, 2006) (شکل ۳).

اگر چه تعیین هندسه و سازوکار جنبش جوان گسل فیروزکوه به سبب الگوی پراکنش دگرشکلی بر روی پاره گسل‌های گوناگون گاه مشکل می‌نماید (شکل ۴). در بزرگ مقیاس وجود بلندی‌های خاوری و الگوی دگرشکلی جوان در پهنه گسل بویژه در گستره حوزه فیروزکوه نشان از سازوکار راستالغز چپ‌گرد با مؤلفه قائم برای گسل فیروزکوه دارد. در یک رژیم زمین ساخت فشاری می‌توان چنین انگاشت که مؤلفه یاد شده یک مؤلفه رانندگی است که سبب شکل‌گیری و برپایی ریختار عمومی ناحیه بر روی صفحه‌ای گسلی با شیب به سوی جنوب خاوری شده است. داده‌های تاریخی لرزه‌ای و یا لرزه‌خیزی بزرگ دستگاهی زیادی از این منطقه که بتوان آن را منسوب به گسل فیروزکوه دانست در دست نیست. از دیدگاه تاریخی اگر چه گسل فیروزکوه در پهنه لرزه‌ای زمین لرزه کومس (856 AD , $I_0 = X$, $M_s = 7.9$) قرار دارد، ولی با توجه به جایگاه میان کوهستانی فیروزکوه، زمین لرزه تاریخی شناخته شده و مشخص دیگری برای آن ارائه نشده است. با توجه به گستره لرزه‌ای هر زمین لرزه رخ داده در گستره فیروزکوه، زمین لرزه‌های دستگاهی دیگری مانند زمین لرزه سال‌های

۱۹۷۳، ۱۹۶۹، ۱۹۷۵، ۱۹۷۹، ۱۹۸۵، ۱۹۸۹، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۸ میلادی را می‌توان در گستره کارکرد این گسل در نظر گرفت (Ambrasys and Melville, 1982). بیشتر این زمین لرزه‌ها بزرگایی کمتر از $m_b = 4.8$ دارند و از این میان زمین لرزه گدوک (1990 AD , $I_0 = \text{VII}$, $M_s = 5.8$) به عنوان بزرگ‌ترین زمین لرزه دستگاهی شناخته شده در گستره این گسل جای می‌گیرد. برخلاف نبود داده لرزه‌ای تاریخی مشخص در منطقه فیروزکوه، بررسی‌های زمین ریخت‌شناسی و پارینه لرزه‌شناسی انجام شده ۵ ساله گذشته بر روی گسل فیروزکوه (Nazari, 2006) داده‌های آشکاری از سابقه لرزه‌خیزی و نرخ لغزش جوان این گسل جنبه $(2 \text{ mm/yr} \leq)$ را به دست داد. از این رو با توجه به نزدیکی گستره اثر گسل فیروزکوه به شهرهایی چون فیروزکوه، دماوند، سمنان و تهران، شناخت هر چه بیشتر هندسه، سازوکار و ویژگی‌های لرزه‌ای گسل جنبه‌ای فیروزکوه امکان برآورد فاکتورهای خطر زمین لرزه احتمالی از جنبش دوباره این گسل را فراهم می‌آورد. با این هدف شناخت و گاه‌نگاری آخرین زمین لرزه روی داده از اهمیت بسیاری برخوردار است. در نوشتار پیش روی، برای دست یافتن به چنین مهمی از تعیین سن قطعات استخوان‌های انسانی یافت شده در یکی از ترانشه‌های حفر شده بر روی پهنه گوژ گسل فیروزکوه با روش کربن ۱۴ به همراه چینه‌نگاری کواترنری نهشته‌های آبرفتی جوان در خاور فیروزکوه بهره گرفته شده است.

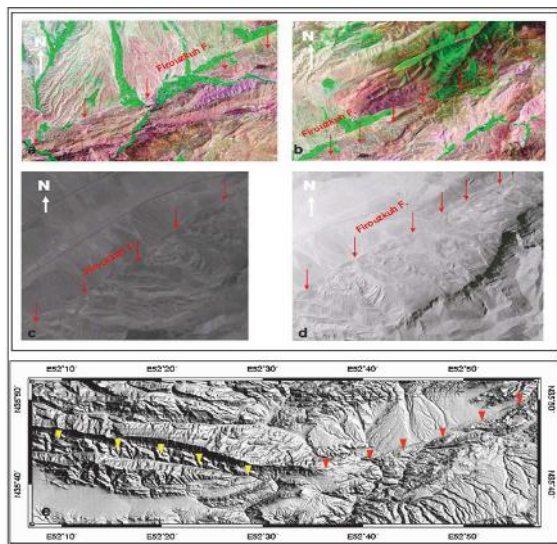
۲- ترانشه‌زنی و چینه‌نگاری کواترنری

پژوهش‌های پارینه لرزه‌شناسی بر روی گسل فیروزکوه با ۳ ترانشه موفق و ۲ ترانشه کنترلی به صورت عمود بر راستای عمومی گسل بین سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۶ به اجرا در آمد که از این میان دو ترانشه (F1, F2) با درازای ۷۰ و ۴۰ متر و میانه ژرفای ۴ متر در خاور روستای شمس‌آباد و در بخش خاوری گسل فیروزکوه بر روی پرتگاه گسلی با بیشینه بلندی ۳ متر در دامنه شمالی کوه "تولی" طی سال ۲۰۰۴ حفر شد. ترانشه F1 یا ترانشه خاوری در مختصات جغرافیایی $35^\circ 47' 03'' \text{ W}$ & $52^\circ 51' 05'' \text{ E}$

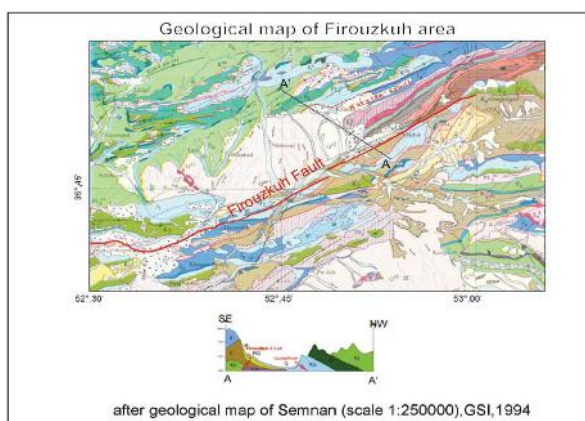
بقایای آلی یافت شده، ناهمسانی به دست آمده در نرخ رسوبگذاری را می‌توان به محیط رسوبگذاری رودخانه و دشت‌های سیلابی و شرایط حاصل از طغیان‌های فصلی نیز نسبت داد. در انگاره‌ای دیگر یعنی درجا نبودن استخوان‌های یافت شده نیز در صورت فرض انتقال و جایگیری دوباره قطعات استخوانی، ناچار به پذیرش جوان‌تر بودن سن ته نشست نهشته‌های میزبان بقایای آلی خواهیم بود که در این صورت نرخ رسوبگذاری به مراتب بیش از مقدار برآورد شده می‌شود. به هر روی، با فرض درست بودن این انگاره نیز در برآورد پیشینه زمان آخرین رخداد لرزه‌ای منسوب به گسل فیروزکوه تغییری به وجود نمی‌آید.

سپاسگزاری

با سپاس بسیار از م. قرشی و ع. سعیدی از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به سبب پشتیبانی‌های بسیار از پژوهش‌های پارینه لرزه شناسی و ح. علی محمدی به سبب همفکری و ایجاد انگیزش در انجام آزمایش‌های کربن ۱۴ همین طور با سپاس ویژه از علوم‌زمین مونت‌پلیه برای همراهی و حمایت‌های مالی و علمی.



شکل ۱- (a, b) بخش باختری و خاوری گسل فیروزکوه بر روی تصاویر ماهواره‌ای (c, d) عکس‌های هوایی گستره فیروزکوه در مقیاس ۱:۵۵۰۰۰. پیکان‌های سرخ نشانگر گسل فیروزکوه است. (e) عکس نقشه‌رقومی ارتفاعی دره‌مشا و دره فیروزکوه بر اساس داده‌های SRTM است، سه گوش‌های زرد و سرخ بر روی این تصویر به ترتیب نشانگر گسل‌های مشادر باختر و گسل فیروزکوه در خاور DEM هستند، چهار گوش سفید نشانگر گستره مورد بررسی بر روی گسل فیروزکوه در باختر شهر فیروزکوه است.

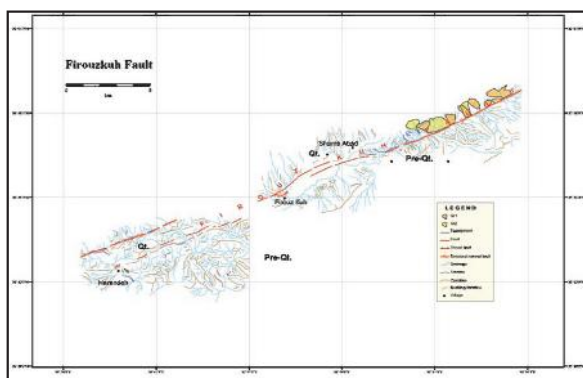


شکل ۲- بخشی از نقشه زمین‌شناسی (۱:۲۵۰۰۰۰) سمنان در راستای گسل فیروزکوه به همراه برش ساختمانی ساده شده از دره فیروزکوه در فاصله AA'.

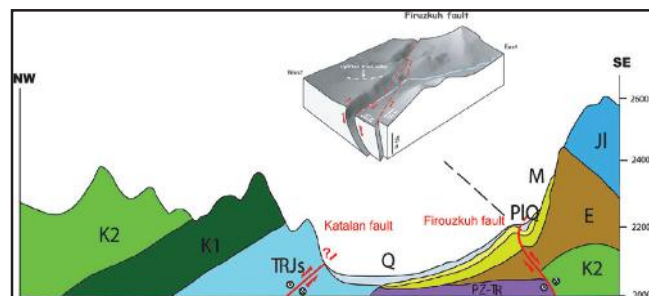
بر روی نهشته‌های دریاچه‌ای حوضه‌ای فرو افتاده و مسدود شده در اثر جنبش احتمالی گسل فیروزکوه به اجرا درآمد و تحلیل نگاشت تهیه شده از دیواره خاوری ترانشه F1 نشان از وجود ۲-۳ رخداد کهن لرزه‌ای با بزرگایی نزدیک به ۷ بر روی گسل فیروزکوه دارد، (Nazari, 2006) (شکل ۵). برش رسوبات جوان سطحی واحد ۵ در دو پهنه گسل خورده در بخش شمالی و هم در بخش جنوبی ترانشه نشانگر اثرات به جای مانده از جوان‌ترین رخداد لرزه‌ای حاصل از جنبش گسل فیروزکوه در این ناحیه است (شکل ۵). ترانشه F2 با فاصله‌ای نزدیک به ۵۰۰ متر در باختر ترانشه اول که رخنمونی کشیده از نهشته‌های کهن، برشی شده و هم راستا با گسل فیروزکوه بر روی و پشت بلندی پرتگاه گونه‌ای مشتمل بر سنگ نهشته‌های ائوسن - میوسن با ساختاری گوزگون در کناره یک آبراه حفر شد (شکل ۶-a, b). جایی که در ژرفای ۷۰-۶۰ سانتی متری آن بقایایی از اسکلت انسان در میان نهشته‌های آبرفتی یافت شد، (شکل ۷ و ۸-a). تحلیل نگاشت رسم شده از دیواره باختری ترانشه یاد شده به ژرفای نزدیک به ۳ متر آشکارا نشانگر وجود گسل‌های کهن در میان سنگ‌های برشی و گوزنی شده منسوب به ائوسن - میوسن با شیبی به سوی جنوب است (شکل ۸-b). گسل یاد شده در بخش شمالی ترانشه F2 با پوششی نزدیک به ۳۰ سانتی متر از نهشته‌های جوان سطحی پوشیده می‌شود. اگر چه سترای کم نهشته‌های سطحی (واحد ۱) بر روی پهنه گسل خورده، تجزیه دقیق وضعیت ساختاری رسوبات جوان را مشکل می‌نماید، اما وجود درزه‌هایی پیش‌رونده در راستای گسل کهن در میان این آبرفت‌های سطحی (کوآترنری) را می‌توان در نتیجه اثرات به جای مانده از رخداد‌های جوان حاصل از جنبش گسل فیروزکوه دانست که با شواهد و داده‌های به دست آمده از ترانشه F1 در هماهنگی است. جایگاه چینه‌ای آبرفت‌های در بردارنده استخوان‌های انسانی (واحد ۴) و نهشته‌های سطحی (واحد ۱)، جوان و گسل خورده این باور را فراهم می‌آورد که پیشینه زمان رخداد لرزه‌ای باید جوان‌تر از سن رادیومتری که به دست آمده برای بقایای آلی انسانی به دست آمده با روش کربن ۱۴ (28 ± 1159) باشد. با این دیدگاه دوره بازگشت لرزه‌ای در بازه زمانی نزدیک به ۱۰۰۰ سال برای گسل فیروزکوه در همخوانی قابل قبولی با داده‌های برآورد شده برای گسل‌های مشا و آستانه در دو سوی باختری و خاوری آن و همچنین داده‌های GPS است، (Ritz et al., 2003; Nazari, 2006; Djamour et al., 2008; Talebian et al., 2008).

۳- نتیجه‌گیری

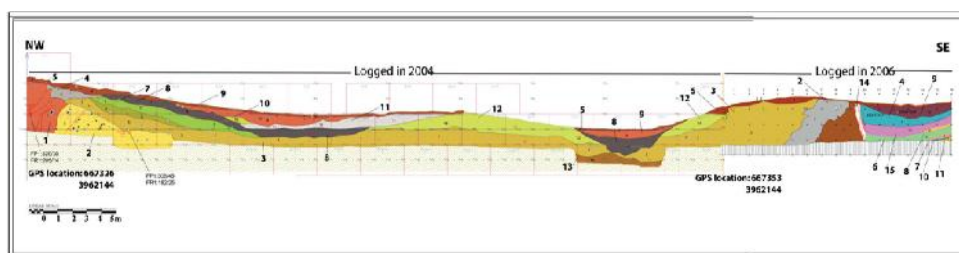
گاه به دست آمده با روش کربن ۱۴ برای استخوان‌های انسانی یافت شده در ترانشه پارینه لرزه‌شناسی F2 بر روی گسل فیروزکوه، نشانگر سنی بین ۱۱۳۱ تا ۱۱۸۷ سال برای نهشته‌های آبرفتی میزبان این بقایای آلی است. از آن جا که این رسوبات آبرفتی (واحد ۴) از دیدگاه چینه‌ای در زیر بالاترین افق چینه‌ای از نهشته‌های جوان و گسل خورده سطحی (واحد ۱) قرار می‌گیرند و چون نهشته‌های سطحی بر اثر جنبش جوان گسل فیروزکوه بریده شده‌اند و این نهشته‌ها همان گونه که اشاره شد از نهشته‌های در بردارنده قطعات استخوانی جوان‌تر هستند، پس می‌توان پیشینه زمان رخداد آخرین زمین لرزه منسوب به جنبش دوباره گسل فیروزکوه را پس از زمان به دست آمده (28 ± 1159) برای بقایای استخوانی دانست. از دیگر سوی، با توجه به ژرفای استخوان‌های یافت شده در ترانشه F2 (۷۰-۶۰ سانتی متر) و این که اسکلت انسان یافت شده در ساختمانی گور مانند نبوده است می‌توان چنین انگاشت که زمان مرگ و جایگاه جسد همان سطح زمین در زمان حادثه! بوده است. حال با فرض برابر انگاشت نرخ فرسایش و برپایی احتمالی ناحیه می‌توان نرخ رسوبگذاری محلی را برای دوره یاد شده در بازه ۱/۹-۱/۷ میلی متر بر سال در نظر گرفت که مقدار برآورد شده از دو برابر نرخ برآورد شده برای نهشته‌های سازنده هزار دره (0.62 mm/yr) در ناحیه ایوان کی در جنوب تهران است، (Ballato et al., 2008). در صورت پذیرش درجا بودن



شکل ۴- کارتوگرافی گستره گذر گسل فیروزکوه با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۵۵,۰۰۰.



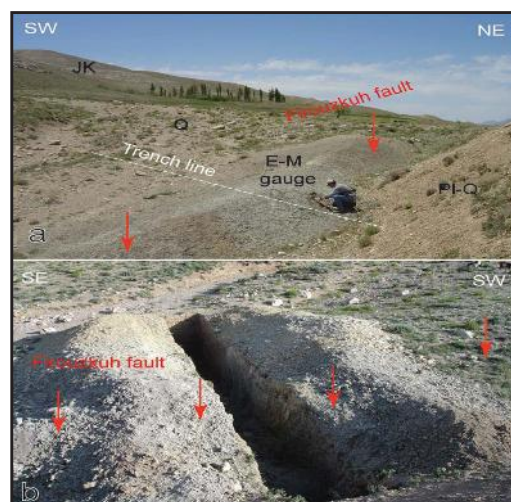
شکل ۳- برش ساختمانی ساده شده دره فیروزکوه در گذر گسل‌های فیروزکوه در جنوب دره و کتلان در شمال آن به همراه مدل ۳ بعدی رقومی- ارتفاعی گستره مورد پژوهش بر روی گسل فیروزکوه فراهم آمده با استفاده از جی‌پی‌اس کینماتیک.



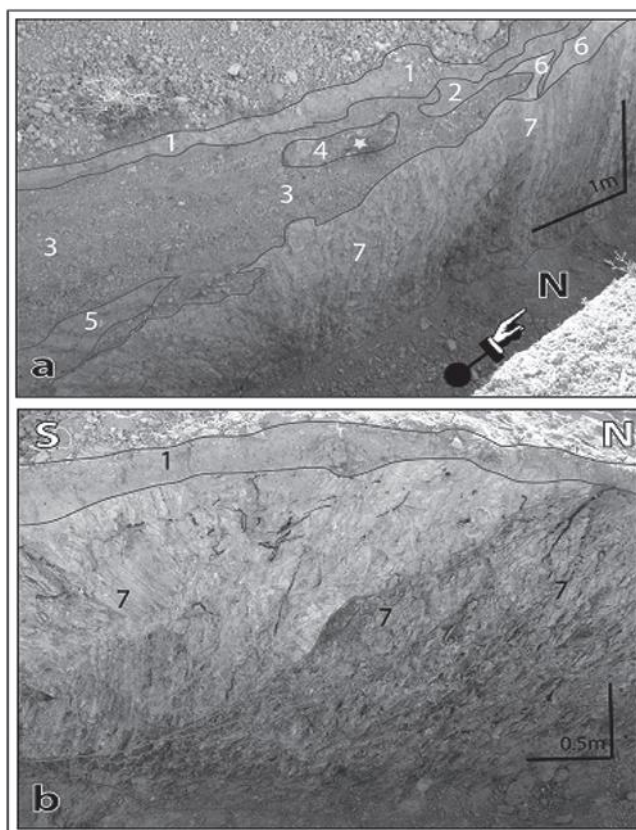
شکل ۵- نگاشت تهیه شده از دیواره خاوری ترانشه F1 حفر شده در خاور شهر فیروزکوه و روستای شمس‌آباد (۱). سنگ آهک سرخ تا قهوه‌ای (گوژ) با ۱۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۰/۵ تا ۱۵ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی. (۲) سیلت‌های سفید تا کرم رنگ آهکی- گچی با ۵۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۰/۵ تا ۱۰ سانتی‌متر بدون چینه‌بندی. (۳) سیلت رسی قهوه‌ای روشن با ۳۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۳-۴ سانتی‌متر، چینه‌بندی ضعیف. (۴) سیلت گچی خاکستری روشن با ۵ درصد قطعه در اندازه ۲-۳ سانتی‌متر، گرد شده بدون چینه‌بندی. (۵) سیلت قهوه‌ای با ۴۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۳-۱۰ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی با گردشگی میانه. (۶) سیلت قهوه‌ای روشن با گچ و ماسه خاکستری و ۳۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۲-۳ سانتی‌متر، چینه‌بندی و گرد شدگی ضعیف. (۷) سیلت گچ‌دار ماسه‌ای خاکستری روشن با ۳۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۳-۲/۵ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی. (۸) سیلت گچ‌دار خاکستری روشن با ۲ درصد قطعه در اندازه کوچک‌تر از ۲ سانتی‌متر. (۹) ماسه لیمونیتی شده قهوه‌ای روشن، در پاره‌ای بخش‌ها دارای گچ با ۲۵ درصد از قطعات نیمه گرد شده در اندازه ۷-۳ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی. (۱۰) سیلت ماسه‌ای گچ‌دار قهوه‌ای روشن با ۱۰ درصد از قطعات گرد شده در اندازه ۳-۱۳ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی با گردشگی میانه. (۱۱) سیلت گچ‌دار سفید رنگ با کمتر از ۲ درصد قطعه. (۱۲) سیلت گچ‌دار ماسه‌ای خاکستری روشن با ۵ درصد از قطعات گرد شده در اندازه کوچک‌تر از ۰/۵ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی. (۱۳) سیلت ماسه‌ای قهوه‌ای روشن با کمی گچ، ۳۰ درصد از قطعات با گردشگی میانه در اندازه ۵-۰/۵ سانتی‌متر، بدون چینه‌بندی. (۱۴) گوژ گسل کرم رنگ با زمینه سیلتی. (۱۵) مشابه واحد ۴ با یک لایه نازک از کنگلومرا در کف و قطعاتی بین ۷-۱ سانتی‌متر و لکه‌های گچی در متن.



شکل ۷- قطعاتی جابه‌جا شده از استخوان‌های باقیمانده از اسکلت انسانی یافت شده در ترانشه F2.



شکل ۶- (a) نهشته‌های رنگین گوژ منسوب به زمان انوسن- میوسن برآمده در راستای گسل فیروزکوه (پیکان‌های سرخ)، پاره خط سفید نشانگر راستای ترانشه حفر شده (نشان داده شده در (b) عمود بر راستای گذر گسل است.



شکل ۸- (a,b) نشانگر دو نگاه متفاوت از نگاشت رسم شده از عکس دیواره باختری ترانشه F2 بر روی پهنه گسل خورده گوژ، ستاره زرد در میان واحد ۴ مکان استخوان‌های یافت شده است. (۱) خاک سطحی شامل سیلت و بقایای آلی گیاهی با درز و ترک (گسل خورده) در ادامه سطحی گسل فیروزکوه حاصل از جنبش احتمالی دوباره گسل فشاری کهن با سازوکار جوان چپ‌گرد و نرمال. (۲) نهشته‌های سیلتی کرم رنگ به ندرت دارای قطعات بزرگ‌تر از ۲ سانتی‌متر و چینه‌بندی بسیار ضعیف، منشأ گرفته از پرتگاه شمالی حاصل از عملکرد مؤلفه نرمال گسل فیروزکوه. (۳) آبرفت‌های خاکستری دارای چینه‌بندی، اندازه پاره‌ای قطعات تا ۱۵ سانتی‌متر. (۴) پرشدگی کانال آبراهه، خاکستری با قطعاتی در اندازه میانه ۱۵ سانتی‌متر و زمینه ماسه‌ای. (۵) نهشته‌های ریز دانه کرم تا خاکستری روشن از عدسی در میان کانال آبراهه. (۶) واحد هوازده روشن، کرم رنگ از دگرسانی سطح واحد سنگی (۷،۷) سنگ نهشته‌های دگر شکل، برشی شده و گوژی شده (انوسن - میوسن) بر اثر جنبش چند باره گسل فیروزکوه با شیب به سوی جنوب خاوری.

References

- Aghanabati, A., Hamed, A. R., (compilers) 1994- Geological map of Semnan quadrangle, GSI.
- 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* 25: 659-672.
- Ambraseys, N. N., Melville, C. P., 1982- "A history of Persian earthquakes." Cambridge University press, New York: 219.
- Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Strecker, M. R., Friedrich, A. H., Tabatabaei, S., 2008- "Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz mountains, northern Iran.", *Tectonics*, Vol. 27, TC6001, doi:10.1029/2008TC002278.
- Berberian, M., Ghorashi, M., Shoja Taheri, J., Talebian, M., 1996- Seismotectonic and Earthquake-Fault hazard investigations in the Semnan region (In Persian), GSI. VII: 268.
- Djamour, Y., Bayer, R., Vernant, P. h., Hatam, Y., Ritz, J. F., Hinderer, J., Luck, B., Le Moigne, N., Sedighi, M., Boy, J. P., 2008- "The present-day deformation in Alborz (Iran) depicted by GPS and gravity observations.", *SGF*, 6-7 October, Paris.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., Berberian, M., 2002- "Active tectonics of the South caspian Basin." *Geophys. J. Int.* 148: 214-245.
- Nazari, H., 2006- Analyse de la tectonique recente et active dans l'Alborz Central et la region de Teheran: Approche morphotectonique et paleoseismologique. Science de la terre et de l'eau. Montpellier, Montpellier II: 247.
- Nazari, H., Ritz, J-F, Talebian, M., Moosavi, A., 2005- Seismotectonic map of the Central Alborz (1:250,000). Tehran, GSI.
- Ritz, J. F., Balescu, S., Soleymani, S., Abbassi, M., Nazari, H., Fegghi, K., Shabanian, E., Tabassi, H., Farbod, Y., Lamothe, M., Michelot, J. L., Massault, M., Chery, J., Vernant, P., 2003- Determining the long-term slip rate along the Mosha Fault, Central Alborz, Iran. 4th. International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, (See 4), Tehran, Iran.
- Talebian, M., Ghorashi, M., Nazari, H., 2008- Seismotectonic map of the Central Alborz (1:750,000). (Proof copy) Tehran, GSI.
- Yousefi, E., Friedberg, J. L., 1977- Aeromagnetic map of the Amol quadrangle. Tehran, GSI.

pyrite and sphalerite were formed during this stage. After stage 1 mineralization, collapse of the sulfide mounds took place probably due to dissolution of anhydrite matrix, producing accumulations of pyrite breccias. Following this mound collapse, during stage II, pyrite (Co rich), sphalerite, tetrahedrite-tenantite and galena were formed as euhedral and coarse grains. Stage III deposits consist of chalcopyrite replacements and zone refining process. During this stage, due to zone refining, a chalcopyrite-pyrite zone was developed at the lower part of the massive sulfide lens and a sphalerite-rich zone formed in the upper part. During stage IV, over refining process, led to the dissolution of stage III chalcopyrite and base-metal depleted pyrite body in the lowermost part of the massive sulfide lens and carbonate veins were emplaced into the sulfide lens replacing earlier barite.

Keywords: Massive sulfide, Zone refining, Basalt, Sanandaj-Sirjan, Sargaz, Iran

For Persian Version see pages 85 to 94

*Corresponding author: Z. Badrzadeh; E-mail: zahrabadrzadeh@yahoo.com

Chronology of Last Earthquake on Firouzkuh Fault using by C14

H. Nazari^{1,2*}, J-F. Ritz², R. Walker³, R. Salamati⁴, A. Ghasemi⁴ & A. Shafei⁴

¹ Research institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

² Laboratoire Géosciences Montpellier, Université Montpellier, France.

³ COMET, Department of Earth Sciences, University of Oxford, Oxford, UK

⁴ Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2008 December 21

Accepted: 2009 April 18

Abstract

The Firouzkuh Fault in most of its extension is located at the southern side of Firouzkuh Valley in west of the Central Alborz. It is a SW – NE prominent structure with a 70 km long on a sinistral – normal fault. It has been known as a south-dipping reverse fault. Paleoseismic analysis and C14 dating along the Firouzkuh left -lateral strike-slip fault indicate that Central Alborz has been shaken by large earthquakes during the Holocene. Here we present the data carried out of one of the two excavated trenches with 40 m long, 2m wide, ~ 4m deep in the east of Firouzkuh, where we found some evidence for last paleoearthquake associated to seismic re-activity on Firouzkuh Fault in the second trench (F2) that dug across a gauge zone. The last event is evidenced by cutting young superficial deposit where this faulted unit stratigraphically covered alluvium deposits yielded dated human bones fragments. The bones found in 60-70cm-deep of trench which a C14 age of 1159 ± 28 BP. Regarding to estimated slips per event on paleoseismological log of eastern wall of trench F1, event magnitudes for each paleoearthquakes are $M \approx 7$.

Keywords: Firouzkuh, Paleoseismology, Carbon 14, Trench.

For Persian Version see pages 95 to 98

* Corresponding author: H. Nazari ; E-mail: h.nazari@gsi.ir