

لرزه خیزی پارینه در پلیستوسن پایانی - هولوسن، خوشه بندی زمانی و احتمال رخداد زمین لرزه بزرگ ($M > 7$) روی گسل دهشیر، ایران مرکزی

محمد فروتن^{۱*}، حمید نظری^۲، برتراند میر^۳، میشل سیریر^۴، مرتضی فتاحی^۵، کریستل لو دورتز^۶، منوچهر قرشی^۷، خالد حسامی^۸، محمد رضا قاسمی^۲ و مرتضی طالبیان^۲

^۱ دکترا، دانشگاه پیروماری کوری، پاریس VI، فرانسه؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۲ استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۳ استاد، دانشگاه پیر و ماری کوری، پاریس VI، فرانسه

^۴ محقق ارشد، دانشگاه پیر و ماری کوری، پاریس VI، فرانسه

^۵ استادیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۶ دکترا، دانشگاه پیر و ماری کوری، پاریس VI، فرانسه

^۷ دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

^۸ استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۹/۲۹

چکیده

سامانه گسلی دهشیر سازنده لبه باختری مجموعه گسل های جنبای راستالغز راست بر شمالی - جنوبی در پهنه فلات مرکزی ایران و دربرگیرنده ۶ پاره گسل به گونه ای خطی است که در گذر از پهنه های زمین ساختی سندج - سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه - دختر و ایران مرکزی، سبب بریدگی و جا به جایی راست بر سنگ نهشته های آتشفشانی اوسن و بادزن های آبرفتی کواترنری شده است. گواه های زمین ریخت شناختی نشان از جنبایی این سامانه گسلی در کواترنری پایانی داشته و بررسی های پارینه لرزه شناختی گواهی بر جنبش لرزه ای پاره گسل مروست در بازه زمانی پلیستوسن پایانی و هولوسن دارد. برای شناخت هرچه بیشتر پیشینه لرزه ای این پاره گسل در بازه زمانی میان مدت (۱۰^۳ تا ۱۰^۵ سال) با توجه به ویژگی های ریخت زمین ساختی و رسوبی - چینه ای، ۳ ساختمان در فاصله ۳۵ کیلومتری از یکدیگر در درازای پاره گسل مروست با هدف انجام بررسی های پارینه لرزه شناختی برگزیده شده است. رخنمون برآمده از حفر ترانشه ای عمود بر راستای گسل در جنوبی ترین ساختمان (هرابرجان)، پدیدار کننده شاخه های گسلی پرشیب با راستای $N140 \pm 10^\circ$ به همراه خشک لغزهایی با ریک نزدیک به افقی و سازوکار چیره راستالغز راست بر است. در ساختمان شمال مروست نیز ترانشه حفر شده در گستره پاره گسل مروست دربرگیرنده نهشته های آبرفتی و کوهرفتی پلیستوسن پایانی - هولوسن است که با انجام سن سنجی نهشته های سست غنی از کوارتز به روش لومینسانس نوری (OSL) تا 72 Ka سن یابی شده اند. بررسی های پارینه لرزه شناختی در این ساختمان نشان از ماندگاری گواه های به جای مانده از جنبش شدید لرزه ای همراه با گسیختگی سطحی برای بخشی از پاره گسل مروست دارد، به گونه ای که هم ترازوی زمانی میان زمین لرزه های پارینه با بزرگای $M > 7$ بیانگر دست کم رخداد ۷ زمین لرزه در گذر ۴۳ هزار سال گذشته و با میانگین دوره بازگشت 150 ± 365 سال است. رخداد جوان ترین زمین لرزه (Event I) با جا به جایی راست بر میان ۲ تا ۴ متر و با درازای گسیختگی سطحی بیش از ۴۰ کیلومتر روی پاره گسل مروست بر پایه سن سنجی به روش OSL به $2200 \pm$ سال پیش نسبت داده می شود. سن جوان ترین رخداد لرزه ای سازگار با نبود نشانه های ویرانی در سازه تاریخی مروست با پیشینه نزدیک به ۱۳۰۰ سال در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری خاور پاره گسل مروست است. الگوی جنبشی روی پاره گسل مروست را می توان در ۳ خوشه زمانی و در ۲ بازه دگرشکلی (۱) همراه با جنبش لرزه ای و (۲) به همراه جنبش لرزه ای کم یا بی لرزه جای داد. با پنداشت پیوستگی چنین الگوی دگرشکلی تا چرخه لرزه ای آتی، پاره گسل مروست امروزه در بازه همراه با جنبش لرزه ای به سر می برد که با لحاظ کمترین فاصله زمانی میان دو رخداد لرزه ای پیاپی نزدیک به ۲۰۰۰ سال، تولید زمین لرزه ای ویرانگر با بزرگای بیش از ۷ در سنجه Mw در آینده نزدیک دور از انتظار نیست.

کلیدواژه ها: پارینه لرزه شناسی، سامانه گسلی دهشیر، زمین لرزه پارینه، افق رویداد لرزه ای، لومینسانس نوری، هولوسن

E-mail: mohammad.foroutan@upmc.fr

*نویسنده مسئول: محمد فروتن

۱- پیش گفتار

بزرگی در این پهنه گزارش نشده است (شکل ۱). همچنین نبود نشانه های ویرانی در سازه تاریخی مروست با پیشینه دوره اسلامی (۷۰۰ تا ۱۲۵۰ میلادی) در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری گسل، گواهی دیگر در نبود جنبش لرزه ای بزرگ تا ۱۳۰۰ - ۷۵۰ سال گذشته است. به بیان دیگر نبود زمین لرزه های تاریخی در پهنه سامانه گسلی دهشیر تنها منسوب به شرایط نامناسب اقلیمی برای سکونت در پیرامون آن نبوده است و شاید بخش مهمی از آن را بتوان به نبود رخداد زمین لرزه های بزرگ و ویرانگر در بازه زمانی داده های تاریخی نسبت داد. دست کم دو احتمال را در تفسیر داده های جنبشی روی سامانه گسلی دهشیر می توان برشمرد. در حالت نخست، دگرشکلی کنونی روی گسل برآمده از خزش زمین ساختی و به همراه راهبای شمار کمی و تنش پنداشته می شود. در برخی موارد زمین لرزه های ویرانگر و جنبش های ناگهانی روی پاره گسل هایی از یک سامانه گسلی روی می دهند که بخشی از تنش

یکی از عناصر بنیادین در پیشبرد پیش بینی زمین لرزه، شناخت الگوی رفتار بلندمدت گسل های لرزه زا است (Sieh, 1981). امروزه بیش از ۳/۵ میلیون نفر در شهرهای کوچک و بزرگ در پیرامون سامانه گسلی دهشیر به عنوان مرز باختری مجموعه گسل های جنبای راستالغز راست بر شمالی - جنوبی ایران مرکزی و خاور ایران ساکن هستند. این در حالی است که دانسته های کنونی از چگونگی رفتار لرزه ای سامانه گسلی دهشیر با درازای نزدیک به ۵۵۰ کیلومتر (با لحاظ پایانه های شمالی و جنوبی) محدود به داده های لرزه ای دستگاهی و تاریخی است. بزرگ ترین رویداد لرزه ای دستگاهی ثبت شده در پیرامون سامانه گسلی دهشیر برآمده از زمین لرزه ای با بزرگای $m_b 4/7$ است. از سوی دیگر با وجود گسل های جنبای اصلی در گستره ایران مرکزی و گذر راه های ارتباطی میان بخش های خاوری و باختری ایران از گستره سامانه گسلی دهشیر در دوره خلفا (۶۲۲ تا ۱۲۵۸ میلادی)، رخداد زمین لرزه

۸ متر شده است (شکل ۲- a). همچنین آبراه‌های کوچک شکل گرفته در آخرین دوره‌های فرسایشی که سبب حفر سطح بادن‌های آبرفتی پلیستوسن پایانی شده‌اند، بسته به سن شکل‌گیری میان ۲ تا ۱۵ متر به گونه راست بر و در نتیجه کارکرد مؤلفه راستالغزی شاخه گسلی خاوری جابه‌جا شده‌اند (شکل‌های ۲- c تا f). شماره‌های بزرگ‌تر، برآمده از انباشت جابه‌جایی‌های راست بر در درازای چندین رخداد زمین لرزه پارینه روی گسل دهشیر است. همچنین شکل‌گیری پشته‌های مسدودکننده (Shutter Ridge) به سبب جنبش راستالغزی گسل نیز موجب انحراف بستر آبراه‌ها در ده‌ها تا صدها متر شده است (برای نمونه شکل ۲- b).

در شمال رودخانه مروست (۹ کیلومتری باختر شهر مروست) شکل‌گیری پشته مسدودکننده در پی جنبش راست بر گسل دهشیر سبب انحراف بستر آبراه‌ای با سوی جریان از سوی باختر شده که سطح نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن را در پهنه گسل فروکوایده است. در گستره این ریخت‌ساخت، دست کم ۳ سطح پادگانه آبرفتی (Q1، Q2، Q3) از یکدیگر جدا شده است. بر پایه برداشت سطح توپوگرافی با دستگاه GPS Post-Processing Kinematic (PPK) مقدار انحراف بستر آبراه برابر با 10 ± 15 متر اندازه‌گیری شده است (شکل‌های ۳- a و b). همچنین جابه‌جایی‌های راست بر کمتر از ۶ متر در شمال رودخانه مروست روی پشته‌های کواترنری پایانی و آبراه‌های جوان ثبت و حفظ شده است (شکل‌های ۳- c تا f).

۴- ساختگاه ترانشه‌های پارینه لرزه‌شناختی روی پاره گسل مروست

بررسی داده‌های لرزه‌ای دستگاهی (کلان‌لرزه‌ها و خردلرزه‌ها) و تاریخی نخستین گام در شناسایی جنبایی روی ساختارهای لرزه‌زاست (برای نمونه Wallace, 1978 & 1981, Tsukuda, 1985). بهره‌گیری از داده‌های در دسترس دستگاهی (تارنماهای NERC, USGS، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله) و تاریخی (Ambraseys & Melville, 1982; Meyer et al., 2006; Berberian, 1994; Berberian & Yeats, 1999; Ambraseys, 2001) نشان از نبود رخداد زمین لرزه‌ای با بزرگای بیش از $M_p 4/7$ در پیرامون سامانه گسلی دهشیر دارد. این در حالی است که گواه‌های ریخت‌زمین‌ساختی به‌روشنی بیانگر جنبش گسل دهشیر در بازه زمانی کواترنری پایانی است (برای نمونه Meyer et al., 2006; Meyer & Le Dortz, 2007). از این رو در گزینش جایگاه حفر ترانشه‌های پارینه‌لرزه‌شناختی، شاخص وجود زمین لرزه بزرگ در نزدیکی ساختگاه حفاری دیده نشده است.

به منظور شناخت هر چه بیشتر پیشینه لرزه‌ای سامانه گسلی دهشیر در بازه زمانی میان مدت با توجه به ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی و رسوبی-چینه‌ای، ۳ ساختگاه در درازای پاره گسل مروست از سامانه گسل دهشیر برای انجام بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی برگزیده شد. این ساختگاه‌ها در فاصله نزدیک به ۳۵ کیلومتری از یکدیگر جای دارند و از شمال به جنوب دربرگیرنده ساختگاه‌های شمال مروست، مروست (۹ کیلومتری باختر شهر مروست) و هرابرجان (در ۵ کیلومتری شمال باختری دهستان هرابرجان) هستند. راستای گسل در ساختگاه مروست برابر با $N153^{\circ}$ است و بیشینه بلندای افزاز گسل با رخ (Face) به سوی خاور-شمال خاوری به ۱۲ متر می‌رسد که روی نگاره‌های ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی (به جز در پهنه بستر فرسایشی رودخانه مروست) به روشنی دیده می‌شود. در بررسی‌های میدانی، افزاز گسلی جوان‌تری با بلندای کمتر از ۲۰ سانتی‌متر در فاصله ۱۰ متری خاور افزاز کهن تر دیده می‌شود که سبب شکل‌گیری و بریدگی برکه فرونشستی کوچکی شده است. در ساختگاه مروست ۴ ترانشه پارینه‌لرزه‌شناختی (۲ ترانشه عمود و ۲ ترانشه هم‌راستا با افزاز جوان) حفر شده است (شکل‌های ۴- a و b).

در ساختگاه هرابرجان ۲ شاخه گسلی خاوری و باختری به‌ترتیب با راستاهای

انباشتی با رخداد زمین لرزه‌های کوچک و یا خزش زمین‌ساختی آزاد می‌شده است. از این رو وجود خزش زمین‌ساختی و یا رخداد زمین لرزه‌های کوچک گواهی بر نبود احتمال رخداد زمین لرزه‌ای بزرگ‌تر و یا ویرانگر در آینده نیست. حالت دوم، وجود رخداد زمین لرزه‌های بزرگ روی سامانه گسلی دهشیر را به دوره بازگشت چند هزار ساله منسوب می‌کند. گزارش گواه‌هایی در درازای سامانه گسلی دهشیر از جنبایی در بازه زمانی کواترنری پایانی (Berberian, 1976; Walker & Jackson, 2004; Meyer et al., 2006; Meyer & Le Dortz, 2007; Nazari et al., 2009) یک سو و لحاظ نرخ لغزش‌های سالیانه برآورد شده روی گسل دهشیر در بازه‌های زمانی بسیار بلندمدت (تا $40-25$ Ma) میان $4-2.5$ mm yr⁻¹، میان‌مدت (20 ± 38 ka - 12 ± 24 ka) برابر با $1/2 \pm 0.3$ mm yr⁻¹ (Le Dortz et al., 2011)، هولوسن (12 ± 2 ka) نزدیک به 2 mm yr⁻¹ (Meyer et al., 2006; Meyer & Le Dortz, 2007)، کمینه نرخ لغزش در بازه زمانی $11/2 \pm 21/1$ ka میان $2/5-0/8$ mm yr⁻¹ (Nazari et al., 2009) و در بازه زمانی پلیستوسن پایانی و هولوسن برابر با $1/3 \pm 0$ mm yr⁻¹ (فروتن و همکاران، ۱۳۹۰) از سوی دیگر، احتمال تولید رخداد زمین لرزه‌های بزرگ با دوره بازگشت چند هزار ساله را شدت می‌بخشد.

بر پایه گوناگونی‌های راستای گسل، ۶ پاره گسل به‌گونه‌ای خطی، در درازای سامانه گسلی دهشیر از شمال به جنوب و به ترتیب با نام‌های چاه‌زنگول، ناین، ندوشن، دهشیر، مروست و قطرویه از یکدیگر جدا شده است (فروتن و همکاران، ۱۳۹۰). کمینه جابه‌جایی راست بر اندازه‌گیری‌شده در درازای پاره گسل مروست برابر با ۲ متر در باختر دهستان هرابرجان است که این میزان جابه‌جایی می‌تواند به رخداد آخرین زمین لرزه بزرگ پارینه روی گسل دهشیر نسبت داده شود. از سوی دیگر پدیداری شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی (همچون آبراه‌های کوچک و بزرگ) جابه‌جا شده به‌گونه‌ای راست بر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی - هولوسن با شماره جابه‌جایی بیش از ۲ متر (۲ تا ۲۵ متر) در درازای پاره گسل مروست، نشان از رخداد چندین زمین لرزه پارینه در بازه زمانی مورد اشاره دارد. از میان رهیافت‌های سودمند به‌منظور دست‌یابی به پیشینه لرزه‌ای میان‌مدت (تا چندده هزار سال) یک گسل جنبه می‌توان به دانش پارینه‌لرزه‌شناسی (Paleoseismology) اشاره کرد. چگونگی جنبایی لرزه‌ای گسل دهشیر در گذشته و برآورد میزان خطر احتمال روی آن از نمونه ابهاماتی است که در این پژوهش تلاش بر پاسخ‌گویی به آنها شده است. در نوشتار پیش رو، نخست برای شناخت رفتار جنبشی گسل دهشیر در بازه زمانی بلندمدت (از یکصد هزار تا دو میلیون سال گذشته) با بهره‌گیری از گواه‌های ریخت‌زمین‌ساختی نگاهی کوتاه به پیشینه جنبایی گسل در بازه زمانی کواترنری پایانی خواهیم داشت و در ادامه، نتایج برآمده از بررسی‌های پارینه‌لرزه‌شناختی به همراه سن‌سنجی‌های انجام‌شده به روش لومینسانس نوری (Optically Stimulated Luminescence; OSL) - که بیانگر سن آخرین تابش نور به نهشته‌های مورد بررسی است - روی پاره گسل مروست از سامانه گسلی دهشیر بررسی خواهد شد.

۲- تاریخچه کواترنری پایانی گسل دهشیر

با تعمیم نتایج برآمده از سن‌سنجی پادگانه‌های آبرفتی جنوب خاور ایران به روش برلیوم ۱۰ (Regard, 2003) به پادگانه آبرفتی جای گرفته در جنوب آبادی دهشیر، زمان رخداد آخرین زمین لرزه بزرگ روی گسل دهشیر، دست کم به پیش از ۵ هزار سال گذشته نسبت داده شده است (Walker & Jackson, 2004). بررسی‌های ریخت‌زمین‌شناختی روی پاره گسل مروست در شمال باختری دهستان هرابرجان نشان از وجود گواه‌های مربوط به آخرین جنبش‌های گسل دهشیر دارد. در جایی که کارکرد مؤلفه شب‌لغزی به گونه راندگی دو شاخه گسلی با سوی شیب به سوی یکدیگر سبب فرایش (Uplift) نهشته‌های سنگ‌جوش پلیستوسن با بیشینه بلندای

A تا E توصیف شده‌اند. همچنین ارتباط سنی میان واحدها در هر بلوک از پایین به بالا به ترتیب با شماره و حروف لاتین کوچک نمایش داده شده است (شکل ۷). کهن‌ترین واحدها در بخش پایینی ترانشه رخنمون دارند و در برابر آن، واحدهای جوان‌تر در بخش‌های مرکزی و بالایی دیده می‌شوند. در ادامه به توصیف واحدهای برداشت شده از سوی باختر به خاور پرداخته شده است (توصیف جزئی واحدها در جدول ۱ نمایش داده شده است).

۴-۱. بلوک باختری (Western Block)

این بخش که با حرف A نمایش داده می‌شود دربرگیرنده ۶ واحد اصلی (A1a, A1b, A2, A3, A4 و واحد ۱۶) و مجموعه‌ای از ۸ زیرواحد (۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰ و ۳۱) است. نهشته‌های پایینی این بلوک از رسوبات آبرفتی دور از خاستگاه به رنگ خاکستری با درصد بالایی از دانه‌های تخریبی حمل شده توسط بادزن آبرفتی تشکیل شده است (A1a). نهشته‌های میانی دربردارنده رسوبات آبرفتی به رنگ قهوه‌ای روشن و تشکیل دهنده بخش‌های بالایی کهن‌ترین پادگانه آبرفتی است. سطح بالایی این واحد (A1b) برابر با کهن‌ترین (بلندترین) پادگانه شکل گرفته در بالای رودخانه‌های ترک شده (Abandoned) است واحد A2 دربرگیرنده نهشته‌های آبرفتی پوشاننده سطح کهن‌ترین پادگانه دارای رسوبات برآمده از جریان گلی (Mud Flow) با خاستگاه محلی و از جنس واحد A1b است. در میانه واحد A2 نهشته‌های کانال فرسایشی (Erosional Channel) دیده می‌شود که نشان از فروکاو آبراه‌های هم‌راستا با شاخه‌های گسلی دارد. از سوی دیگر پس از پایان فروکاو، نهشته‌های آبرفتی با ویژگی‌های همانند با پیش از پدیداری کانال فرسایشی انباشته شده‌اند. با توجه به نبود گواه‌های فرسایشی هم‌ارز با زیرواحد ۲۴ در سرتاسر ترانشه، وجود دوره فرسایشی کوتاه مدتی (به گونه‌ای محلی) در این بازه زمانی به دور از انتظار نیست. سطح A2 با نهشته‌های کوهرفتی (Colluvial) متمایل به قهوه‌ای واحد A3 پوشانده می‌شود که دربردارنده نهشته‌های کربنات کلسیم ثانویه برآمده از سسته‌شدگی افق‌های بالایی است. نهشته‌های کوهرفتی جوان‌تری به رنگ خاکستری روشن (A4) روی واحد A3 جای گرفته‌اند که به گونه‌ای همانند، دارای رسوبات کربنات کلسیم ثانویه هستند. تنها واحدی که سراسر بخش بالایی ترانشه (سطح همه ۵ بلوک) را می‌پوشاند، واحد ۱۶ بوده و دربرگیرنده رسوبات کوهرفتی فورشی - ماسه‌ای است. شکستگی‌های ناشی از رخداد زمین‌لرزه در این واحد با نهشته‌های لامینه‌دار حاصل از جریان‌های سطحی پر شده‌اند که بر پایه نتایج حاصل از سن‌سنجی نمونه‌ای در ژرفای ۸۰ سانتی متری سطح زمین (بخش پایینی یکی از شکستگی‌های پر شده) به روش لومینسانس نوری (OSL) گویای سنی برابر با 2 ± 0.7 هزار سال (Fattahi et al., 2010) است. واحد ۱۶ در بخش‌های مرکزی ترانشه، جایی که فروافتادگی با بیشینه ژرفای ۱/۵ متر دیده می‌شود - در نتیجه به تله‌افتادگی رسوبات - با سبزی بیشتری نسبت به دو سوی ترانشه پدیدار شده است.

۴-۲. فروبوم مرکزی (Central Graben)

نهشتگی رسوبات در این بلوک حاصل شکل‌گیری ساختار فروبوم و برآمده از کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی به گونه عادی شاخه‌های گسلی محدودکننده لبه باختری (F1) و خاوری (F2، F3 و F4) با سوی شیب به سوی یکدیگر است. واحدهای B1 و B2 که سازنده‌های اصلی این بلوک به‌شمار می‌آیند دربرگیرنده نهشته‌های کوهرفتی فورشی - ماسه‌ای قهوه‌ای رنگ به‌همراه لته‌های ماسه‌ای و با تفاوت‌های کم است، به گونه‌ای که B2 نسبت به B1 به رنگ سرخ متمایل تر است و با مقدار گراول بیشتری دیده می‌شود. همچنین افق‌های بالایی واحد B2 (به جز در میانه فروبوم) دارای رسوبات کربنات کلسیم ثانویه است. ارتباط چینه‌ای واحدها در فروبوم مرکزی نشان از سن جوان‌تر B2 نسبت به واحدهای A2 و A3 و همچنین نهشتگی B1 پس از پدیداری واحدهای A1 و A2 دارد. از سوی دیگر با بهره‌گیری از روابط چینه‌ای و سن‌سنجی دو نمونه به‌روش لومینسانس نوری به ترتیب از بخش‌های بالایی B1

1148° و 1145° و در فاصله نزدیک به ۱۲۰ متر از یکدیگر نهشته‌های بادزن آبرفتی پلیستوسن پایانی را بریده‌اند. به سبب کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی به گونه رانندگی این دو شاخه گسلی با سوی شیب به سوی یکدیگر، نهشته‌های سنگ‌جوش پلیستوسن با بیشینه بلندای ۸ متر فرایش (بالا آمدگی) (Uplift) یافته است. بر پایه برداشت سطح توپوگرافی با دستگاه GPS-PPK بیشینه بلندای افزای گسلی در شاخه خاوری با رخ به سوی خاور شمال خاوری نزدیک به ۴ متر و برای شاخه باختری با رخ به سوی باختر جنوب باختری در حدود ۲ متر اندازه‌گیری شده است. ترانشه هرابرجان با بیشینه ژرفای ۴/۵ متر در پهنای شاخه خاوری حفر شده است، جایی که نهشته‌های بادزن آبرفتی پلیستوسن پایانی و حوضچه فروافتادگی کوچکی توسط گسل بریده شده است (شکل‌های ۴-c تا e). در این رخنمون، شاخه‌های گسلی پرشیب (بیش از ۷۰ درجه) راست‌الغز راست‌بر با راستای چیره میان 1150° - 1130° و سوی شیب به سوی باختر در نهشته‌های بادزن آبرفتی گسترش یافته‌اند (شکل‌های ۵-a و b).

ساختگاه شمال مروست در فاصله حدود ۳۵ کیلومتری شمال شهر مروست و در نزدیکی کشتزار گرداب جای دارد. جایی که بلندای افزای گسل میان ۱/۵ تا ۴ متر با راستای 1162° با رخ به سوی خاور شمال خاوری در گذر از پایانی‌ترین دوره‌های آب و هوایی فرسایشی بر جای مانده است. در این ساختگاه مؤلفه راست‌الغزی گسل سبب جابه‌جایی راست‌بر رودخانه فصلی با سوی جریان به سوی شمال خاوری به مقدار ۹/۵ m ~ شده است. چندین آب‌کند (Gully) گذرا به شکل بخش‌های خطی خاکستری تیره روی نگاره ماهواره‌ای SPOT5 دیده می‌شود که سطح بادزن آبرفتی به سن پلیستوسن پایانی را فروکاو نموده و به دشت سیلابی جنب می‌پیوندند (شکل ۶-a). پدیداری این آب‌کندها را می‌توان برآمده از فرسایش برگشتی (Regressive Erosion) از زمان آخرین فروکاو اصلی (هولوسن) در این شبکه زهکشی به شمار آورد. در جنوب، دو آب‌کند در پی کارکرد مؤلفه راست‌الغزی گسل با مقادیر جابه‌جایی برابر با ۱۹ و ۱۶ متر به گونه راست‌بر جابه‌جا شده‌اند (فروتن و همکاران، ۱۳۹۰). افزای ملایمی با پهنایی میان ۱۰ تا ۲۰ متر و ژرفای ۱/۵ متر (شکل ۶-b)، فروافتادگی را در میانه خود به شکل لکه‌های سفیدرنگ روی نگاره ماهواره‌ای SPOT5 نمایان می‌سازد. این بخش‌های سفیدرنگ برآمده از کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی شاخه‌های گسلی با جهت شیب به سوی یکدیگر بوده که سبب شکل‌گیری ساختار فروبوم (Graben) با پهنای کمتر از ۱۰ متر شده است. از این رو حوضچه‌ای کوچک به همراه انباشت لایه‌های نازکی از جنس فورش و رس حاصل از فرسایش افزای گسل در سوی باختر خود و در پی کارکرد جریان‌های فصلی پدیدار شده است. مدل ارتفاعی رقومی برآمده از برداشت سطح نهشته‌های آبرفتی در گستره ساختگاه شمال مروست توسط دستگاه GPS-PPK نشان‌دهنده ۳ سطح پادگانه آبرفتی اصلی است که جوان‌ترین پادگانه به دو بخش فرعی (T1a و Tab) جدا شده‌اند (شکل ۶-c). در این ساختگاه ترانشه‌ای با درازا و ژرفای به ترتیب برابر با ۴ و ۲۵ متر در پهنای گسل دهشیر و در سطح پادگانه‌های آبرفتی T2 و T3 حفر شده است.

با توجه به ویژگی‌های رسوبی - چینه‌ای و بازه زمانی جوان‌تر نهشته‌ها در گستره ساختگاه شمال مروست، شناسایی و جداسازی زمین‌لرزه‌های پارینه با ابهام کمتری انجام شده است که در ادامه نتایج برآمده از این بررسی‌ها در ساختگاه شمال مروست ارائه شده است.

۴-۳. ویژگی‌های رسوبی - چینه‌ای ترانشه شمال مروست

به منظور بررسی ویژگی‌های رسوبی - چینه‌ای نهشته‌های رسوبی موجود در ترانشه شمال مروست، واحدهای رسوبی در ۵ بلوک جداگانه بررسی شده‌اند. نهشته‌های برداشت شده از باختر به سوی خاور ترانشه به ترتیب در بلوک‌های باختری، فروبوم مرکزی، پهنه گسلس اصلی، نهشته‌های کج شده و بلوک خاوری با حروف

پادگانه B را فرسوده و سپس پوشانده است. واحد D4 در بردارنده نهشته‌های آبرفتی خاکستری و همانند با A4 بوده که سن سنجی نمونه شماره VIII گستره زمانی میان $ka\ 32/3 - 9/9$ را برای این واحد نمایان می‌سازد. این واحد را می‌توان هم‌تراز با بقایای جوان‌ترین پادگانه آبرفتی نهشته‌شده در ساختگاه ترانسه شمال مروست به شمار آورد (پادگانه C). واحد D5 دربرگیرنده رسوبات تخریبی گوه واریزه‌ای (Colluvial Wedge) قهوه‌ای رنگ حاصل فرسایش زیر واحدهای ۳۵ و ۳۷ است که به گونه‌ای ناپیوسته روی D4 انباشته شده است. شکستگی پر شده با رسوبات گراولی و سیمانی از جنس کربنات کلسیم ثانویه در راستای گسل F10 بیانگر واحد D6 است.

۴-۵. نهشته‌های بلوک خاوری (Eastern Block)

این بخش دربرگیرنده ۲ واحد اصلی (E1 و ۱۶) و ۲ زیر واحد (۳۵ و ۳۶) است. از دیدگاه چینه‌شناختی واحد E1 همانند نهشته‌های پادگانه A (A1a, A1b, D1a و D1b) و دارای انباشته‌های آبرفتی است. سن سنجی نمونه شماره IX به‌روش لومینسانس نوری از لنز ماسه‌ای جای گرفته در میان گسل‌های F7 و F8 و در بخش‌های پایینی واحد E1 بیانگر بازه سنی میان $ka\ 72/3 - 30/3$ است. واحد ۱۶ در بلوک خاوری نیز در بردارنده رسوبات کوهرفتی فوشی- ماسه‌ای است که سطح واحد E1 را می‌پوشاند. همچنین به‌سبب جایگیری بالاتر سطح بلوک خاوری نسبت به فروبوم مرکزی، ستبرای واحد ۱۶ همگون با بلوک باختری به کمترین مقدار خود در سرتاسر ترانسه کاهش یافته است.

۵-۵. برآورد نرخ رسوب‌گذاری و برپایی هم‌ترازی زمان- چینه‌ای

با توجه به نبود ارتباط زمان- چینه‌ای میان همه واحدهای رسوبی برداشت شده در ترانسه شمال مروست، با برآورد نرخ رسوب‌گذاری سالانه در بخش‌های گوناگون تلاش بر برپایی هم‌ترازی زمان- چینه‌ای میان همه نهشته‌ها در سرتاسر ترانسه شده است. از این‌رو، نهشته‌های موجود در ترانسه را می‌توان در دیدگاهی کلی به ۳ بخش نهشته‌های آبرفتی بلوک باختری، خاوری و نهشته‌های کوهرفتی فروبوم مرکزی جدا کرد. به‌سبب نبود شرایط مناسب آب‌وهوایی، پوشش گیاهی و محیط رسوبی در زمان رسوب‌گذاری نهشته‌های موجود در ترانسه شمال مروست برای شکل‌گیری زغال چوب (Charcoal) سن سنجی به روش کربن ۱۴ در ساختگاه شمال مروست امکان‌پذیر نبود و با توجه به انباشتگی رسوبات دانه‌ریز ماسه‌ای در بردارنده سیلیس، در این پژوهش از روش سن سنجی لومینسانس نوری برای ۸ نمونه بهره گرفته شده است (شکل ۸). با به‌کارگیری نتایج برآمده از سن سنجی و بررسی روابط چینه‌شناختی واحدها، نرخ سالانه رسوب‌گذاری، برای رسوبات آبرفتی (بلوک‌های خاوری و باختری) و کوهرفتی (فروبوم مرکزی) برآورد شده است. برای برآورد نرخ رسوب‌گذاری، به‌بهره‌گیری از نتایج سن سنجی ۲ نمونه جای‌گرفته در کمترین فاصله شاقولی از یکدیگر به‌همراه ستبرای نهشته‌ها در میان جایگاه نمونه‌ها نیاز است. از این‌رو در ادامه، برآورد نرخ رسوب‌گذاری از نهشته‌های کوهرفتی فروبوم مرکزی آغاز شده است.

۵-۱. برآورد نرخ رسوب‌گذاری در نهشته‌های کوهرفتی فروبوم مرکزی

با توجه به نبود رسوب‌گذاری در فاصله میان واحدهای B1 و B2 (همبری واحدها) و نبود امکان برآورد مدت زمان این وقفه رسوب‌گذاری، از سن سنجی نمونه‌های IV و VI بهره گرفته شده است که هر ۲ نمونه در یک واحد (واحد ۲۱) جای گرفته‌اند. بازه زمانی نمونه VI میان $ka\ 24/2 - 17/2$ و برای نمونه IV میان $ka\ 38/5 - 20/5$ محاسبه شده است. با لحاظ ارتباط چینه‌ای میان ۲ نمونه و پذیرش سن جوان‌تر برای نمونه IV، برای برآورد کمینه نرخ رسوب‌گذاری سن نمونه‌های IV و VI به ترتیب برابر با $20/5$ و $24/2$ هزار سال در نظر گرفته شده است. از این‌رو، با اندازه‌گیری ستبرای شاقولی میان ۲ نمونه (۷۸ cm) و در نظر گرفتن اختلاف شماره سنی میان نمونه‌ها (۳۷۰۰ سال)، کمینه نرخ رسوب‌گذاری برابر با

$(ka\ 28/2 - 23/8)$ و قاعده B2 $(ka\ 24/2 - 17/2)$ سنی برابر با $24/2$ هزار سال برای قاعده B2 فراهم می‌شود.

۴-۳. پهنه گسلش اصلی (Main Faulted Zone)

از آنجا که بیشتر شاخه‌های گسلی شناسایی شده در ترانسه شمال مروست (F2-F7) و در پی آن بیشترین جابه‌جایی‌های رخ داده میان واحدها محدود به این بلوک است، این بخش به نام پهنه گسلش اصلی (MFZ) خوانده شده است. این پهنه دربرگیرنده ۶ واحد اصلی (C1, C2, D1a, D2, Dx و واحد ۱۶) و ۸ زیر واحد (۳، ۴، ۹، ۱۱، ۱۷، ۱۸ و ۱۹) است. نهشته‌های آبرفتی خاکستری رنگ تا متمایل به قهوه‌ای با خردشدگی و جهت‌یافتگی گراول‌های ریزدانه برآمده از کارکرد شاخه‌های گسلی F2 تا F8، سازنده واحد C1 و نهشته‌های کوهرفتی حاصل فرسایش D3b در خاور گسل F9 با سیمان‌شدگی از جنس کربنات کلسیم بیانگر واحد C2 است. از نگاه رسوب‌شناختی واحدهای C1 و C2 با واحدهای A1a و A1b همگون هستند. واحد D1a در بردارنده نهشته‌های آبرفتی دور از خاستگاه به رنگ خاکستری به همراه میان‌لایه قهوه‌ای است. نهشته‌های کوهرفتی خاکستری روشن برآمده از افق‌های بالایی D1b سازنده واحد D2 و دارای دانه‌های تخریبی به مراتب کمتر از افق‌های بالایی D1b است. از دیدگاه چینه‌شناختی واحد D2 سنجش‌پذیر با بالاترین افق D1b (زیر واحد ۱۰) است. واحد Dx دربرگیرنده رسوبات کوهرفتی خاکستری رنگ پرکننده گسیختگی پدیدار شده در راستای گسل F6 است. نتایج حاصل از سن سنجی به روش لومینسانس نوری نمونه‌ای در قاعده این واحد گستره سنی میان $ka\ 57/4 - 25/6$ را فراهم می‌کند. به بیان دیگر، نهشتگی واحد Dx همزمان و یا پیش از رسوب‌گذاری B1 انجام شده است.

۴-۴. نهشته‌های گج‌شده (Tilted Deposits)

کج‌شدگی نهشته‌ها در این بلوک حاصل کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی شاخه‌های گسلی F7 به‌گونه‌ی راندگی و F8 با سازوکار عادی است، به‌گونه‌ای که سبب کج‌شدگی کنونی واحدها نزدیک به ۱۷ درجه به سوی خاور شده است. پهنه نهشته‌های کج‌شده در بردارنده ۷ واحد اصلی (D1a, D1b, D3a, D3b, D3c, D4, D5, D6 و واحد ۱۶) و ۱۶ زیر واحد (۱، ۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۷) است. واحد D1b شامل نهشته‌های آبرفتی قهوه‌ای روشن (در قاعده) تا خاکستری (افق‌های میانی و بالایی) است که به‌گونه‌ای پیوسته روی D1a انباشته شده‌اند. از دیدگاه چینه‌شناختی سطح واحد D1b همگون با سطح کهن‌ترین پادگانه آبرفتی (سطح A1b) است. نهشته‌های کوهرفتی برآمده از جریان‌های سطحی فرسایشی به رنگ قهوه‌ای متمایل به سرخ (زیر واحد ۱۲) تا قهوه‌ای متمایل به خاکستری (زیر واحد ۳۷) بیانگر D3a است که واحد D1b را در نزدیکی گسل F6 فرسوده است. زیر واحد ۳۷ حاصل جابه‌جایی زیر واحد ۱۲ برآمده از کارکرد گسل F7 است، به‌گونه‌ای که رد این کشیدگی با کاهش اندازه دانه‌های تخریبی در این زیر واحد از افق‌های بالایی به سوی پایین نمایان می‌شود. شکل‌گیری واحد D3a نشان از وجود گذار فرسایشی پس از نهشتگی رسوبات کهن‌ترین پادگانه آبرفتی دارد. به بیان دیگر این واحد، با آغاز نهشتگی A2 و گذار فرسایشی پس از رسوب‌گذاری واحد A1b در بلوک باختری سنجش‌پذیر است. از سوی دیگر با توجه به ارتباط چینه‌ای واحدها در دو سوی گسل F6، قاعده زیر واحد ۱۲ همزمان با آغاز نهشتگی Dx است. نهشته‌های آبرفتی خاکستری رنگ به‌همراه لنز ماسه‌ای سازنده واحد D3b است. سن سنجی به‌روش لومینسانس نوری نمونه‌ای در میانه این واحد گستره زمانی میان $ka\ 52/1 - 17/1$ را در بر می‌گیرد. واحد D3b را می‌توان هم‌تراز با بقایای پادگانه آبرفتی جوان‌تر از پادگانه A (پادگانه B) به‌شمار آورد. پوشیدگی این واحد با نهشته‌های کوهرفتی D3c و نبود رسوبات همانند با واحد D3b در بلوک باختری نشان از ستبرای به مراتب کمتر پادگانه آبرفتی B نسبت به A دارد. نهشته‌های کوهرفتی دور از خاستگاه به رنگ قهوه‌ای روشن واحد D3c سطح بقایای

رسوب گذاری اشاره کرد. نرخ رسوب گذاری در پیوند با میزان شیب بستر حوضه است، به گونه‌ای که با افزایش مقدار شیب حوضه، نرخ رسوب گذاری رو به فزونی می‌گذارد (Sharma & Chatterji., 1982). از این رو با توجه به شیب کم توپوگرافی در گستره ساختگاه شمال مروست (نزدیک به ۵ درجه)، نرخ‌های رسوب گذاری برآورد شده قابل پذیرش خواهند بود.

هم‌ترازی زمان- چینه‌ای میان همه واحدهای برداشت‌شده و ارتباط آنها با دوره‌های آب‌وهوایی پارینه بر پایه گوناگونی‌های نرخ ایزوتوپ اکسیژن دریایی (Leduc et al., 2007) در شکل ۱۰ آمده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود کم‌وبیش همه سن‌های به‌دست آمده جوان‌تر از دوره یخچالی MIS4 هستند. همچنین جایگاه برداشت نمونه‌های سن‌سنجی به‌روش OSL و سن برآوردشده برای هر یک از آنها (پس از برآورد نرخ رسوب گذاری) در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. گفتنی است که همه سن‌های برآوردشده برای نمونه‌های سن‌سنجی در بازه زمانی ارائه‌شده از سوی آزمایشگاه جای دارند.

سن‌سنجی‌های انجام‌شده نشان از جایگیری واحد ۱۶ در بازه زمانی هولوسن پایانی (MIS1) دارد. با بهره‌گیری از نرخ رسوب گذاری برای نهشته‌های آبرفتی و نتایج حاصل از سن‌سنجی نمونه شماره ۱، سن سطح واحد E1 نزدیک به ۴۳ ka برآورد می‌شود که هم‌تراز با سطح واحدهای A1b در بلوک باختری و D1b در نهشته‌های کج شده است. از سوی دیگر با توجه به شکل‌گیری نهشته‌های گوه واریزه‌ای (D5) با بیشینه ستبرای ۱۱۰ سانتی‌متر و پنداشت بیشینه‌بلندای افراز گسلی دو برابر بیشینه ستبرای گوه واریزه‌ای، کم‌ترین سن برآورد پذیر برای سطح واحد E1 نزدیک به ۳۴ ka است. پدیداری کربنات کلسیم در بخش‌های بالایی واحدهای A4، B2، D5 و D6 (خطوط سفیدرنگ در شکل ۷) از یک سو و نبود آن در واحد ۱۶ از سوی دیگر، نشان از شکل‌گیری کربنات کلسیم در بازه زمانی میان ۱۸ ka و ۲/۲ ka دارد. به بیان دیگر بازه زمانی شکل‌گیری نهشته‌های کربنات کلسیم در ابتدا یا میانه دوره MIS1 بوده است. نبود این نهشته‌ها در بخش میانی فروبوم مرکزی (افق‌های بالایی واحد B2 میان مترهای ۶ و ۹) نشان از وجود فاز فرسایشی پس از پدیداری کربنات کلسیم دارد. همان‌گونه که در شکل ۱۰ دیده می‌شود، بیشینه ستبرای نهشته‌های آبرفتی در دوره یخچالی MIS3 انباشته شده است. از این رو رسوب گذاری بادزن‌های آبرفتی در بازه زمانی ۶۰ ka - ۲۵ ka در پهنه ساختگاه شمال مروست زیر تأثیر گوناگونی‌های آب‌وهوایی جهانی و در دوره یخچالی MIS3 انجام شده است.

۶- شناسایی رخدادهای لرزه‌ای پارینه در ترانسه شمال مروست

ویژگی‌های رسوبی- زمین‌ساختی نهشته‌های موجود در ترانسه شمال مروست نشان از وجود گواهی بر رخداد زمین‌لرزه‌های پارینه روی پاره گسل مروست از سامانه گسلی دهشیر دارد. در این بخش ابتدا گواهی‌های موجود برای هر زمین‌لرزه پارینه در ۵ بلوک به‌گونه‌ای جداگانه آمده و سپس با بهره‌گیری از نتایج حاصل از سن‌سنجی، روابط چینه‌شناختی و هم‌ترازی زمان- چینه‌ای واحدها، بازه زمانی رویدادها و هم‌ترازی میان آنها مورد بحث قرار گرفته است.

۶-۱. زمین‌لرزه‌های پارینه در بلوک باختری

ev1: شکستگی‌های پر شده با نهشته‌های فوری- ماسه‌ای واحد ۱۶ گواهی بر رخداد زمین‌لرزه‌ای پیش از زمان نهشته‌گی واحد ۱۶ است. این شکستگی‌ها با بیشینه ژرفا و پهنای به ترتیب برابر با ۱۰۵ و ۴۳ سانتی‌متر (جایگاه برداشت نمونه II) در واحدهای A3، A4 و E1 در قاعده واحد ۱۶ دیده می‌شوند. با توجه به نتیجه حاصل از سن‌سنجی نمونه شماره II برابر با $2 \pm 0/2$ ka سن رخداد ev1 پیش از این زمان و پس از نهشته‌گی واحد A4 و به بیان دیگر پس از پدیداری کربنات کلسیم بوده است. بنابراین رویداد ev1 برابر با جوان‌ترین رخداد زمین‌لرزه شناسایی شده در ساختگاه شمال مروست و روی سامانه گسلی دهشیر است که از این پس با نام ev1 خوانده می‌شود. افق

$0/21 \text{ mm yr}^{-1}$ برآورد می‌شود. از سوی دیگر با در نظر گرفتن ستبرای شاقولی میان نمونه VI و قاعده واحد B1 (۱۷۳ cm) و به‌کارگیری نرخ رسوب گذاری برابر با $0/21 \text{ mm yr}^{-1}$ ، سن قاعده واحد B1 نزدیک به ۳۲۵۰۰ سال برآورد پذیر خواهد بود.

۵-۲. برآورد نرخ رسوب گذاری در نهشته‌های بلوک خاوری

در این بخش با بهره‌گیری از نتایج دو نمونه سن‌سنجی V و VII با کمترین فاصله شاقولی از یکدیگر نرخ رسوب گذاری در نهشته‌های بلوک خاوری برآورد شده است. با بررسی ارتباط چینه‌ای واحدها در دو سوی گسل F7، سن میانگین برآمده از نمونه V برابر با $41/5 \text{ ka}$ در قاعده واحد Dx انتقال‌پذیر به قاعده واحد ۱۲ است. با به‌کارگیری سن میانگین برآمده از نمونه VII برابر با $34/6 \text{ ka}$ و اندازه‌گیری فاصله عمود بر لایه‌بندی میان نمونه VII و قاعده واحد ۱۲ برابر با 68 cm ، نرخ رسوب گذاری میانگین برای نهشته‌های آبرفتی در بلوک خاوری نزدیک به $0/1 \text{ mm yr}^{-1}$ برآورد می‌شود.

با اندازه‌گیری فاصله عمود بر لایه‌بندی میان نمونه VII و قاعده واحد D1a (280 cm) و لحاظ نرخ رسوب گذاری میانگین، سن قاعده واحد D1a نزدیک به $62/5 \text{ ka}$ برآورد پذیر است. همچنین با لحاظ ستبرای نهشته‌ها میان نمونه‌های VIII و VII (100 cm) و نرخ رسوب گذاری $0/1 \text{ mm yr}^{-1}$ ، شماره سنی نمونه VIII نزدیک به $24/6 \text{ ka}$ خواهد بود.

۵-۳. برآورد نرخ رسوب گذاری در نهشته‌های بلوک باختری

با توجه به جداسازی نهشته‌ها در ترانسه شمال مروست به دو بخش کلی آبرفتی و کوهرفتی، نرخ رسوب گذاری میانگین محاسبه‌شده برای نهشته‌های بلوک خاوری تعمیم‌پذیر به نهشته‌های بلوک باختری است. از آنجایی که سطح زیر واحد ۲ (در نهشته‌های کج شده) هم‌تراز با سطح A1a در نظر گرفته شده است، سن سطح واحد A1a نیز نزدیک به 50 ka برآورد می‌شود. سن قاعده نهشته‌های A2 (نهشته‌های برآمده از جریان گلی) نزدیک به $41/5 \text{ ka}$ و هم‌تراز با قاعده نهشته‌های جریان‌های گلی D3a است. از سوی دیگر سن قاعده رسوبات کوهرفتی پرکننده گسیختگی در پهنه گسلس اصلی (واحد Dx) نزدیک به $41/5 \text{ ka}$ برآورد شده است. از این رو نبود رسوب گذاری برای نهشته‌های آبرفتی در گستره زمانی $41/5 \text{ ka}$ ~ دور از انتظار نیست.

۵-۴. هم‌ترازی زمان- چینه‌ای میان نهشته‌های ترانسه شمال مروست

به‌منظور سنجش میزان درستی نرخ رسوب گذاری برآوردشده در نهشته‌های کوهرفتی و آبرفتی در ترانسه شمال مروست می‌توان مقایسه‌ای را با الگوی ارائه‌شده توسط McCaipin (1996) انجام داد. در این راستا ارتباط عددی میان نرخ جابه‌جایی شاقولی روی گسل، نرخ‌های فرسایش، رسوب گذاری و ریخت‌شناسی افراز گسل مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۹). افزایش گسلی با بلندای کم در شیب‌های تند یا در نواحی با آب‌وهوایی مرطوب (نرخ فرسایش بالا) فرسایش می‌یابند یا در گذر چند صد سال پوشیده خواهند شد. این در حالی است که افزایش گسلی در سطوح کم و بیش هموار یا در نواحی خشک (نرخ فرسایش پایین) با گذشت ده‌ها تا هزاران سال حفظ می‌شوند. با بهره‌گیری از میانگین نرخ لغزش افقی پاره گسل مروست نزدیک به 1 mm yr^{-1} و لحاظ ریک گسل در گستره ساختگاه شمال مروست 10^0 ~ (فروتن، ۱۳۸۷؛ فروتن و همکاران، ۱۳۹۰)، نرخ لغزش شاقولی گسل در این بخش نزدیک به $0/1 \text{ mm yr}^{-1}$ خواهد بود. از سوی دیگر بلندای پاره گسل مروست در پیرامون ساختگاه شمال مروست با به‌کارگیری داده‌های برآمده از برداشت سطح زمین با دستگاه GPS-PPK میان $1/5$ تا 4 متر اندازه‌گیری شده است. با بهره‌گیری از الگوی آمده در شکل ۹، نرخ رسوب گذاری در پهنه شماره ۳ و کمتر از $0/2 \text{ mm yr}^{-1}$ جای می‌گیرد. از این رو برآورد نرخ رسوب گذاری در ساختگاه شمال مروست برای نهشته‌های کوهرفتی و آبرفتی به ترتیب برابر با $0/21 \text{ mm yr}^{-1}$ و $0/1 \text{ mm yr}^{-1}$ دور از انتظار نیست. از دیگر مهارکننده‌های نرخ رسوب گذاری می‌توان به شیب حوضه

چندین لغزش روی صفحه‌های گسلی دور از انتظار نیست. نبود رسوب‌گذاری در گستره زمانی نهشتگی واحد B1، احتمال رخداد حالت نخست را بیشتر می‌سازد. چراکه با پذیرش حالت دوم، پس از رخداد دومین زمین‌لرزه (لغزش روی گسل‌های F1 و F3) و با توجه به کشیدگی رسوبات در باختر گسل F3 و وجود سطح فرسایشی در همبری زیر واحد ۱۸ و واحد B1، انتظار پدیداری سطح فرسایشی درون واحد B1 در پیامد کارکرد فاز فرسایشی می‌رود، در حالی که چنین سطحی دیده نمی‌شود.

۶-۳. زمین‌لرزه‌های پارینه در پهنه گسل اصلی

ev1: بریدگی لبه‌های باختری و خاوری واحد C2 به ترتیب با شاخه‌های گسلی F4 و F7 و پوشش این شاخه‌ها با واحد ۱۶ و همچنین پوشش شاخه‌های گسلی میان F4 و F7، همگی نشان از رخداد لرزه‌ای برابر با ev1 دارند.

evW: نهشته‌های گوه واریزه‌ای C2 در پیامد فرسایش افراز گسلی تولید شده در نتیجه کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی گسل F7 به گونه رانندگی، بیانگر وجود رخداد لرزه‌ای پیش از نهشتگی C2 و پس از رسوب‌گذاری Dx است. بیشینه ستبرای این گوه واریزه‌ای برابر با ۶۰ سانتی‌متر و جابه‌جایی شاقولی قاعده زیر واحد ۸ (نزدیک‌ترین جابه‌جایی به C2) نیز نزدیک به ۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. این روخاستگاه نهشتگی واحد C2، فرسایش واحد D3b در بخش نهشته‌های کج شده است. از سوی دیگر برآورد سن قاعده واحد D3b کمی پیش از آغاز رسوب‌گذاری C2 گواهی بر این پندار است. همچنین نبود دنباله زیر واحد ۷ در باختر گسل F7 نشان از کارکرد مؤلفه راستالغزی این شاخه گسلی دارد.

evV: شکستگی‌های پر شده با واحد Dx در راستای گسل F7 گواهی بر وجود رخداد لرزه‌ای پس از نهشتگی D2 و پیش از رسوب‌گذاری Dx است. با بهره‌گیری از نتایج سن‌سنجی، سن قاعده واحد Dx نزدیک به ۳۹/۵ ka برآورد و بیشینه ژرفا و پهنای این شکستگی به ترتیب برابر با ۹۳ و ۵۴ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. EvU: جابه‌جایی شاقولی زیر واحدهای ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ با گسل F6 در پیامد کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی به گونه رانندگی و پوشش این شاخه گسلی با واحد D2، همگی دلالت بر رخداد زمین‌لرزه‌ای پیش از نهشتگی D2 و پس از رسوب‌گذاری زیر واحد ۸ دارند. بیشینه جابه‌جایی شاقولی در قاعده زیر واحد ۳ برابر با ۱۲ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. وجود جابه‌جایی شاقولی در قاعده زیر واحد ۸ و ستبرای کم آن در فرادیواره F6 نشان از کارکرد فاز فرسایشی پس از نهشتگی زیر واحد ۸ و پیش از رسوب‌گذاری D2 دارد.

۶-۴. زمین‌لرزه‌های پارینه در نهشته‌های کج شده

ev1: بریدگی لبه خاوری واحد D6 و جهت‌یافتگی دانه‌های گراولی در راستای گسل F8 از یک سو و پوشش این شاخه گسلی در زیر واحد ۱۶ از سوی دیگر گواهی بر وجود رخداد لرزه‌ای پیش از رسوب‌گذاری واحد ۱۶ و پس از نهشتگی واحد D6 است.

evT: شکستگی پدیدار شده روی واحد D5 و پر شده با D6 نشان از رخداد لرزه‌ای پس از رسوب‌گذاری D5 و پیش از زمان نهشتگی D6 دارد. بیشینه ژرفا و پهنای این شکستگی به ترتیب برابر با ۱۰۰ و ۴۳ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. وجود سیمان کربنات کلسیم در واحد D6 از یک سو و بریدگی این واحد با گسل F8 به همراه جهت‌یافتگی دانه‌های گراولی در نزدیکی شاخه گسلی از سوی دیگر گواهی بر بیشینه بیشتر evT نسبت به ev1 است.

evS: رسوبات گوه واریزه‌ای D5 با بیشینه ستبرای نزدیک به ۹۸ سانتی‌متر، در پیامد فرسایش افراز گسلی تولیدشده با گسل F8 دلالت بر رخداد زمین‌لرزه‌ای پیش از نهشتگی D5 و پس از شکل‌گیری واحد D4 دارد.

evR: جابه‌جایی لبه خاوری زیر واحد ۱۰ به مقدار نزدیک به ۷ سانتی‌متر توسط شاخه فرعی گسل F8 و پوشش این شاخه با نهشته‌های واحد D4 از یک سو و پدیداری شکستگی کوچکی در راستای این شاخه گسلی در سطح D3c از سوی

لرزه‌ای (Event Horizon) این رویداد سراسر قاعده واحد ۱۶ در درازای ترانشه را دربرمی‌گیرد. این زمین‌لرزه تنها رویداد لرزه‌ای ثبت‌شده در ساختگاه ترانشه شمال مروست است که گواه‌های افق لرزه‌ای آن در سراسر ترانشه قابل شناسایی است.

evZ: شکستگی‌های پر شده با واحد A2 نشان از رخداد زمین‌لرزه پیش از نهشتگی A2 نزدیک به ۴۱/۸ ka دارد. افق لرزه‌ای evZ برابر با قاعده واحد A2 و سطح زیر واحد ۲۹ است. بیشینه ژرفا و پهنای این شکستگی‌ها به ترتیب برابر با ۱۰۸ و ۳۴ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است که کم‌وبیش، همگون با مقادیر به‌دست‌آمده برای بزرگ‌ترین شکستگی پدیدار شده در ev1 است.

۶-۲. زمین‌لرزه‌های پارینه در فروبوم مرکزی

ev1: بریدگی لبه باختری واحد C2 توسط گسل F4 و پوشش این شاخه گسلی با نهشته‌های واحد ۱۶ گواهی بر وجود رخداد زمین‌لرزه‌ای برابر با ev1 است. از سوی دیگر نبود دنباله باختری واحد C2 گواهی بر کارکرد مؤلفه راستالغزی در سازوکار رخداد ev1 است.

evY: شکستگی پر شده با واحد B2 در راستای گسل F1 بیانگر رخداد لرزه‌ای پیش از نهشتگی واحد B2 است. ژرفا و پهنای این شکستگی به ترتیب برابر با ۹۷ و ۴۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. همچنین پدیداری درزه‌ای در خاور گسل F1 را می‌توان برآمده از کارکرد این رویداد به شمار آورد. افق لرزه‌ای evY برابر با قاعده واحد B2 در همبری با B1 است.

evX: نهشته‌های B1 با خاستگاه کوهرفتی برآمده از شکل‌گیری حوضچه فروافتاده (فروبوم مرکزی) در پی کارکرد گسل‌های F4 تا F4 با مؤلفه شیب‌لغزی عادی هستند. از این رو می‌توان پنداشت که رخداد زمین‌لرزه‌ای بزرگ دست‌کم لغزش‌هایی را روی ۴ شاخه گسلی سبب شده است. مقدار جابه‌جایی شاقولی تولیدشده روی گسل‌های F3 و F4 به ترتیب برابر با ۱۲۸ و ۱۱۲ سانتی‌متر و روی گسل‌های F1 و F2 به ترتیب و دست‌کم برابر با ۲۳۰ و ۸۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است. پس از رخداد evX با پدیداری فاز فرسایشی کوتاه‌مدتی (پیش از آغاز نهشتگی B1) سطح زیر واحد ۱۸ میان شاخه‌های گسلی F2 و F4 فرسوده شده است. افق لرزه‌ای این رویداد برابر با سطح واحد C1 در همبری با واحدهای B1 و C2 است.

در حالتی دیگر می‌توان لغزش پدیدار شده روی گسل F2 و بخشی از جابه‌جایی موجود روی گسل F1 را به یک رخداد لرزه‌ای و لغزش موجود روی گسل F3 و بخش دیگر جابه‌جایی روی گسل F1 را به رخداد لرزه‌ای دیگر منسوب دانست و در آخر نیز جابه‌جایی روی گسل F4 را به زمین‌لرزه‌ای جوان‌تر نسبت داد. به بیان دیگر در حالت دوم evX دربرگیرنده ۳ رخداد لرزه‌ای خواهد بود.

در بهمن ماه سال ۱۳۷۲ پنج زمین‌لرزه به‌گونه‌ای پیاپی در گذر ۶ روز با بزرگای گشتاوری میان ۵/۵ تا ۶/۲ Mw روی گسل‌های کور (Blind) با سازوکار رانندگی در فاصله نزدیک به ۶۰۰ کیلومتری خاور سامانه گسلی دهشیر در پیرامون آبادی سفیدآبه رخ داده است. با گذشت ۲ روز از نخستین رویداد ویرانگر، شکستگی‌های سطحی به‌گونه‌ای ناپیوسته در پهنه‌ای به درازای ۹/۵ کیلومتر و پهنای ۲۰ متر در نهشته‌های با لایه‌بندی نزدیک به شاقولی گزارش شده است که مسبب شکل‌گیری ساختارهای فروبوم کوچک (Mini-Grabens) با بیشینه ژرفای ۱/۷ متر بوده‌اند (Berberian et al., 2000).

اگرچه در پدیداری ساختارهای فروبوم در زمین‌لرزه سفیدآبه، لغزش سطح لایه‌بندی (Bedding-plane Slip) از یک سو و سازوکار رانندگی گسلش مسبب از سوی دیگر نقش مهمی داشته است، اما باید بزرگای رخداد لرزه‌ای (Mw ۶/۲) و نبود رد سطحی گسل مسبب را نیز به‌شمار آورد. به بیان دیگر در رخداد لرزه‌ای با بزرگای بیش از Mw ۶/۲ و در شرایطی که گسلش مسبب زمین‌لرزه به سطح رسیده باشد - حتی با نبود لغزش سطح لایه‌بندی - تولید ساختارهای فروبوم در سطح زمین امکان‌پذیر خواهد بود. از این رو لحاظ تنها یک رخداد لرزه‌ای بزرگ (evX) به‌همراه

میان لزه‌های ماسه‌ای در واحد E1 توسط رخداد لزه‌ای کهن تر از زمین‌لرزه‌های eVI تا eVII، سن این رخداد (eVII) می‌تواند پیش از پایان نهشتگی E1 و پس از رسوب‌گذاری لزه‌های ماسه‌ای باشد. با توجه به همپوشانی بازه زمانی مورد اشاره با زمان رخداد eVII، پذیرش همزمانی رویدادهای eVQ و eVU دور از انتظار نیست. حتی با لحاظ جابه‌جایی روی لزه‌های ماسه‌ای در رخداد زمین‌لرزه‌های جوان‌تر، شکل‌گیری هفتمین رخداد لزه‌ای در ساختگاه شمال مروست با اشاره به رویداد eVU قابل پذیرش خواهد داشت. بنابراین دست کم ۷ زمین‌لرزه پارینه روی پاره گسل مروست قابل شناسایی است که هم‌ترازی زمانی میان آنها و با دوره‌های آب‌وهوایی پارینه و همچنین جایگاه شکل‌گیری گواه‌های منسوب به این رخدادها در درازای ترانشه شمال مروست در شکل ۱۱ نمایش داده شده است.

۸- بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که برآورد بزرگای زمین‌لرزه‌های پارینه نیازمند بهره‌گیری از پنداشت‌های گوناگونی است که در بیشتر آنها متغیرهای مورد نیاز با نبود قطعیت همراه می‌شوند، شاید مناسب‌ترین رهیافت، بهره‌گیری از چندین روش برای برآورد بزرگای رخدادهای لزه‌ای پارینه باشد. میزان درازای گسیختگی سطحی یکی از متداول‌ترین متغیرهایی است که در این زمینه به کار گرفته می‌شود.

بر پایه پژوهش‌های (Wells & Coppersmith, 1994) کمینه بزرگای گشتاوری مورد نیاز برای پدیداری گسیختگی سطحی برابر با Mw ۵/۵ است. بنابراین نخستین برآورد از بزرگای رخدادهای لزه‌ای شناسایی شده در ساختگاه شمال مروست، وجود بزرگای گشتاوری بیش از ۵/۵ خواهد بود. همچنین ایشان بر پایه بررسی ۴۲۱ زمین‌لرزه تاریخی در سراسر جهان (دربردارنده ۲۰۷ رخداد لزه‌ای با درازای گسیختگی بررسی شده)، رابطه‌ای میان بیشینه مقدار جابه‌جایی، درازای گسیختگی سطحی و بزرگای گشتاوری ارائه نموده‌اند. به گونه‌ای که میانگین جابه‌جایی سطحی نسبتی میان ۰/۲ تا ۰/۸ از مقدار بیشینه جابه‌جایی سطحی دارد. بر پایه روابط موجود میان مقدار جابه‌جایی در هر رخداد لزه‌ای و سازوکار گسلش مسبب زمین‌لرزه و بزرگای رخداد (Wells & Coppersmith, 1994)، بزرگای زمین‌لرزه‌های پارینه در ساختگاه شمال مروست برآورد شده است (جدول ۲). مقدار جابه‌جایی‌های افقی، شاقولی و حقیقی با توجه به گواه‌های موجود در ترانشه برای هر رخداد لزه‌ای پارینه و با بهره‌گیری از شماره ریک گسلی برابر با ۱۰ و ۴۵ درجه به ترتیب برای گسلش‌های با سازوکار راستالغز و عادی محاسبه شده است. بزرگای هر رخداد با بهره‌گیری از مقادیر میانگین و بیشینه جابه‌جایی حقیقی و پنداشت کارکرد گسلش مسبب در دو سازوکار راستالغز و عادی برآورد شده است. از این‌رو بزرگای ۷ زمین‌لرزه پارینه روی پاره گسل مروست از سامانه گسلی دهشیر میان ۶/۳ تا ۷/۸ در سنجه Mw برآورد پذیر است.

سنجش مقدار جابه‌جایی حقیقی پدید آمده در eVI میان ۱/۱۵ تا ۴ متر در ترانشه شمال مروست از یک سو و اندازه‌گیری کمترین مقدار جابه‌جایی راست‌بر برای شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی (همچون جابه‌جایی آبراهه‌های کوچک و میانه) در گستره ساختگاه‌های هرابرجان و مروست به‌ترتیب برابر با ۲ و ۲/۵ متر که می‌تواند به آخرین جنبش لزه‌ای روی پاره گسل مروست نسبت داده شود از سوی دیگر، بیانگر درازای گسیختگی سطحی بیش از ۳۵ کیلومتر برای آخرین رخداد لزه‌ای است. رسم نمودار مقدار جابه‌جایی راست‌بر برای eVI در برابر مقدار فاصله افقی، نشان از جایگیری بیشینه مقدار جابه‌جایی در ساختگاه شمال مروست (در فاصله نزدیک به ۴۰ کیلومتری شمال ساختگاه هرابرجان) دارد (شکل ۱۲). با بهره‌گیری از رابطه موجود میان درازای گسیختگی و بزرگای زمین‌لرزه (Wells & Coppersmith, 1994)، بزرگای جنبش لزه‌ای برای تولید گسیختگی سطحی با درازای ۴۰ کیلومتر، برابر با Mw ۷ خواهد بود:

دیگر، احتمال وجود رخداد لزه‌ای را پیش از رسوب‌گذاری واحد D4 و پس از نهشتگی D3c مطرح می‌کند. در حالت دیگر می‌توان جابه‌جایی اندازه‌گیری شده در زیر واحد ۱۰ را پیامد نیروی وزنی تولیدی برآمده از کج‌شدگی و کشیدگی در پنجه این نهشته‌ها توسط کارکرد گسل F8 به‌شمار آورد. از سوی دیگر با توجه به همپوشانی جابه‌جایی یادشده به‌سوی افق‌های بالاتر به گونه‌ای که مقدار آن در قاعده واحد D3b به صفر می‌رسد، حالت دوم پذیرش بیشتری دارد.

۶-۵. زمین‌لرزه‌های پارینه در بلوک خاوری

eVI: شکستگی با ژرفای بیشینه ۱۸ سانتی‌متر در سطح زیر واحد ۳۶ که به نهشته‌های فورش - ماسه‌ای واحد ۱۶ پر شده است از یک سو و پوشش شاخه گسلی F9 در زیر نهشته‌های واحد ۱۶ از سوی دیگر نشان از رخداد زمین‌لرزه‌ای هم‌تراز با eVI دارد. eVQ: با توجه به همانندی رسوب‌شناختی میان زیر واحدهای ۳۵ و ۳۶، بازسازی لزه‌های ماسه‌ای موجود در این دو زیر واحد در کنار یکدیگر امکان‌پذیر است. از سوی دیگر، تفاوت اصلی میان این نهشته‌ها در مقدار شیب آنهاست به گونه‌ای که مقدار شیب زیر واحد ۳۵ نزدیک به ۵ درجه و زیر واحد ۳۶ نزدیک به ۴۰ درجه به‌سوی خاور است. از این رو احتمال کج‌شدگی بیشتر زیر واحد ۳۶ در پیامد کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی گسل F9 به گونه‌ای عادی وجود دارد. احتمال دیگر آن است که جابه‌جایی شاقولی میان لزه‌های ماسه‌ای نزدیک به ۲۳۸ سانتی‌متر در گذر رخداد زمین‌لرزه‌های جوان‌تر و یا به گونه‌ای انباشتی (Cumulative) برآمده از رویدادهای eVW، eVZ، eVU و eVU پدید آمده باشد.

۷- هم‌ترازی رخدادهای لزه‌ای پارینه در ترانشه شمال مروست

با بهره‌گیری از نتایج حاصل از سن‌سنجی به روش OSL و هم‌ترازی زمان - چینه‌ای برپا شده در سراسر نهشته‌های موجود در ترانشه شمال مروست، پس از شناسایی گواه‌های مربوط به رخدادهای لزه‌ای پارینه در بلوک‌های جداگانه تلاش بر برپایی ارتباط زمانی میان این رخدادها در سراسر ترانشه شده است. در ادامه به ۷ رخداد لزه‌ای به‌ترتیب از جوان‌ترین تا کهن‌ترین زمین‌لرزه شناسایی شده با شماره‌های یونانی اشاره می‌شود.

eVI: گواه‌های مربوط به جوان‌ترین رخداد لزه‌ای (۲/۲ ka) در سراسر بخش بالایی ترانشه دیده می‌شود.

eVII: پدیداری این رخداد منسوب به زمان پس از نهشتگی واحد D5 و پیش از رسوب‌گذاری D6 (نزدیک به ۱۸ ka) در نهشته‌های کج‌شده است.

eVIII: نهشته‌های گوه‌واریزه‌ای D5 نشان از وجود این رویداد نزدیک به ۲۱ ka (پیش از نهشتگی D5) دارد.

eXIV: شکستگی پرشده با واحد B2 گواهی بر چهارمین رخداد لزه‌ای پس از نهشتگی واحد B1 و پیش از رسوب‌گذاری B2 (۲۵ ka) است.

eV: در نظر گرفتن زمان رخداد eVX پیش از نهشتگی واحد B1 از یک سو و نبود رخنمون قاعده حقیقی این واحد در ترانشه شمال مروست از سوی دیگر احتمال همزمانی رخداد لزه‌ای eVW را در قاعده واحد C2 (نزدیک به ۳۶ ka) با eVX بیشتر می‌کند. با بهره‌گیری از نرخ رسوب‌گذاری برای نهشته‌های کوهرفتی در ساختگاه شمال مروست (0.21 mm yr^{-1}) و بهره‌گیری از سن ۳۶ ka برای رویداد eVX، قاعده حقیقی واحد B1 می‌تواند نزدیک به ۷۰ سانتی‌متر پایین‌تر از کف رخنمون موجود در ترانشه با سنی نزدیک به ۳۲/۵ ka باشد. از این‌رو لحاظ رویدادهای eVW و eVX به گونه‌ای هم‌زمان و در پنج‌مین رخداد لزه‌ای به دور از انتظار نیست.

eVII: با توجه به هم‌ترازی زمانی میان قاعده واحدهای A2 و Dx شکستگی‌های پرشده با این واحدها هر دو نشان از ششمین رخداد لزه‌ای نزدیک به ۴۱/۵ ka دارند.

eVII: پوشش شاخه گسلی F6 با واحد D2، بیانگر رخداد هفتمین زمین‌لرزه پارینه پیش از رسوب‌گذاری D2 و نزدیک به ۴۳/۷ ka است. با پذیرش جابه‌جایی

کمتر از M_w ۵/۵ (بزرگای مورد نیاز برای پدیداری گواه‌های پارینه‌لرزه‌شناختی) به‌شمار آورد. دوره همراه با جنبش لرزه‌ای با میانگین نزدیک به ۷۳۰۰ سال و در بازه زمانی میان $ka-۴۳/۷$ تا $ka-۳۶$ و $ka-۲۵$ تا $ka-۱۸$ ، و گستره زمانی بی‌لرزه میان $ka-۳۶$ تا ۲۵ و نزدیک به $ka-۱۸$ تا $ka-۲/۲$ جای می‌گیرد.

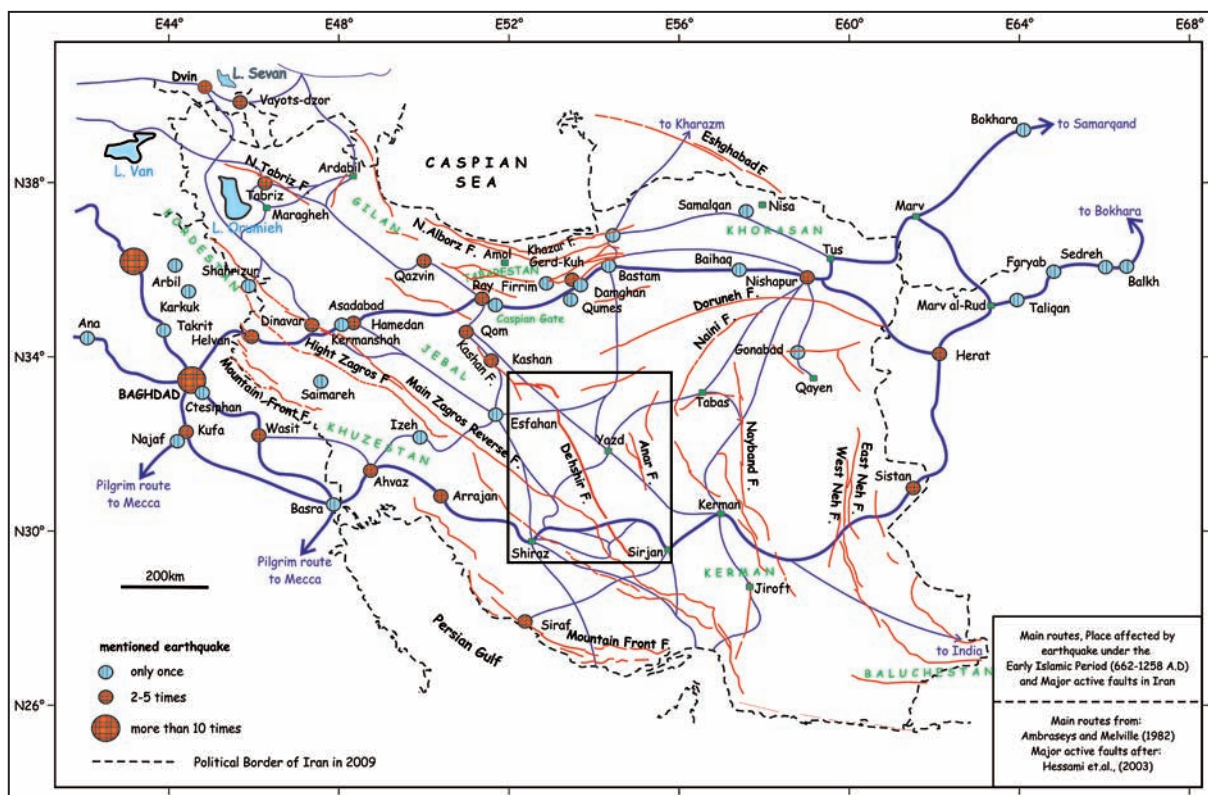
رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ با دوره بازگشت چند هزار سال (برآمده از نرخ لغزش کم) تأییدی بر وجود دگرشکلی درون صفحه‌ای در بازه زمانی کوتاه‌تری پایانی در گستره باختر ایران مرکزی است. چنین الگوی جنبشی دست‌کم در شناسایی رفتار جنبشی بخشی از سامانه گسلی دهشیر (پاره‌گسل مروست) از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. با پنداشت پیوستگی این الگو تا چرخه لرزه‌ای آتی، پاره‌گسل مروست امروزه در دوره همراه با جنبش لرزه‌ای به‌سر می‌برد. از این رو با پذیرش دوره بازگشت نزدیک به ۳۵۰۰ سال از یک سو و لحاظ جوان‌ترین رخداد لرزه‌ای برابر با $ka-۲/۲$ ، پدیداری رخداد لرزه‌ای بزرگ آتی روی پاره‌گسل مروست از سامانه گسلی دهشیر به ۱۰۰۰ سال آینده منسوب خواهد شد. این در حالی است که با به‌کارگیری کمترین فاصله زمانی میان دو رخداد لرزه‌ای پیاپی نزدیک به ۲۰۰۰ سال (بازه زمانی میان $evVI$ و $evVII$)، تولید زمین‌لرزه‌ای ویرانگر با بزرگای بیش از ۷ در سنج M_w در آینده نزدیک دور از انتظار نیست.

سیاسگزاری

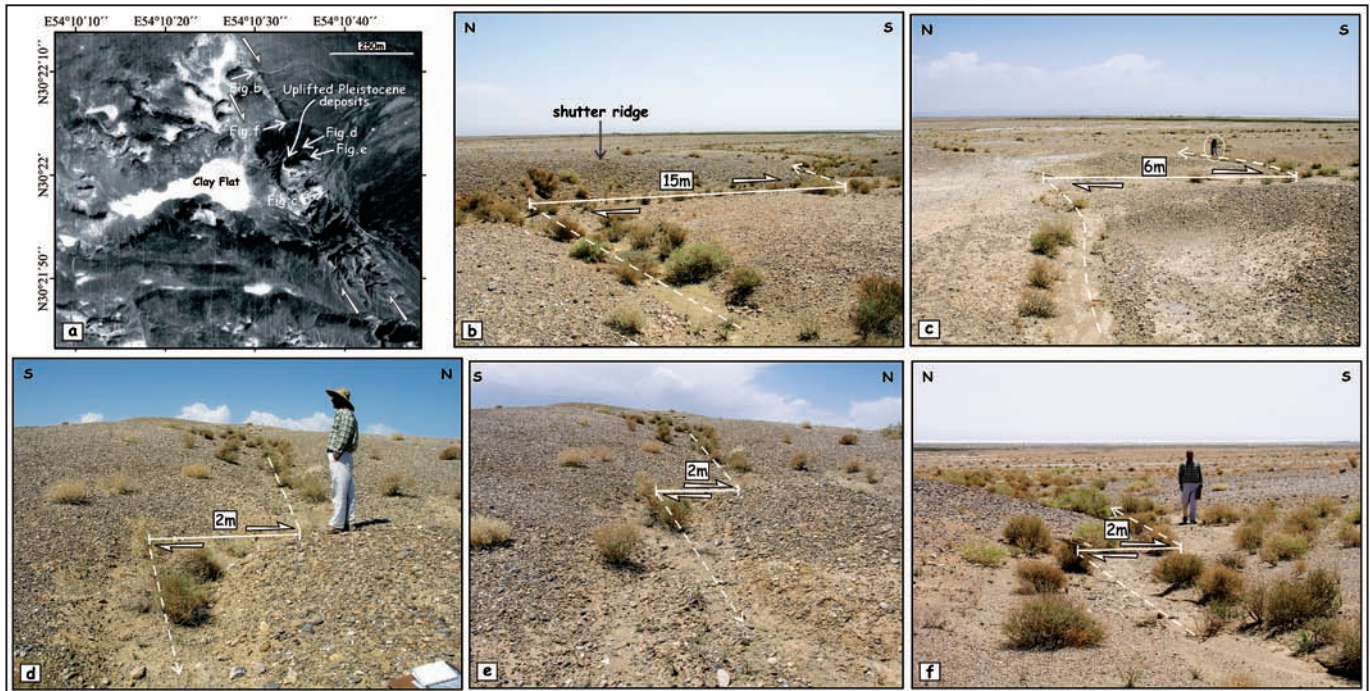
این پژوهش با یاری مالی و علمی پژوهشکده علوم‌زمین و سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در قالب بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نگارنده اول انجام پذیرفته است که در اینجا از همکاری صمیمانه همه مسئولان و کارکنان آن پژوهشکده و سازمان سیاسگزاری می‌شود.

$\{(\log (\text{Surface Rupture Length}) = (-3.55) + (0.74M))\}$. از این رو با توجه به بزرگای آمده در جدول ۲ برای evI و لحاظ رابطه یادشده، بزرگای این جنبش لرزه‌ای در پاره‌گسل مروست میان ۷ تا $۷/۴$ در سنج M_w برآورد پذیر است.

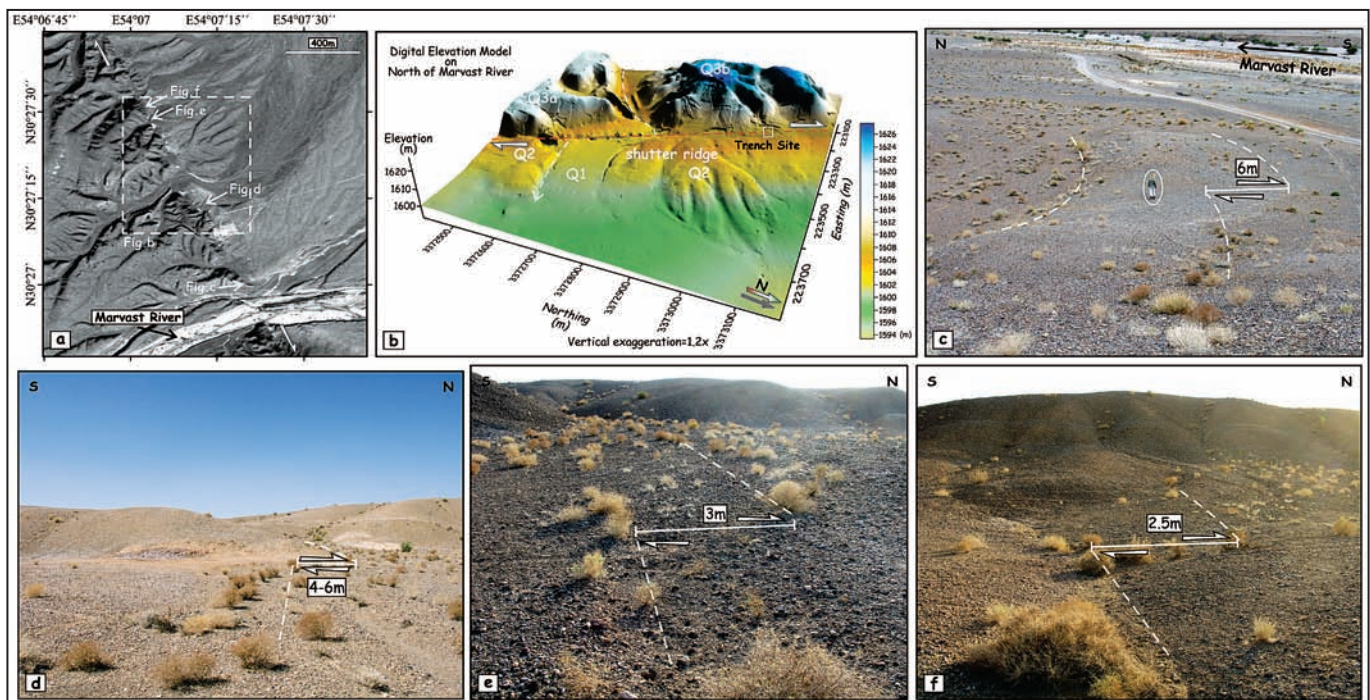
نرخ لغزش سالانه برای گسلی لرزه‌زا رابطه‌ای وارون با دوره بازگشت جنبش‌های لرزه‌ای دارد. به بیان دیگر وجود دوره بازگشت‌های چند هزار ساله برای گسلی با نرخ لغزش میان‌مدت کم دور از انتظار نیست. برای نمونه می‌توان به نمود جنبش لرزه‌ای در گذر $۲/۲ ka$ برای شمالی‌ترین پاره‌گسل از سامانه گسلی Wasatch در ایالات متحده امریکا اشاره کرد. این در حالی است که پاره‌گسل‌های مرکزی از این سامانه گسلی با نرخ لغزش‌های بالاتر، گسیختگی‌های بیشتری را در سال‌های گذشته تولید کرده‌اند (McCalpin & Nishenko, 1996). نخستین خوشه‌بندی زمانی (Temporal Clustering) برای جنبش‌های لرزه‌ای روی پاره‌گسل پالت کریک از سامانه گسلی سن‌آندریاس ارائه شده است (Sieh et al., 1989). ایشان ۱۰ زمین‌لرزه شناسایی شده در ساختگاه پالت کریک را برای ۴ خوشه (Cluster) در نظر گرفته‌اند. به‌گونه‌ای که هر خوشه دربردارنده ۲ تا ۳ جنبش لرزه‌ای است. با این مقدمه، ۷ زمین‌لرزه پارینه‌شناسایی شده در ترانشه شمال مروست را می‌توان در ۳ خوشه زمانی جای داد (شکل ۱۱). ۲ خوشه کهن‌تر (B و C) هر یک دربرگیرنده ۳ رخداد لرزه‌ای هستند و جنبش evI در جوان‌ترین خوشه (D) جای می‌گیرد. دوره بازگشت میان زمین‌لرزه‌های رخ داده در یک خوشه به‌ترتیب برای خوشه‌های C و B برابر با ۳۸۰۰ و ۳۵۰۰ سال و بازه زمانی میان دو خوشه پیاپی، $ka-۱۱$ و $ka-۱۵$ برآورد می‌شود. بنابراین از بازه زمانی مورد بررسی روی پاره‌گسل مروست در ساختگاه شمال مروست می‌توان در دو بخش: همراه با جنبش لرزه‌ای و جنبش لرزه‌ای کم یا بی‌لرزه یاد کرد. دوره دگرشکلی با جنبش لرزه‌ای کم را می‌توان دربردارنده رخداد‌های لرزه‌ای با بزرگای



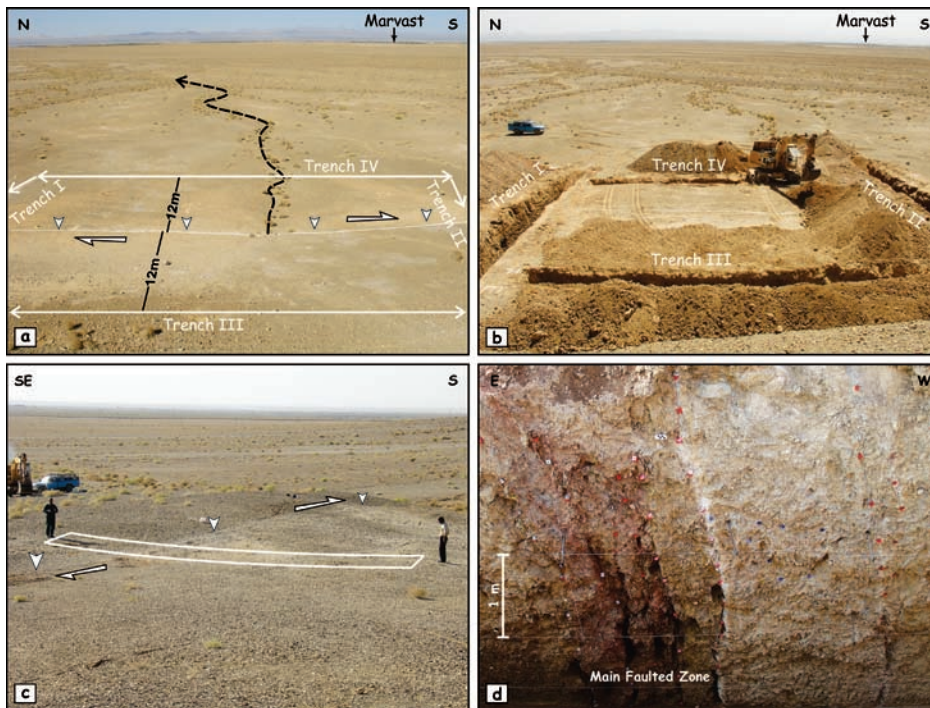
شکل ۱- زمین‌لرزه‌های تاریخی ثبت شده در دوره خلفا (۶۲۲ تا ۱۲۵۸ میلادی) به همراه شهرهای پرجمعیت و راه‌های ارتباطی اصلی میان آنها برگرفته از (Ambraseys & Melville (1982) و گسل‌های جنبی اصلی در گستره ایران (Hessami et al., 2003). بخشی از حلقه ارتباطی میان بخش‌های خاوری و باختری ایران در آن روزگار از پهنه گسل‌های جنبی در گستره ایران مرکزی در گذر بوده است. به‌نود گزارش زمین‌لرزه تاریخی در پهنه دربرگیرنده سامانه گسلی دهشیر (چهار گوش سیاه) توجه شود.



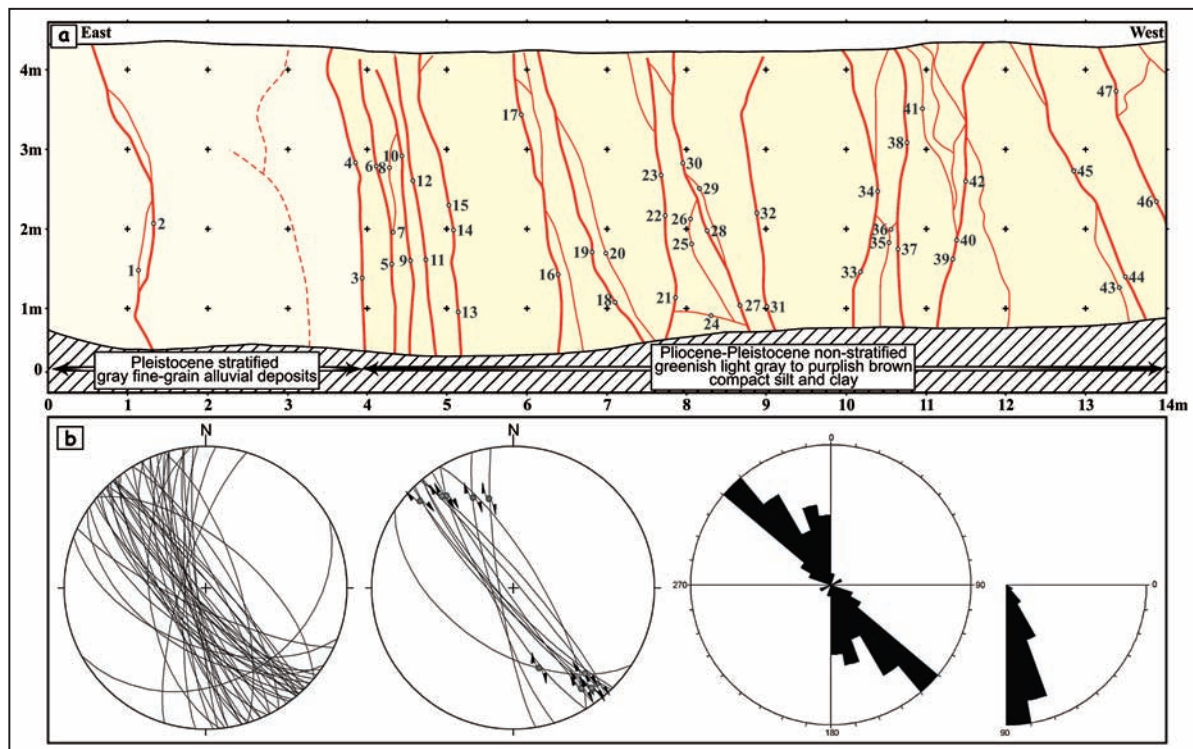
شکل ۲- (a) نگاره ماهواره‌ای SPOT5 با توان جداسازی مکانی ۲/۵ متر از ساختگاه هرابرجان نشان از فرایش نهشته‌های سنگ‌جوش پلیستوسن در نتیجه کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی دو شاخه گسلی هم‌راستا و با سوی شیب به‌سوی یکدیگر دارد. جایگاه برداشت گواه‌های ریخت‌زمین ساختی جابه‌جا شده به‌صورت راست‌بر توسط گسل دهشیر در شمال باختر دهستان هرابرجان نمایش داده شده است؛ (b) پشته مسدودکننده (Shutter Ridge) برآمده از حرکت راست‌الغز گسل دهشیر سبب انحراف آبراهه از مسیر اصلی خود به میزان ۱۵ متر شده است؛ (c تا f) آبراهه‌های جابه‌جا شده توسط گسل دهشیر به‌گونه راست‌بر به ترتیب برابر با ۶ و ۲ متر که کمترین میزان جابه‌جایی برابر با ۲ متر را می‌توان به آخرین رویداد لرزه‌ای پارینه روی گسل دهشیر در پاره گسل مروست نسبت داد.



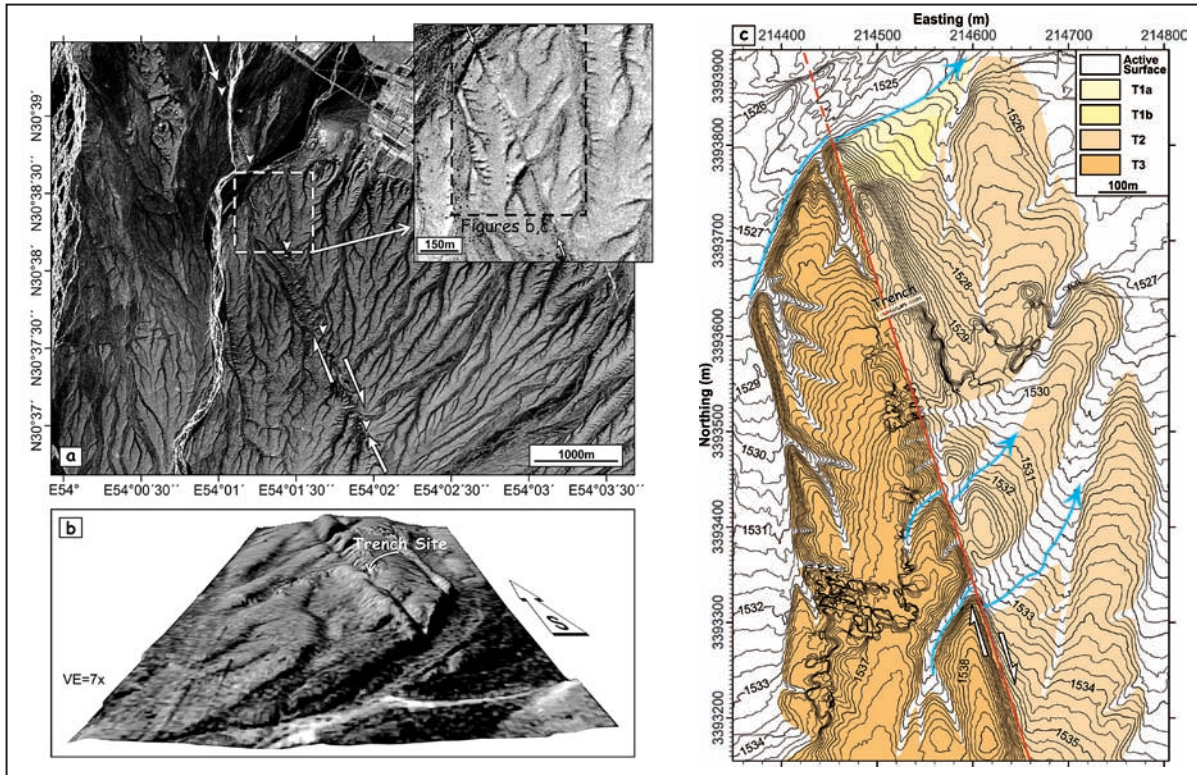
شکل ۳- (a) بریدگی نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن و جابه‌جایی و انحراف آبراهه‌های کوچک و بزرگ در نتیجه حرکت راست‌بر گسل دهشیر با راستای $N153^{\circ}$ در شمال رودخانه مروست روی نگاره ماهواره‌ای SPOT5؛ (b) مدل ارتفاعی رقومی حاصل از برداشت سطح توپوگرافی با دستگاه GPS Post-Processing Kinematic (PPK) نشان از انحراف کانال آبراهه بزرگی به میزان 10 ± 15 متر در پیامد شکل‌گیری پشته مسدودکننده در نهشته‌های Q2 دارد. جایی که این آبراهه سطح نهشته‌های آبرفتی Q2 و Q3a را حفر می‌کند؛ (c) جابه‌جایی پشته آبرفتی پلیستوسن پایانی به صورت راست‌بر توسط گسل دهشیر به میزان ۶ متر در شمال رودخانه مروست با سوی جریان به سوی خاور در حدود ۴ تا ۶ متر؛ (d) جابه‌جایی کرانه سمت راست آبراهه‌ای در شمال رودخانه مروست با سوی جریان به سوی خاور در حدود ۴ تا ۶ متر؛ (e) جابه‌جایی راست‌بر آبراهه‌های بسیار جوان به ترتیب به میزان ۲/۵ تا ۳ متر توسط پاره گسل مروست. این آبراهه‌ها سطح بادن آبرفتی پلیستوسن پایانی را در آخرین چرخه فرسایشی در گستره مروست حفر کرده‌اند.



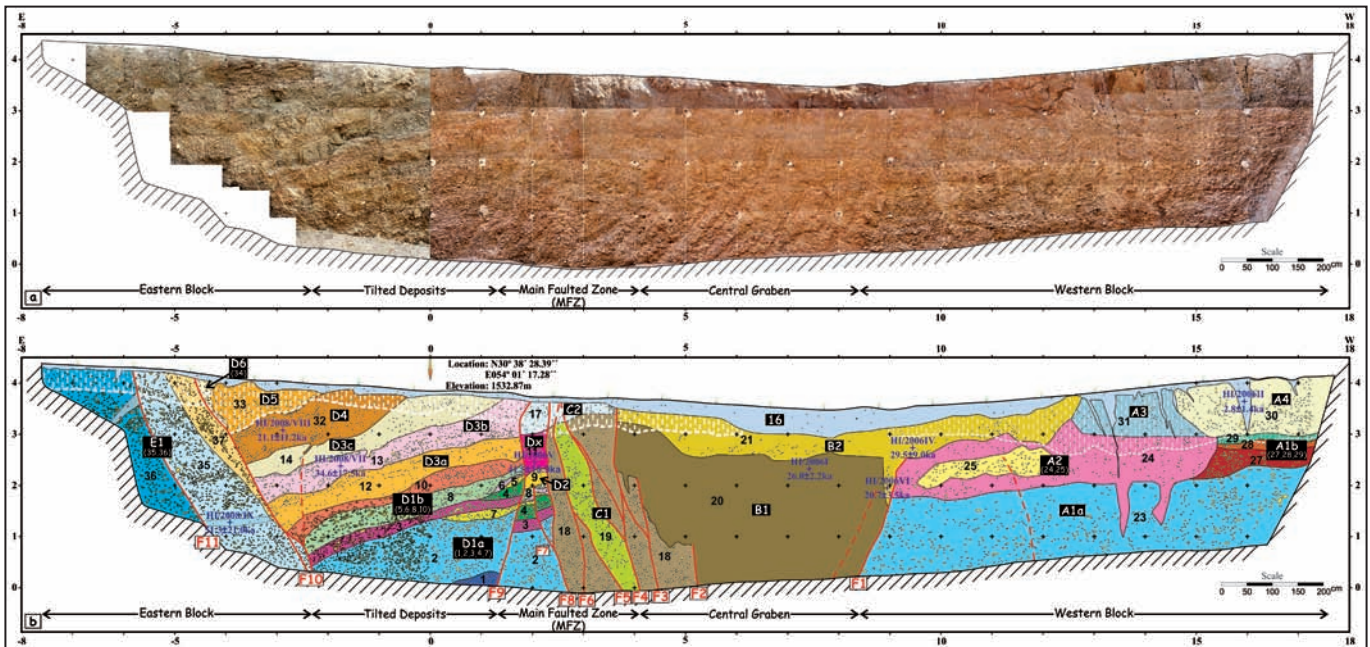
شکل ۴- (a) ساختگاه مروست در ۹ کیلومتری باختر شهر مروست پیش از حفاری ترانسه‌های پارینه‌لرزه‌شناختی. ترانسه‌های I و II عمود بر راستای گسل (N153°) که با نشانه‌های سه‌گوش سفیدرنگ مشخص شده است و ترانسه‌های III و IV هم‌سو با راستای گسل و روی نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن پایانی و هولوسن حفر شده‌اند. به پدیداری آبراهه سربریده (Behaded Stream) در پی کارکرد راستالغزی پاره‌گسل مروست توجه شود؛ (b) ساختگاه پارینه‌لرزه‌شناختی مروست پس از حفاری ۴ ترانسه با بیشینه ژرفای ۴/۵ متر؛ (c) ساختگاه هرابرجان در ۵ کیلومتری شمال باختری دهستان هرابرجان نشان از جایگاه حفاری ترانسه پارینه‌لرزه‌شناختی عمود بر راستای گسل (N148°) با بلندای افزاز نزدیک به ۲۰ سانتی‌متر و روی نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن پایانی و هولوسن دارد؛ (d) پهنه گسلش اصلی در فاصله مترهای ۳ تا ۶ ترانسه حفر شده در ساختگاه هرابرجان، شامل صفحه‌های گسلی پرشیب در همبری نهشته‌های آبرفتی و کوهرفتی پلیستوسن پایانی در خاور با نهشته‌های کهن تر در باختر.



شکل ۵- (a) شاخه‌های گسلی پرشیب راستالغز راست بر با سوی شیب به سوی باختر در ترانسه هرابرجان. شکل‌گیری شاخه‌های فراوان گسلی در نهشته‌های فورشی - رسی و کوهرفتی باختر پهنه اصلی گسلش (باختر متر ۴) نشان از تجربه جنبایی بیشتر لرزه‌ای و در نتیجه سن کهن تر برای این نهشته‌ها دارد. دایره‌های کوچک سفیدرنگ به همراه شماره‌های کنار آنها بیانگر جایگاه برداشت ۴۷ صفحه گسلی در ترانسه هرابرجان است؛ (b) نمودارهای برآمده از برداشت صفحه‌های گسلی در ترانسه هرابرجان نشان از راستای چیره میان $N130^{\circ}$ - $N150^{\circ}$ (نمودار سمت چپ)، سازوکار راستالغز راست بر به همراه شماره ریک گسلی میانگین کمتر از ۱۵ درجه (نمودار میانه) و شیب چیره بیش از ۷۰ درجه برای شاخه‌های گسلی (نمودار سمت راست) دارد.

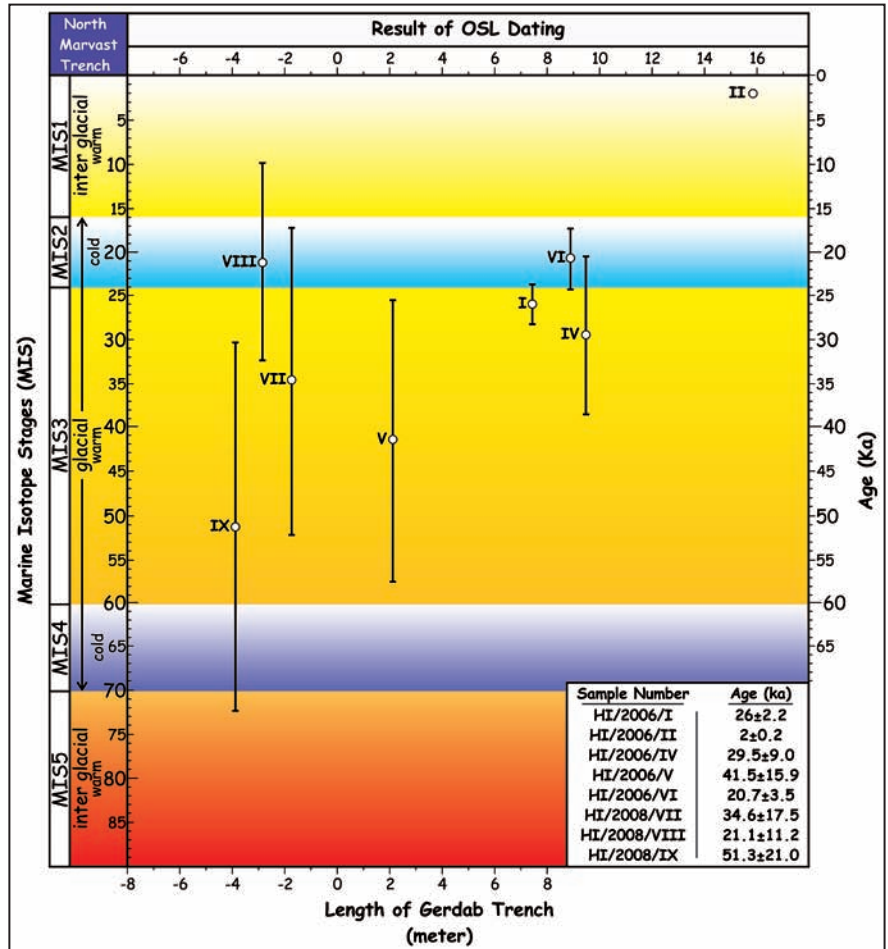


شکل ۶- (a) نگاره ماهواره‌ای SPOT5 با توان جداسازی مکانی ۲/۵ متر از ساختگاه شمال مروست. پاره گسل مروست با راستای $N162^\circ$ سب بریدگی نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن پایانی و هولوسن شده است. لکه‌های سفیدرنگ در راستای گسل (گوشه سمت راست) نشان از انباشت نهشته‌های ریزدانه از جنس فورس و رس در نتیجه شکل‌گیری فروافتادگی در پهنه گسلی دارد؛ (b) جایگاه ترانشه پارینه‌لرزه شناختی شمال مروست و بخشی از پاره گسل مروست در این ساختگاه روی ترکیب نگاره ماهواره‌ای SPOT5 و مدل ارتفاعی برآمده از برداشت سطح توپوگرافی با دستگاه GPS-PPK؛ (c) جداسازی نهشته‌های آبرفتی پلیستوسن و هولوسن به ۳ پادگانه اصلی (T1, T2, T3) بر پایه اختلاف بلندی حاصل از داده‌های برداشت شده با دستگاه GPS-PPK در زمینه نقشه توپوگرافی بزرگ مقیاس حاصل از مدل ارتفاعی رقومی با فواصل منحنی‌های اصلی میزان برابر با ۱ متر. پیکان‌های آبی رنگ نشان‌دهنده آبراهه‌های پویا در آخرین دوره فرسایشی رخ داده در ساختگاه شمال مروست است که در نتیجه کارکرد راستالغزی پاره گسل مروست به گونه‌ای راست بر جا به جا شده‌اند. جایگاه ترانشه شمال مروست با چهار گوش سفیدرنگ در پهنه پادگانه‌های T2 و T3 نمایش داده شده است.

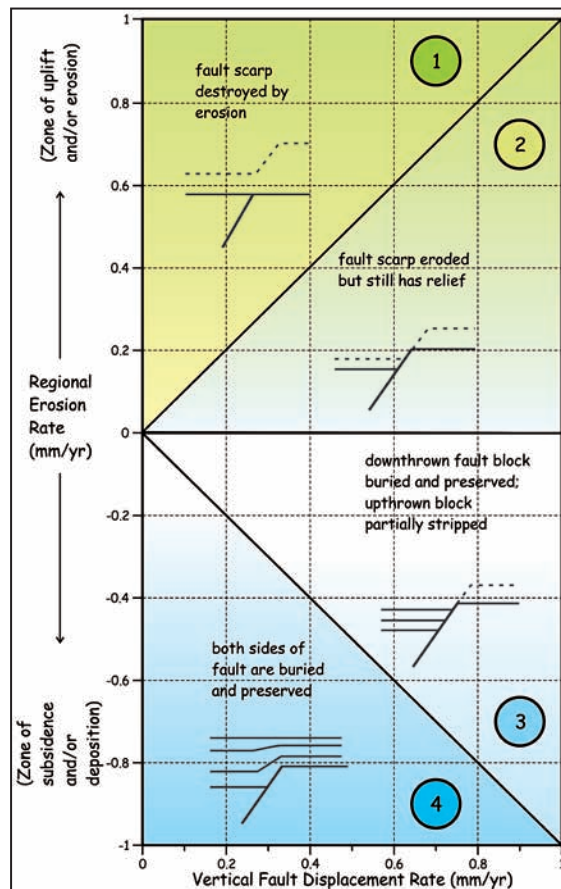


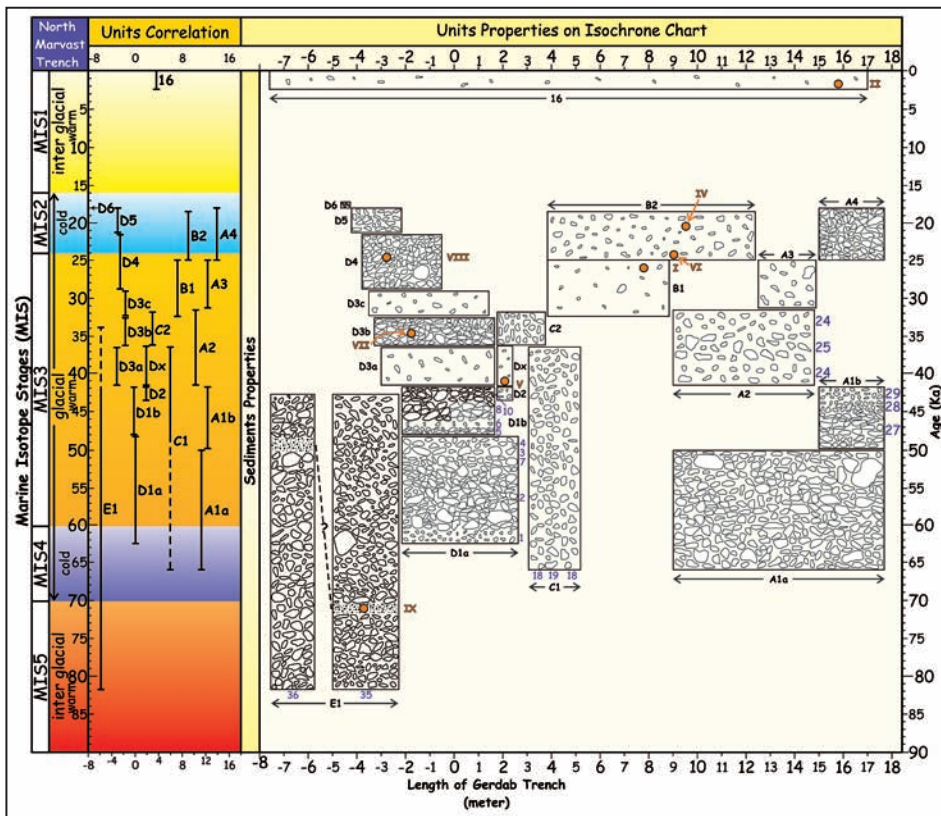
شکل ۷- (a) نگاره یکپارچه با بهره‌گیری بیش از ۳۵۰ عکس برداشت شده از دیواره جنوبی ترانشه پارینه‌لرزه شناختی شمال مروست شامل ۴ عکس برای هر متر مربع؛ (b) واحدهای رسوبی-چینه‌ای به همراه شاخه‌های گسلی (خطوط سرخ‌رنگ) و درزه‌های زمین‌ساختی (خط چین‌های سرخ) به‌نقشه درآمده از دیواره جنوبی ترانشه پارینه‌لرزه شناختی شمال مروست با دقت ۱:۲۰. هاشورهای سفید در بخش بالایی ترانشه نشان از نهشت کربنات کلسیم ثانویه برآمده از شسته‌شدگی افق‌های بالایی دارد. در پی کارکرد مؤلفه شیب‌لغزی شاخه‌های گسلی F1 تا F4 به گونه‌ای عادی، ساختار فروبوم (Graben) در میانه ترانشه شکل گرفته است. به کج‌شدگی نهشته‌ها با سوی شیب به سوی خاور در میان شاخه‌های گسلی F9 و F10 نیز توجه شود. دانه‌های تخریبی بزرگ‌تر از ۲ سانتی‌متر با بهره‌گیری از نگاره‌های آمده در شکل a رسم شده‌اند.

شکل ۸- نتایج سن‌سنجی ۸ نمونه به روش لومینسانس نوری (OSL) از ترانشه شمال مروست. دوره‌های تغییرات آب‌وهوایی جهانی بر پایه تغییر نسبت اکسیژن دریایی برگرفته از Leduc et al. (2007) در ستون سمت چپ و در قالب دوره‌های Marine Isotope Stages (MIS) آمده است. جایگاه برداشت هر نمونه در درازای ترانشه، سن میانگین به‌دست آمده (دوایر سفیدرنگ) و بازه سنی محاسبه‌شده (Error Bars) با خطوط سیاه نمایش داده شده است. سن‌سنجی همه نمونه‌ها در مرکز آزمایشگاهی- پژوهشی شفیلد انگلستان Sheffield Centre for International Dryland research luminescence laboratory انجام شده است.

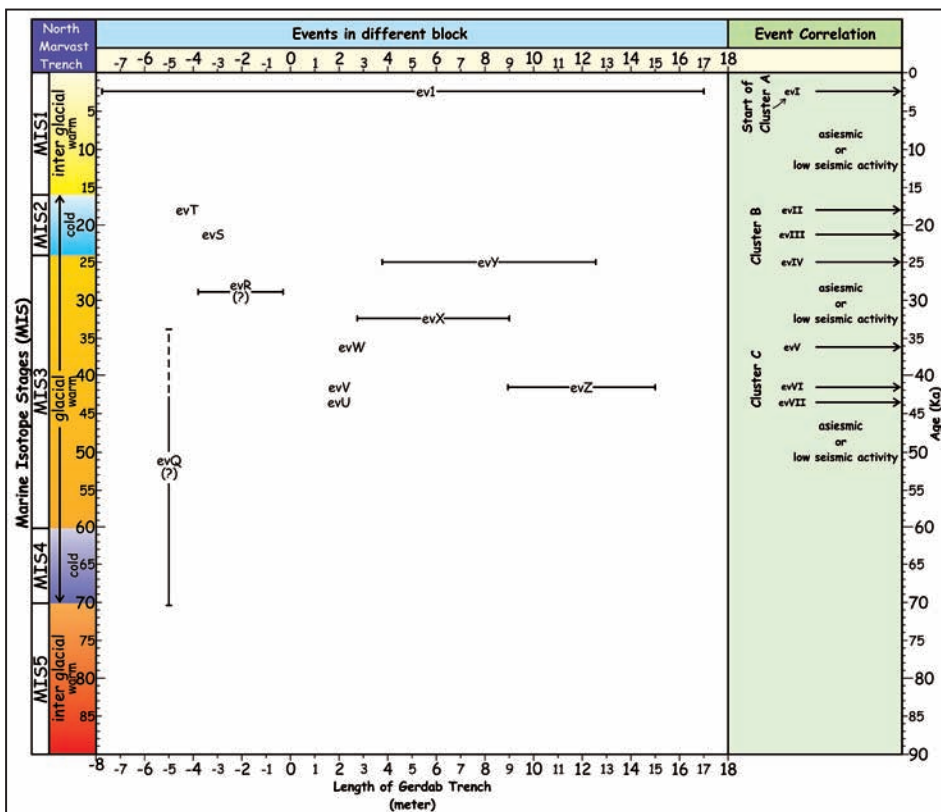


شکل ۹- چگونگی تأثیر نرخ‌های دگرشکلی در برابر نرخ‌های فرسایش و رسوب‌گذاری روی ماندگاری افراز گسلی. گستره شماره ۱ بیانگر پایداری بسیار کم افراز در شرایط وجود نرخ فرسایش بیش از نرخ جابه‌جایی شاقولی گسل است. ماندگاری نسبی افراز گسلی در پهنه شماره ۲ پیامد چیرگی مقدار عددی نرخ جابه‌جایی شاقولی گسل به نرخ فرسایش است. از سوی دیگر، چنین حالتی در شرایط چیرگی میزان نرخ جابه‌جایی شاقولی گسل به نرخ فرونشست و رسوب‌گذاری (گستره شماره ۳) نیز دیده می‌شود. گستره شماره ۴ نشان از پوشیدگی گسل در شرایط وجود نرخ رسوب‌گذاری در هر دو سوی گسل بیش از نرخ جابه‌جایی شاقولی دارد (با تغییر از McCalpin et al., 1996).





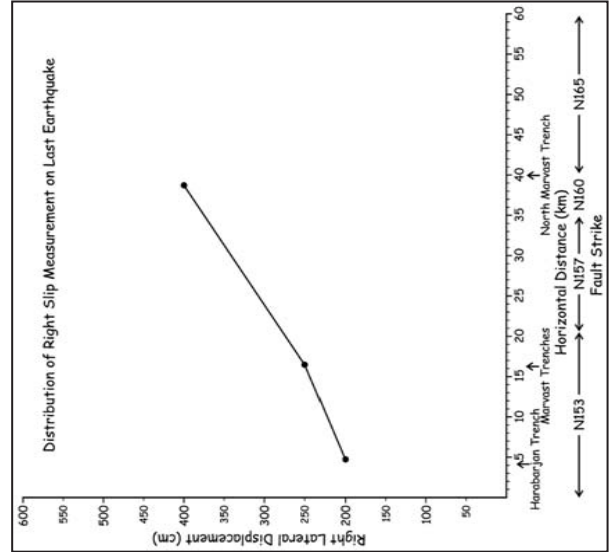
شکل ۱۰- ویژگی‌های رسوب‌شناختی واحدهای برداشت شده از دیواره جنوبی ترانسه پارینه لرزه‌شناختی شمال مروت و هم‌ترازی زمانی میان آنها. دوره‌های ایزوتوپ دریایی (MIS) از ۹۰ هزار سال گذشته تا به امروز برگرفته از (Leduc et al., 2007) در ستون سمت چپ آمده است. بازه سنی قاعده تا سطح هر واحد با خطوط ممتد نشان داده شده و خط چین بیانگر نبود قطعیت برای مرز پایینی واحد C1 است.



شکل ۱۱- گواهی‌های زمین‌لرزه‌های پارینه در سرتاسر نهشته‌های دیواره جنوبی ترانسه شمال مروت. جایگاه نشانه‌های جنبش‌های لرزه‌ای در درازای ترانسه (بخش میانی) به همراه ۷ زمین‌لرزه پارینه (سمت راست) شناسایی شده پس از هم‌ترازی زمانی میان نشانه‌ها ارائه شده است. زمین‌لرزه‌های شناسایی شده از دیدگاه زمانی قابل جداسازی در ۳ خوشه زمانی A، B و C از حدود ۴۳/۷ هزار سال گذشته تا به امروز هستند.

جدول ۱- ویژگی‌های رسوبی - چینه‌ای زیر واحد‌های برداشت شده از دیواره جنوبی ترازنده پارینه‌لرزه‌شناختی شمال مروست.

Subunit No.	Lithologic Description	Subunit No.	Lithologic Description	Subunit No.	Lithologic Description
1	Light brown alluvial deposit; Non stratified; 75% clasts (1-3cm); Without roundness and sorting; Silt, clay and sand as matrix.	13	Gray alluvial deposit; Non to poorly stratified; 85% clasts (0.5-4cm); Sub rounded to rounded; Medium to well sorted; Sand and silt as matrix; with sandy lens in middle of unit. (small stream deposit)	28	Brown alluvial deposit; Stratified; 80% clasts (0.5-2cm); Angular; Poorly to medium sorted; Silt, sand, clay and gypsum as matrix.
2	Gray alluvial deposit; Stratified; 85% clasts (0.5-7cm); Sub rounded to rounded; Medium sorted; Sand, silt and clay as matrix.	14	Light brown colluvial deposit; Non Stratified; 5% clasts (0.5-3cm); Angular to sub rounded; Poorly to medium sorted; Silt, clay and sand as matrix.	29	Light brown to buffish alluvial deposit; Non Stratified; 70% clasts (0.5-1cm); Sub rounded; Medium sorted; Sand, silt and clay as matrix.
3	Brown alluvial deposit; Non stratified; 70% clasts (0.5-8cm); Sub rounded to rounded; Medium to well sorted; Silt, sand and clay as matrix.	16	Gray to brown surficial deposit; Stratified (laminate); 3% clasts (0.2-1cm); Sub rounded to rounded; Well sorted; Sand and silt as matrix.	30	Light gray colluvial deposit; Non stratified (oriented); 90% clasts (0.5-4cm); Sub rounded to rounded; Medium sorted to sorted; Sand, silt and gypsum as matrix.
4	Gray alluvial deposit; Stratified; 70% clasts (0.2-4cm); Sub rounded to rounded; Poorly to medium sorted; Sand, silt and clay as matrix.	17	Light sulfate caliche affected colluvial deposit with source of alluvial; Non Gray stratified; 60% clasts (0.5-4cm); Sub rounded to rounded; Poorly to medium sorted; Sulfate caliche, clay and sand as matrix.	31	Similar to unit 19, but 10% clasts.
5	Light brown alluvial deposit as lens; Non stratified; 85% clasts (0.5-2cm); Sub rounded to rounded; Medium sorted; Clay, silt and sand as matrix.	18	Gray alluvial deposit; Non Stratified (oriented clasts near to fully); 50% clasts (0.5-5cm); Rounded; Medium sorted; Silt, sand and clay as matrix.	32	Gray alluvial deposit; Poorly stratified; 70% clasts (0.5-5.0cm); include of sandy lens.
6	Light gray alluvial deposit as lens; Non stratified; 10% clasts (0.2-1cm); Sub rounded to rounded; Medium sorted; Sand as matrix.	19	Brownish alluvial deposit; Non Stratified; 60% clasts (0.5-3cm); Angular to sub rounded; Poorly to medium sorted; Silt, clay and sand as matrix.	33	Brown colluvial deposit (colluvial wedge); Reworked alluvial deposit; Poorly stratified; 60% clasts (0.5-4cm) Without orientation for alluvial gravels; Whole of the deposit affected by sulfate caliche.
7	Gray alluvial deposit as lens; Non stratified; 80% clasts (0.2-4cm); Sub rounded to rounded; Medium sorted; Sand, silt and clay as matrix.	20	Light brown graben deposit; Weak stratified; 5% clasts (0.5-4cm); Angular to sub rounded; Poorly sorted; Clay, silt and gypsum as matrix that percentage of gypsum toward up increased.	34	Gray fissure filling deposit; Non stratified; 50% clasts (0.5 to 2cm); Poorly sorted; This unit affected by sulfate caliche.
8	Gray alluvial deposit with small lenses; Non stratified (oriented clasts); 85% clasts (0.5-7cm); Sub rounded to rounded; Medium to well sorted; Sand, silt and clay as matrix.	21	Light brown graben deposit (darker than toward up); Non Stratified; 20% clasts (0.5-2cm); Angular; Poorly to medium sorted; Silt, clay sand as matrix.	35	Gray to brownish alluvial deposit; 85% clasts (0.5-8cm); Well cemented; include of sandy lens (about 1.5cm); Gently dip direction toward east; similar to 10, 8, 3, 2, 1 units.
9	Light gray alluvial deposit; Non Stratified; 40% clasts (0.2-2cm); Angular and poorly sorted; Silt, clay and sand as matrix.	23	Gray alluvial deposit; Non Stratified (oriented clasts); 80% clasts (0.5-10cm); Sub rounded to rounded; Medium to well sorted; Sand, silt, clay and rarely crystals of gypsum as matrix; Similar with unit 2.	36	Similar to unit 35 but with amount of dip between 30-40 degrees toward east; 85% clast (0.5-8cm) include of one gravelly sand layer.
10	Gray alluvial deposit; Non stratified (oriented clasts); 85% clasts (0.5-4cm); Sub rounded to rounded; Medium to well sorted; Sand, silt as matrix.	24	Light gray alluvial deposit; Non Stratified; 20% clasts (0.5-3cm); Sub rounded to rounded; Poorly to medium sorted; Gypsum, silt and clay as matrix.	37	Brown to brownish gray faulted zone; Non stratified; 75% clasts (0.5 to 7cm) that from bottom toward top passed; Upper part affected with sulfate caliche; Medium to poorly sorted; Sub rounded to rounded; Oriented clasts near the fault.
11	Gray fissure filling sediments; Non Stratified (lenses with clasts about 2cm); 2% clasts (0.2-1cm); Sub rounded to rounded; Well sorted; Sand and silt as matrix.	25	Light gray to creamish alluvial deposit as lens or channel (?); Non stratified (oriented clasts); 35% clasts (0.3-4cm); Sub rounded to rounded; Poorly sorted; Gypsum, silt and clay as matrix.		
12	Brown to reddish brown run-off deposit; Stratified (laminate); 5% clasts (1-2cm); In upper part lenses with 80% clasts about 0.5-2 cm Sub rounded to rounded; Medium to well sorted; Clay, silt as matrix. (seems to be mud flow)	27	Brownish gray alluvial deposit; Non stratified (oriented); 85% clasts (0.5-4cm); Sub rounded; Medium sorted; Silt, clay and sand as matrix.		



شکل ۱۲- میزان جابه‌جایی راستالغز راستالغز برآمده از آخرین رخداد زمین‌لرزه پارینه روی پاره گسل مروست از سامانه گسلی دهشیر (نزدیک به ۲۲۰۰ سال گذشته) در فاصله جایگاه ترازنده شمال مروست و ساختگاه هرابرجان (بیش از ۳۵ کیلومتر). بیشینه جابه‌جایی راستالغز در ساختگاه شمال مروست و در حدود ۴ متر دیده می‌شود. راستای گسل در این حلد فاصل برابر با $159 \pm 9^{\circ}$ N است.

جدول ۲- بزرگ‌های برآورد شده برای زمین لرزه‌های پارینه در ترانشه شمال مروست بر پایه روابط موجود میان میزان جابه‌جایی روی صفحه گسل، سازوکار گسلش و بزرگای زمین لرزه در هر رویداد (Wells & Coppersmith, 1994). نوشتار سرخ‌رنگ نشان از احتمال کم برای سازوکار گسلش عادی در رویداد لرزه‌ای VII دارد.

Event	Date (years B.P)	Displacement (Vf)	Displacement (H)	¹ Net Dis. (m)	² Mw(AD) SS	³ Mw(MD) SS	⁴ Net Dis. (m)	⁵ Mw(AD) N	⁶ Mw(MD) N	Mw
ev I	2200	0.2m-0.7m	1.8m-6.3m (?) (mean=2.5m)	1.15-4.0	7.40	7.27	0.28-0.98	6.64	6.60	7.0±0.4
ev II	18000	Fissure size is similar or less than ev I	1.8m-6.3m (?) (mean=2.5m)	1.15-4.0	7.40	7.27	0.28-0.98	6.64	6.60	6.96±0.3
ev III	21200	1.02m-2.04m	9.18m-18.36m	5.87-11.75	7.88	7.64	1.44-2.88	6.99	6.93	7.40±0.4
ev IV	25000	0.25m	2.25m	1.44	7.18	6.93	0.35	6.48	6.28	6.73±0.4
ev V	36000	0.6m-2.30m (mean=1.22)	5.4m-20.7m (mean=10.98)	3.45-13.24 (mean=7.02)	7.79	7.68	0.84-3.25 (mean=1.72)	6.93	6.97	7.36±0.4
ev VI	41500	Fissure size is similar with ev I	1.8m-6.3m (?) (mean=2.5m)	1.15-4.0 (?)	7.40 (?)	7.27 (?)	0.28-0.98 (?)	6.64 (?)	6.60 (?)	7.0±0.4
ev VII	43700	0.12m	1.08m	0.69	6.89	6.68	0.16	6.26	6.04	6.78±0.1 *6.66±0.2

¹Net Displacement = Vf/Sin Rake (rake =10°)

²M = 7.04 + {0.89xlog(Average Displacement)}

³M = 6.81 + {0.78xlog(Maximum Displacement)}

⁴Net Displacement = Vf/Sin Rake (rake =45°)

⁵M = 6.78 + {0.65xlog(Average Displacement)}

⁶M = 6.61 + {0.71xlog(Maximum Displacement)}

SS = Strike slip

N = Normal

*With Reverse Mechanism

کتابنگاری

- فروتن، م.، ۱۳۸۷- پارینه‌لرزه‌شناسی و ریخت‌زمین‌ساخت گسل دهشیر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۵۵ صفحه.
- فروتن، م.، نظری، ح.، میر، ب.، سبیریر، م.، فتاحی، م.، لو دورتز، ک.، طالبیان، م.، قرشی، م.، حسامی، خ.، ۱۳۸۸- برآورد نرخ رسوب‌گذاری برای شناخت جنبایی لرزه‌ای گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی- هولوسن، چکیده مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۱۰ صفحه.
- فروتن، م.، نظری، ح.، میر، ب.، سبیریر، م.، فتاحی، م.، لو دورتز، ک.، قرشی، م.، حسامی، خ.، قاسمی، م. ر. و طالبیان، م.، ۱۳۹۰- آهنگ لغزش راست بر گسل دهشیر در بازه زمانی پلیستوسن پایانی- هولوسن، فلات ایران مرکزی، فصلنامه علوم‌زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۲، زمستان ۹۰، سال بیست و یکم، صفحه ۱۹۵ تا ۲۰۶.

References

- Ambraseys, N. & Melville, C., 1982- A history of Persian earthquakes, Cambridge University Press, London, 219 pp.
- Ambraseys, N., 2001- Reassessment of earthquakes, 1900-1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East, *Geophys J.Int*, 145: 471-485.
- Berberian, M. & Yeats, R. S., 1999- Patterns of Historical Earthquake Rupture in the Iranian Plateau, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 89, 120-139.
- Berberian, M., 1976- An explanatory note on the first seismotectonic map of Iran, a seismotectonic review of the country, *Geol. Surv. Iran*, 39, 7-142.
- Berberian, M., 1994- Natural Hazards and the First Earthquake Catalogue of Iran, by UNESCO: International Institute of Earthquake Engineering and Seismology.
- Berberian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M. & Priestley, K., 2000- The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonics of the Sistan suture zone, *Geophys. J. Int*, 142, 283-299.
- Fattahi, M., Nazari, H., Bateman, M., Meyer, B., Sébrier, M., Talebian, M., Le Dortz, K., Foroutan, M. & Ghoreishi, M., 2010- Refining the OSL age of the last earthquake on the Dehshir fault, Central Iran, *Quaternary Geochronology*, doi:10.1016/j.quageo.2009.04.005.
- Hessami, K., Jamali, F. & Tabassi, H., 2003- Map of Major active helts of Iran International, *Instifate of earthquelce Engineering and Seismology*.
- Le Dortz, K., Meyer, B., Sébrier, M., Braucher, R., Nazari, H., Benedetti, L., Fattahi, M., Boursès, D., Foroutan, M., Siame, L., Rashidi, A. & Bateman, M. D., 2011- Dating inset terraces and offset fans along the Dehshir Fault (Iran) combining cosmogenic and OSL methods, *Geophys. J. Int.*, doi:10.1111/j.1365-246X.2011.05010.x.

- Leduc, G., Vidal, L., Tachikawa, K., Rostek, F., Sonzogni, C., Beaufort, L. & Bard, E., 2007- Moisture transport across Central America as a positive feedback on abrupt climatic changes, *Nature Letters*, 445, doi:10.1038/nature05578, 908-911.
- McCalpin, J. P. & Nishenko, S. P., 1996- Holocene paleoseismicity, temporal clustering, and probabilities of future large ($M > 7$) earthquakes on the Wasatch fault zone, Utah: *Journal of Geophysical Research*, v.101, no. B3, p.6233-6253, doi: 10.1029/95JB02851.
- McCalpin, J. P., 1996- *Paleoseismology*, New York, Academic Press, 588pp.
- Meyer, B. & Le Doetz, K., 2007- Strike-slip kinematics in Central and Eastern Iran: Estimating fault slip-rates averaged over the Holocene, *Tectonics*, 26, TC5009, doi:10.1029/2006TC002073.
- Meyer, B., Mouthereau, F., Lacombe, O. & Agard, P., 2006- Evidence of Quaternary activity along the Deshir fault: Implication for the Tertiary tectonics of Central Iran, *Geophys. J. Int.*, 164, 192-201.
- Nazari, H., Fattahi, M., Meyer, B., Sébrier, M., Talebian, M., Foroutan, M., Le Dortz, K., Bateman, M. D. & Ghorashi, M., 2009- First evidence for large earthquakes on the Deshir fault, Central Iran Plateau, *Terra Nova*, 21, 417-426.
- Regard, V., 2003- Variations temporelle et spatiale de la transition subduction-collision: Tectonique de la transition Zagros-Makran (Iran) et modelisation analogique, Ph.D. thesis, Univ. d' Aix Marseille III, Aix en Provence, France.
- Sharma, K. D. & Chatterji, P. C., 1982- Sedimentation in Nadis in the Indian arid zone, *Hydrological Sciences*, 27, 345-352.
- Sieh, K., 1981- A review of geological evidence for recurrence times of large earthquakes, *American Geophysical Union*.
- Sieh, K., Stuiver, M. & Brillinger, D., 1989- A more precise chronology of earthquakes produced by the San Andreas fault in Southern California, *Journal of Geophysical Research*, 94, 603-623.
- Tsukuda, T., 1985- Long term seismic activity and present microseismicity on active faults in southwest Japan. *Earthquake Pred. Res.*, 3: 253-284.
- Walker, R. & Jackson, R., 2004- Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran, *Tectonics*, 23, doi:10.1029/2003TC001529.
- Wallace, R. E., 1978- Geometry and rates of change of fault generated range fronts, north-central Nevada. *J. Res. U.S. Geol. Surv.*, 6: 637-650.
- Wallace, R. E., 1981- Active faults, paleoseismology and earthquake hazards in the western United States. In: D.W. Simpson and T.G. Richards (Editors), *Earthquake Prediction: An International Review*. M. Ewing Ser., Am. Geophys. Union, 4: 209-216.
- Wells, D. L. & Coppersmith, K. J., 1994- New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 974-1002.

Late Pliestocene-Holocene Paleoseismicity, Temporal Clustering, Probabilities of Future Large ($M > 7$) Earthquake on the Dehshir Fault, Central Iran

M. Foroutan ^{1*}, H. Nazari ², B. Meyer ³, M. Sébrier ⁴, M. Fattahi ⁵, K. Le Dortz ⁶, M. Ghorashi ⁷, K. Hessami ⁸,
M. R. Ghassemi ² & M. Talebian ²

¹ Ph.D., Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, France; Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Teheran, Iran

² Assistant Professor, Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Teheran, Iran

³ Professor, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, France

⁴ Senior Researcher, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, France

⁵ Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Teheran, Iran

⁶ Ph.D., Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, Paris, France

⁷ Associate Professor, Islamic Azad University, North Tehran Branch; Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Teheran, Iran

⁸ Assistant Professor, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (*IIEES*), Teheran, Iran

Received: 2011 April 30

Accepted: 2011 December 20

Abstract

The Dehshir fault system (DFS) including six fault segments forms the western border of NS-striking active dextral strike-slip fault cutting the Sanandaj-Sirjan, Uromieh-Dokhtar magmatic arc, and Central Iran. This active fault system right-laterally offset Eocene volcanic rocks and Quaternary alluvial fans. Geomorphic evidence implies the activity of the DFS in the Late Quaternary, and paleoseismic investigations revealed seismic movements along the Marvast fault segment during the Late Pleistocene and Holocene timescales. In order to unravel the seismic history of the DFS over the intermediate geologic (10^3 – 10^5 - years) time scale, and based on the morphotectonics and sedimentary-stratigraphic properties, three paleoseismic sites have been selected along the 35-km-long stretch of the Marvast fault segment. The southern site (Harabarjan) shows steep fault branches of $N140 \pm 10^\circ$ strike with sub-horizontal striations in dextral component. Another trench has been excavated at the North Marvast site within the Late Pleistocene-Holocene alluvial and colluvial deposits. Optically stimulated luminescence (OSL) analysis of loose, quartz-rich deposits yielded an age of ~ 72 ka for the oldest exposed sediments. Paleoseismic studies along the Marvast fault segment provide evidence for the occurrence of several large seismic events associated with surface ruptures along the DFS. The chronology of the paleoearthquakes on the Marvast segment indicates that at least 7 large ($\approx M_w > 7$) earthquakes occurred in the last 43 ka with an average recurrence time of 3650 ± 150 years. The most recent earthquake, event I, occurred ~ 2200 years ago, which associated with 2–4 m of dextral slip and > 40 km surface rupture along the Marvast fault segment. These investigations are compatible with the lack of destruction in the Marvast historical (~ 1300 years) castle, located < 10 km east of the DFS. Seismic pattern of the Marvast fault segment could be classified in three temporal clusters and two deformation spans: 1) with significant seismic activities; and 2) with small seismic activities or aseismic. Assuming such a seismic pattern remains similar until the next seismic cycle, the Marvast fault segment is experiencing the last seismic cluster. Considering the shortest time interval between two successive earthquakes (~ 2000 years) may indicate the imminent threat of another destructive earthquake along the Marvast fault segment.

Keywords: Paleoseimology, Dehshir Fault System, Paleoearthquake, Seismic event horizon, Optically Stimulated Luminescence (OSL), Holocene

For Persian Version see pages 75 to 90

*Corresponding author: M. Foroutan; E-mail: mohammad.foroutan@upmc.fr