

محاسبه نرخ لغزش در منطقه شش تراز گسل درونه به روش هیستوگرام و حداقل سن با استفاده از لومینسانس برانگیخته شده با نور

حمیده امینی^۱، مرتضی فتاحی^{۲*} و محمدرضا قاسمی^۳

^۱ دانشجوی زلزله‌شناسی، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۳ استادیار، پژوهشکده سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۷، دسترسی برخط: ۱۳۹۰/۱۲/۱)

چکیده

گسل درونه در شمال شرق ایران، از گسل‌هایی است که با وجود طولی بودن، قرارگیری در محل همگرایی دو صفحه عربستان- اوراسیا و دارا بودن پتانسیل بالای لرزه‌خیزی، فقط یک زمین‌لرزه تاریخی با بزرگای ۷ (زمین‌لرزه ۱۶۱۹، دوغ‌آباد (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲)) و دو زمین‌لرزه دستگاهی با بزرگای بیش از حدود ۶ (زمین‌لرزه‌های ۱۹۳۳ با بزرگای ۶ و ۱۹۴۰ با بزرگای ۵/۶ در حوالی این گسل (چالکو و همکاران، ۱۹۷۳)) داشته است؛ بنابراین، تحلیل خطر لرزه‌ای روی این گسل ضروری است. یکی از روش‌های تحلیل خطر در یک منطقه، محاسبه نرخ لغزش است. از بهترین روش‌های تعیین نرخ لغزش، استفاده از سن‌یابی رسوبات، با به‌کارگیری لومینسانس (لومینسانس) برانگیخته‌شده با نور (OSL) است.

در این بررسی، نرخ‌دُز معادل دُز طبیعی (De) ذرات کوارتز و فلدسپار نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه شش تراز، با تحلیل داده‌ها در برنامه *Analyst* به روش هیستوگرام (هیستوگرام) محاسبه شد. با توجه به آنکه در رسوبات منطقه، احتمال صفر نشدن کامل سیگنال‌های لومینسانس نمونه‌ها وجود دارد، نتایج حاصل به روش حداقل سن نیز محاسبه شد. با استفاده از مقادیر De سن ذرات کوارتز نمونه‌های T_1 ، T_{1a} و T_2 ، به روش حداقل سن به ترتیب $0.75 \pm 3/49$ و $0.95 \pm 7/67$ و $1/34 \pm 4/57$ هزار سال و به روش هیستوگرام، به ترتیب $3/15 \pm 3/88$ و $1.0/5 \pm 1.0/99$ و $4/45 \pm 7/99$ هزار سال برآورد شد و سن ذرات فلدسپار این نمونه‌ها نیز، به روش حداقل سن، به ترتیب $0.48 \pm 6/23$ و $2/23 \pm 7/40$ و $0.25 \pm 4/96$ هزار سال و به روش هیستوگرام، به ترتیب $1/22 \pm 7/61$ و $1/79 \pm 9/40$ و $2/43 \pm 8/07$ هزار سال برآورد شد.

با استفاده از جابه‌جایی‌های اندازه‌گیری‌شده طی عملیات صحرائی در منطقه شش تراز، بر پایه داده‌های ذرات کوارتز و فلدسپار، نرخ لغزش ذرات کوارتز نمونه‌ها T_1 ، T_{1a} و T_2 ، به روش حداقل سن به ترتیب $1/39 \pm 6/30$ و $0.43 \pm 3/26$ و $0.56 \pm 1/75$ میلی‌متر بر سال و به روش هیستوگرام، به ترتیب $4/61 \pm 5/67$ و $2/18 \pm 2/28$ و 0.57 ± 1 میلی‌متر بر سال برآورد شد و نرخ لغزش ذرات فلدسپار این نمونه‌ها، به روش حداقل سن به ترتیب $0.31 \pm 3/53$ و $1/03 \pm 3/38$ و $0.22 \pm 1/61$ میلی‌متر بر سال و به روش هیستوگرام، به ترتیب $0.48 \pm 2/89$ و $0.52 \pm 2/66$ و 0.32 ± 0.99 میلی‌متر بر سال برآورد شد.

مقایسه سیگنال درخشایی (لومینسانس) ذرات کوارتز و فلدسپار روشن ساخت که سن‌های به‌دست آمده از ذرات فلدسپار، قابل قبول‌تر از ذرات کوارتز است. محدوده نرخ لغزش‌های به‌دست آمده در تحقیق حاضر، وسیع‌تر از محدوده به‌دست آمده در تحقیقات قبلی است، لذا تحقیقات بیشتر، ضرورت دارد.

واژه‌های کلیدی: گسل درونه، رودخانه شش تراز، لومینسانس برانگیخته شده با نور (OSL)، نرخ لغزش

Determination of the slip rate in the Shesh-Taraz river on the Doruneh fault using histogram and minimum age OSL methods

Hamideh Amini¹, Morteza Fattahi^{1*} and Mohammad Reza Ghassemi³

¹*Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran*

³*Geological Survey of Iran, Tehran, Iran*

(Received: 18 April 2010, accepted: 28 June 2011, available online: 20 February 2012)

Summary

Having a left lateral strike slip, the Doruneh fault is located in the northeast of Iran. It is the second longest fault system (~700 km), after the Main Zagros Recent Fault system, in Iran. This fault is the response of the convergence between the Arabian and Eurasian plates in the regional tectonic map. Despite high potential seismicity, only two historical earthquakes with magnitudes greater than 7 more than, and no instrumental earthquakes with greater than 6, have been recorded for this fault. Therefore, it is necessary to determine the hazard of this fault in the area. One way to conduct the Earthquake Hazard Assessment is to calculate the slip rate, and one method for calculating the slip rate is measuring the displacement by the fault and dividing it by the period during which this displacement has occurred. Optically Stimulated Luminescence (OSL) is one of the best methods for determining sediment age in arid and semi-arid zones such as Iran.

Displacements of quaternary geological evidence (e.g., river beds) by the Doruneh fault also suggest this fault is active. In this study, the Shesh-Taraz area was selected because it is near populated areas, including Kashmar, Bardaskan, Khalilabd, Ali mardankhan, and Chenar. Fattahi et al. (2006) collected Optically Stimulated Luminescence (OSL) samples from the Shesh-Taraz and employed the weighted mean Infrared Stimulated Luminescence (IRSL) from the feldspar for slip rate determination. This investigation used similar samples but calculated the ages of both quartz and feldspar fragments using a different OSL method.

The samples were processed under subdued red light. A portion of the sample was taken by dry and wet sieving. The quartz and feldspar fragments were purified and separated by chemical treatment. The separated quartz and feldspar were mounted as monolayers on the 10 mm diameter Al discs for the single aliquot analysis using a silicon spray as an adhesive. The Equivalent Doses (De) of quartz and feldspar of each sample were calculated using the Minimum Age and Histogram Methods for which the Analyst program was used. By dividing the calculated Equivalent Dose by the Total Dose Rate, the ages of these samples were calculated.

The estimated ages for T_1 , T_{1a} and T_2 , from the quartz samples using the Minimum Age Method were 3.49 ± 0.75 , 7.67 ± 0.95 , and 4.57 ± 1.34 ka, respectively, and employing the Histogram Method were 3.88 ± 3.15 , 10.99 ± 10.5 , and 7.99 ± 4.45 ka, respectively. The estimated ages for the feldspar samples with the Minimum Age Method were 6.23 ± 0.48 , 7.40 ± 2.23 , and 4.96 ± 0.25 ka, respectively, and with the Histogram Method were 7.61 ± 1.22 , 9.40 ± 1.79 , and 8.07 ± 2.43 thousand years, respectively.

The displacement of geomorphologic evidence was measured by satellite images (Landsat and Quick Bird Image). Because of high accuracy of the field-measured displacement, in comparison to the satellite image displacement measurements, we calculated the slip rate by dividing the values calculated using the former method of displacement by OSL ages into the newly estimated ages.

The estimated slip rates for T_1 , T_{1a} and T_2 , using quartz samples with the Minimum Age Method were 6.30 ± 1.39 , 3.26 ± 0.43 , and 1.75 ± 0.56 mm.yr⁻¹, respectively, and with

the Histogram Method were 5.67 ± 4.61 , 2.28 ± 2.18 , and 1 ± 0.57 mm.yr^{-1} , respectively. The estimated slip rates for T_1 , T_{1a} and T_2 , using the feldspar samples with the Minimum Age Method were 3.53 ± 0.31 , 3.38 ± 1.03 , and 1.61 ± 0.22 mm.yr^{-1} , respectively, and with the Histogram Method were 2.89 ± 0.48 , 2.66 ± 0.52 , and 0.99 ± 0.32 mm.yr^{-1} , respectively.

Comparative studies of the luminescence signals of quartz and feldspar showed that the results of feldspar are more reliable. The range of the slip rates calculated in this study includes the range of slip rates determined by previous studies. Therefore, additional studies in this region are required.

Key words: Doruneh Fault, Shesh-Taraz River, Optical Simulated Luminescence (OSL), slip rate

۱ مقدمه

با استناد به حضور جابه‌جایی‌هایی به سن کواترنری و نسبتاً جدید در گستره گسل درونه، فعال بودن این گسل قابل اثبات است. با توجه به شواهد زمین‌ریخت‌شناسی، شامل جابه‌جایی آبراهه‌ها (ولمن، ۱۹۶۶؛ فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶؛ جوادی، ۱۳۸۵؛ امینی، ۱۳۸۷) و جابه‌جایی واحدهای زمین‌شناسی (جوادی، ۱۳۸۵؛ امینی، ۱۳۸۷)، گسل درونه، در زمان حال (کواترنری) گسلی فعال به نظر می‌رسد و قابلیت زیادی برای ایجاد زمین‌لرزه در منطقه دارد. بنابراین، بررسی این گسل در تحلیل خطر زمین‌لرزه شمال شرق ایران دارای اهمیت است.

از جمله پارامترهای تأثیرگذار در رخداد زمین‌لرزه در یک منطقه، نرخ لغزش منطقه است. بررسی نرخ لغزش منطقه، از جمله مواردی است که با استفاده از آن می‌توان نرخ آزادسازی انرژی لرزه‌ای را در منطقه برآورد کرد. با توجه به اهمیت نرخ لغزش روی گسل درونه، تاکنون چندین بررسی روی این گسل صورت گرفته است؛ نصب سامانه‌های موقعیت‌یاب جهانی (GPS) (توکلی، ۲۰۰۷)، نرخ لغزش بخش شرقی گسل را $3/5 - 0/5$ mm.yr^{-1} برآورد کرده است؛ سن واحدهای زمین‌شناسی و جابه‌جایی آنها (جوادی، ۱۳۸۵)، نرخ لغزش بخش مرکزی گسل را $4 - 1/5$ mm.yr^{-1} پیشنهاد کرده است؛ و با استفاده از لومینسانس برانگیخته شده با نور (OSL) با به‌کاربردن ذرات فلدسپار و روش وزنی (Weighted) از سوی فتاحی

گسل درونه، به طول حدود ۷۰۰ کیلومتر، در شمال شرق ایران قرار دارد (شکل ۱). تغییر روندی از شمال غرب - جنوب شرق در مرز ایران و افغانستان تا شمال شرق - جنوب غرب در مرکز ایران، به همراه مؤلفه چرخش ساعت‌گرد (واکر و جکسون، ۲۰۰۴)، در امتداد این گسل قابل مشاهده است. در راستای گسل درونه، هرگاه سطح اولیه تقریباً مسطح فرض شود (تقریباً بدون اختلاف ارتفاع)؛ با توجه به نیم‌رخ‌های تهیه شده (در برنامه *Global Mapper*) به موازات و عمود بر این گسل، افزایش ارتفاع از غرب به شرق، علاوه بر افزایش ارتفاع از جنوب به شمال در این گسل، می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که احتمالاً در طول زمان زمین‌شناسی بخش شرقی این گسل تحت تأثیر تنش و کوتاه‌شدگی بیشتری (فشار ناشی از همگرایی دو صفحه عربستان - اوراسیا) نسبت به بخش غربی آن قرار داشته است (شکل ۲).

این گسل دارای سازوکار راست‌الغز چپ‌بر واضحی است، گرچه برخی به سازوکار راست‌بر این گسل در گذشته (به‌خصوص در بخش غربی آن) نیز اشاره کرده‌اند (زارع، ۱۳۷۹؛ نبوی، ۱۳۵۵). مهاجر اشجعی و همکاران (۱۹۷۵) برای بخش مرکزی (تقریباً در شمال کاشمر) سازوکار نرمال و معکوس، و برای بخش شرقی آن سازوکار معکوس و چپ‌بر را ذکر کرده‌اند.

۲ روش تحقیق

یکی از روش‌های تعیین نرخ لغزش گسل، استفاده از تقسیم میزان جابه‌جایی به مدت زمانی است که این جابه‌جایی رخ داده است. در نهایت با توجه به آنکه مطالعات صحرایی دارای دقت زیادی هستند؛ نتایج نهایی حاصل از اندازه‌گیری‌های صحرایی در تعیین نرخ لغزش مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تعیین سن رسوبات و تعیین مدت زمان جابه‌جایی‌های رخ داده در گسل، از روش *OSL* استفاده شد که زمان آخرین نورخوردگی خاک را نشان می‌دهد. پس از تحقیقات، منطقه شش تراز به منزله مکان مناسب برای نمونه‌برداری، تعیین شد.

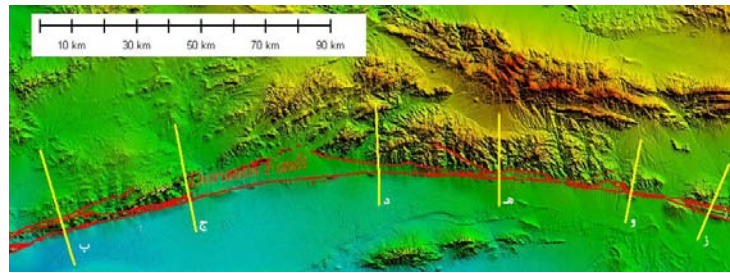
در زمان نمونه‌برداری، برای جلوگیری از نور-خوردگی، نمونه‌برداری در زیر پوششی از کرباس و پلاستیک صورت گرفت. رسوبات در داخل پلاستیک‌های سیاه ضد نور، جمع‌آوری و به آزمایشگاه لومینسانس در دانشگاه آکسفورد انتقال داده شد. در آزمایشگاه، زیر نور سرخ، رسوبات نورنخورده و احتمالاً نورخورده از هم جدا شد. در ادامه، ذرات کوارتز و فلدسپار با اندازه‌های خاص طی چندین مرحله خالص‌سازی شد. مقدار دُز معادل دُز طبیعی (*De*) کوارتز و فلدسپار به روش هیستوگرام و حداقل سن برآورد شد. با تقسیم *De* بر دُز سالانه، سن ذرات کوارتز و فلدسپار برآورد شد. در انتها، با استفاده از سن‌های به دست آمده و جابه‌جایی‌های اندازه‌گیری شده نرخ لغزش منطقه برآورد شد.

و همکاران (۲۰۰۶) برای رسوبات بخش مرکزی، گسل نرخ لغزش $2/7 - 2/1 \text{ mm.yr}^{-1}$ برآورد شده است.

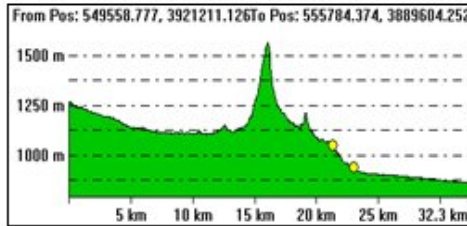
با توجه به آنکه نرخ لغزش‌های برآورد شده با این روش‌ها عیناً مشابه نیستند، در این مقاله از تعیین سن مطلق رسوبات که مقادیر دقیق‌تری را برآورد می‌کند، استفاده شد. از جمله پرکاربردترین روش‌ها برای تعیین سن مطلق رسوبات یک منطقه روش رادیوکربن (C^{14}) و لومینسانس تحریک شده با نور (*OSL*) است. روش رادیوکربن نیاز به نمونه‌های کربن‌دار دارد که متأسفانه، در منطقه ایران که منطقه‌ای خشک است، معمولاً وجود ندارد و خاصه در محل مورد بررسی در مقاله حاضر یافت نشد. با توجه به آنکه روش لومینسانس تحریک شده با نور (*OSL*)، محدودیت روش رادیوکربن را ندارد، از این روش استفاده شد. در این تحقیق، منطقه شش تراز، با توجه به نزدیکی آن به شهرهای پرجمعیتی همانند کاشمر، بردسکن، خلیل‌آباد و روستای علیمردان‌خان و چنار، و مشاهده جابه‌جایی‌های مشخص در آن، مورد بررسی مجدد قرار گرفت. پس از مروری بر وضعیت عمومی منطقه شش تراز، سن‌یابی نمونه‌های کوارتز و فلدسپار استخراج شده از رسوبات برداشت شده از این منطقه به روش لومینسانس برانگیخته‌شده با نور (*OSL*) عرضه می‌شود. در ادامه، نتایج نرخ لغزش جدید حاصل از روش هیستوگرام و حداقل سن در این منطقه از گسل درونه، برای تکمیل اطلاعات نرخ لغزش‌های برآورد شده آمده است.



شکل ۱. موقعیت گسل درونه و منطقه مورد بررسی.



(الف)



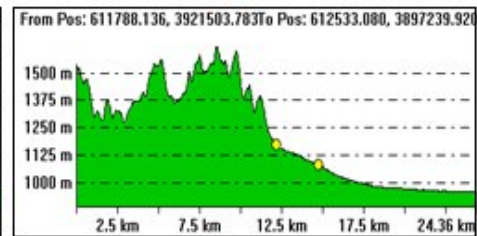
(ج)



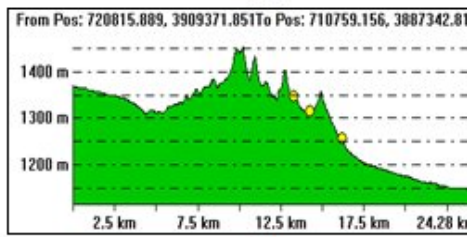
(ب)



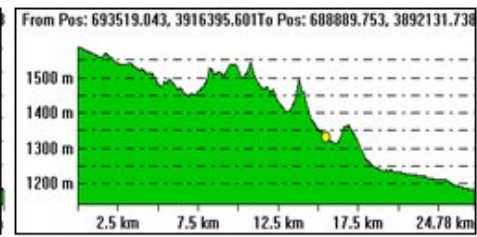
(ه)



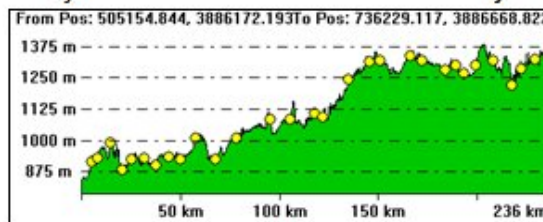
(د)



(ز)



(و)



(ح)

شکل ۲. (الف) تصویر توپوگرافی گسل درونه به همراه موقعیت شش نیم‌رخ تهیه شده در امتداد عمود بر این گسل (ب - ز) و یک نیم‌رخ در امتداد راستای گسل (ح)، (ب - ز) نیم‌رخ‌هایی از شش بخش گسل درونه که در تصویر (الف) مشخص شده اند. دواپر زرد رنگ در نیم‌رخ‌های رسم شده، بیانگر محل تقاطع نیم‌رخ توپوگرافی با خط اثرهای گسل است. در هر نمودار در سمت چپ توپوگرافی شمال گسل و در سمت راست توپوگرافی جنوب گسل قابل مشاهده است. همان‌طور که در هریک از نیم‌رخ‌ها، مشاهده می‌شود، در همه قسمت‌های این گسل، بخش شمالی نسبت به بخش جنوبی دارای ارتفاع بیشتری است، (ح) نیم‌رخ در امتداد خط اثر گسل درونه که در تصویر (الف) مشخص شده است و بیانگر کاهش ارتفاعات توپوگرافی از شرق به غرب است. با استناد به مجموعه نیم‌رخ‌های رسم شده، در گستره گسل درونه، ارتفاع نه‌تنها از جنوب به شمال بلکه از غرب به شرق نیز افزایش می‌یابد که این می‌تواند بیانگر اعمال تنش بیشتر بر بخش شرقی و شمالی نسبت به بخش غربی و جنوبی گسل درونه در طول دوران زمین‌شناسی باشد.

جدول ۱. زمین لرزه‌های بزرگ‌تر از ۴ ثبت شده در منطقه شش تراز در حفاصل طول جغرافیایی $58^{\circ}30' E - 58^{\circ}00'$ و عرض جغرافیایی حدود $35^{\circ}17' N$ (ISC: <http://www.isc.ac.uk/search/bulletin/index.html>; AMB: Ambraseys, N.N. Melville, C.P., 1982; <http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php?lang=fa>)

تاریخ رخداد	عرض جغرافیایی (°N)	طول جغرافیایی (°E)	عمق (km)	بزرگی	نوع بزرگی	فهرست‌نامه ثبت‌کننده
۱۹۰۳/۰۹/۲۵	۳۵/۱۸	۵۸/۲۳		۵/۹	M_s	AMB
۱۹۴۰/۰۵/۰۴	۳۵/۲۵	۵۸/۲۵	۳۵	۶/۵	M_s	ISC
۱۹۷۱/۰۵/۲۶	۳۵/۵۰	۵۸/۱۹	۲۴/۵	۵/۴	M_b	ISC
۲۰۰۰/۰۲/۰۲	۳۵/۲۴	۵۸/۲۳	۳۵/۲	۵/۲	M_s	ISC
۲۰۰۰/۰۳/۲۸	۳۵/۳۰	۵۸/۲۲	۸/۷	۴/۷	M_b	ISC
۲۰۱۱/۰۹/۰۵	۳۵/۲۴	۵۸	۱۸	۴/۱	M_N	IGTU

۳ وضعیت عمومی منطقه

۳-۱ زمین‌شناسی منطقه شش تراز

با استناد به آنکه گسل درونه در منطقه شش تراز، راستای پادگانه‌های رودخانه‌ای شش تراز را قطع کرده است، و باعث ایجاد جابه‌جایی در این پادگانه‌ها شده است؛ و با توجه به آنکه این گسل در نزدیکی شهرهای پرجمعیت ناحیه مانند تربت حیدریه، کاشمر، بردسکن و خلیل‌آباد قرار دارد، بررسی خطر لرزه‌خیزی این منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

رودخانه شش تراز، از رشته‌کوه‌های کوه‌سرخ سرچشمه می‌گیرد. موقعیت رودخانه شش تراز، تقریباً در بخش مرکزی گسل درونه، در حفاصل طول جغرافیایی $58^{\circ}11' E - 58^{\circ}08'$ و عرض جغرافیایی $35^{\circ}17' N$ است. این رودخانه با نهشته‌های بادزنی که در اطراف آن وجود دارد، یکی از سامانه‌های زهکشی منطقه است؛ و به طور واضح در طول زمان به طرف جنوب تا حوضه کویر نمک ادامه می‌یابد. روند گسل درونه در منطقه شش تراز به صورت شرقی-غربی است و حرکت راست‌الغز چپ‌بر گسل در این منطقه در تصاویر ماهواره‌ای قابل مشاهده است (شکل ۱).

۳-۲ لرزه‌خیزی منطقه شش تراز

با وجود آنکه منطقه تحت تأثیر فشار ناشی از صفحات عربستان-اوراسیا قرار دارد، در گستره گسل درونه پس از ۱۶۱۹ که زمین‌لرزه‌ای با بزرگای ۷ در منطقه دوغ‌آباد رخ داد (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲)؛ از آن زمان تاکنون زمین-لرزه‌ای با این بزرگای، در امتداد این گسل ثبت نشده است (امینی، ۱۳۸۷). در کل قطعه گسلی شش تراز نیز، تنها چهار زمین‌لرزه با بزرگای بیشتر از ۵ ثبت شده است که بزرگ‌ترین این زمین‌لرزه‌ها دارای بزرگای ۶/۵ است که در ۱۹۴۰ (به گزارش ISC) رخ داده و حوالی کاشمر را لرزاند است. رخداد این زمین‌لرزه، احتمالاً ناشی از فعالیت گسل درونه در منطقه بوده است (شکل ۳ و جدول ۱) (این قطعه گسلی در محدوده $58^{\circ}30' E - 58^{\circ}00'$ در نظر گرفته شده است و طول قطعه گسیخته شده شش تراز با توجه به رابطه پیشنهاد شده شولز (۱۹۸۲)، حدود ۱۰۰ کیلومتر است).

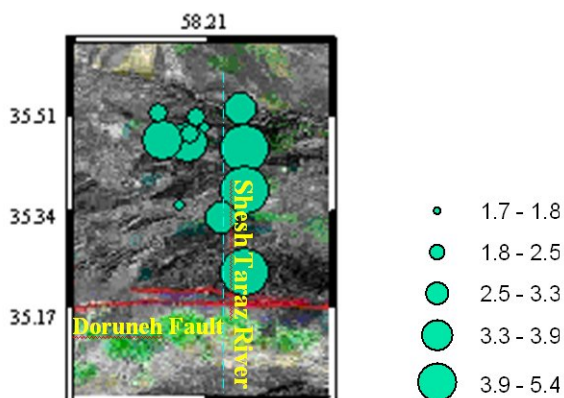
۳-۳ میزان جابه‌جایی در منطقه شش تراز

طی بررسی‌های دورسنجی (با استفاده از تصاویر ماهواره-ای و عکس‌های هوایی) که در راستای گسل درونه صورت گرفت، منطقه شش تراز در حکم محل مناسب

۴ تعیین سن نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه شش تراز

۴-۱ برداشت نمونه‌ها از منطقه شش تراز

در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از بهترین روش‌ها در تعیین سن مستقیم نمونه‌های رسوبی مرتبط با شواهد زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌لرزه، روش *OSL* است. به منظور سن‌یابی، نمونه‌ها از رسوبات آبرفتی پادگانه‌های منطقه شش تراز برداشت شد (شکل ۴-ج)؛ زیرا این رسوبات (با توجه به آنکه در بستر رودخانه قرار داشته‌اند) احتمالاً قبل از رخداد زمین‌لرزه، طی انتقال در معرض نور قرار گرفته و صفرشدگی مؤلفه نوری، در آنها رخ داده است، بنابراین می‌توان از آنها در حکم ساعت لومینسانس برای نهشته‌ها استفاده کرد. برای آنکه نمونه‌برداری در تاریکی کامل صورت گیرد و از قرارگیری تصادفی نمونه‌ها در معرض نور، جلوگیری شود؛ نمونه‌برداری در زیر پوششی از کرباس و پلاستیک صورت گرفت. تا حد امکان سطح تازه لایه رسوبات، تراشیده و سپس نمونه برداری انجام شد، تا از نورنخورده بودن نمونه‌ها، اطمینان بیشتری حاصل شود. رسوبات به گونه‌ای که در معرض نور قرار نگیرند (در داخل پلاستیک‌های سیاه ضد نور)، جمع‌آوری و به آزمایشگاه لومینسانس در آکسفورد انتقال داده شدند.



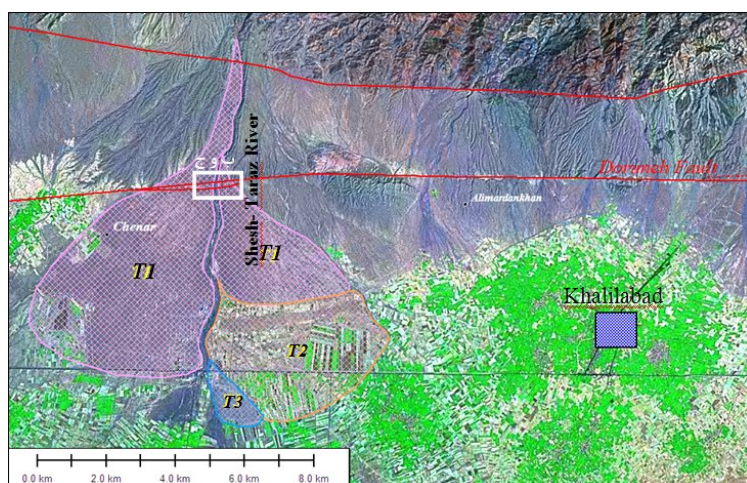
شکل ۳. موقعیت زمین لرزه‌های دستگاهی ثبت شده در گستره گسل

درونه در منطقه شش تراز.

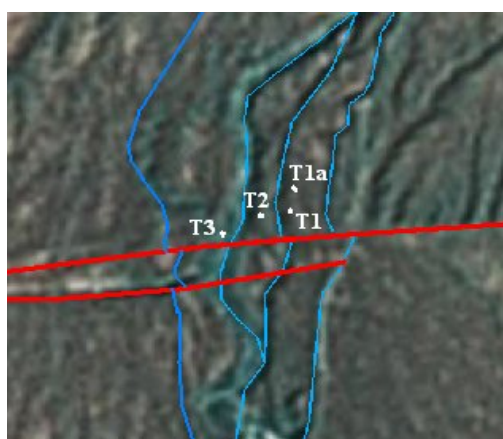
نمونه‌برداری انتخاب شد. ارتفاع هریک از این محل‌های نمونه‌برداری شده، در شکل (۴-د) در تصویر *DEM* نشان داده شده است. در منطقه مورد بررسی، چهار تراز اصلی در امتداد این رودخانه، شامل سطح بالایی بادزن آبرفتی قطع شده (T_1)، دو پادگانه فرسایشی (T_2, T_3) و کانال رودخانه‌ای فعال، قابل مشاهده هستند (شکل ۴). برای تعیین سن به روش *OSL* چهار نمونه از پادگانه‌های این رودخانه برداشت شد که موقعیت این نمونه‌ها در شکل (۴-ب) نشان داده شده است.

در اندازه‌گیری جابه‌جایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، با توجه به مقیاس تصویر، اطلاعات مفیدی از منطقه در اختیار کاربر قرار می‌گیرد و هرچه مقیاس دقیق‌تر باشد، جزئیات بیشتری از منطقه در نظر گرفته می‌شود. در این بررسی، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای *Landsat* (لندست: با قدرت تفکیک 15m) و *QuickBird* (کوئیک برد: با قدرت تفکیک 60 cm) که دقیق‌ترین تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این بررسی است) امینی (۱۳۸۷)، به ترتیب کمینه و بیشینه جابه‌جایی ۴۹/۵ و ۹۶/۶ متر در تصاویر ماهواره‌ای و ۴۰ متر در تصویر کوئیک برد در این منطقه اندازه‌گیری کرد (جدول ۲، شکل ۵).

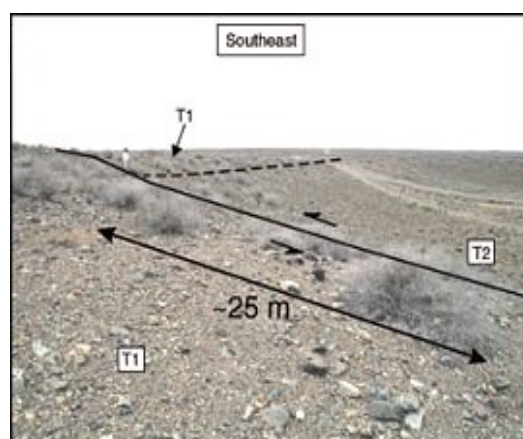
با توجه به آنکه در این بررسی امکان اجرای عملیات صحرائی فراهم نبود و قطعاً اندازه‌گیری مستقیم جابه‌جایی‌ها در منطقه، نسبت به سایر اندازه‌گیری‌ها از دقت بیشتری برخوردار است، جابه‌جایی‌های اندازه‌گیری شده طی عملیات صحرائی با مشاهده مستقیم فتاحی و همکاران (۲۰۰۶)، در این بررسی نیز، مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴-ب).



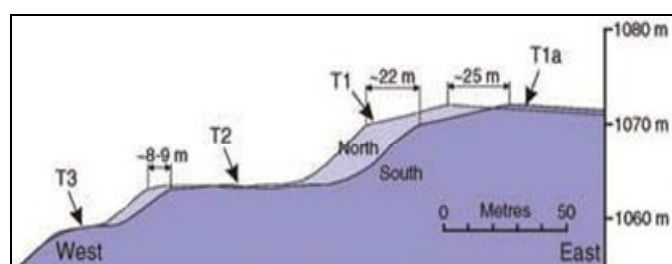
(الف)



(ج)

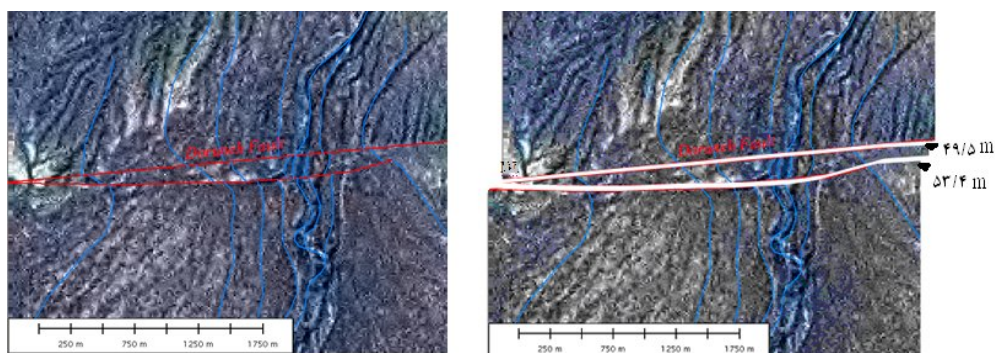


(ب)

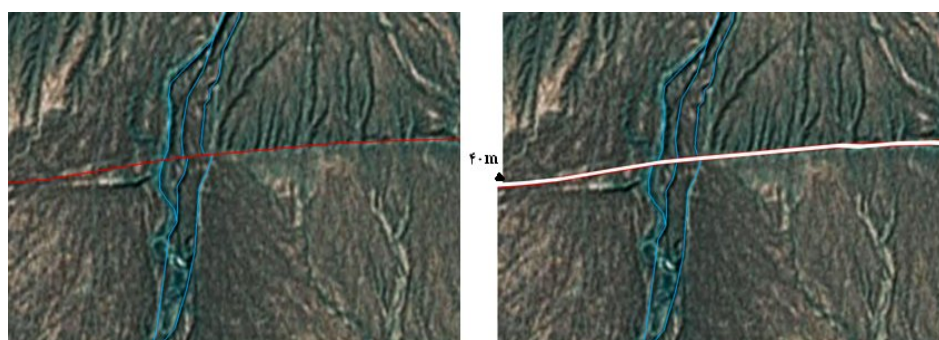


(د)

شکل ۴. (الف) موقعیت روخانه شش تراز و پادگانه های $T1$ ، $T2$ ، $T3$ که در اطراف آن قرار دارند، (ب) ۲۵ متر جابه جایی چپ بر مشاهده شده در امتداد رودخانه شش تراز فتاحی و همکاران، در جنوب شرقی پادگانه های رودخانه در شمال گسل درونه (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶)، (ج) موقعیت نمونه های برداشت شده از پادگانه های شش تراز در تصویر کوچک برد منطقه با کیفیت 60 cm که جابه جایی چپ برد منطقه در آن، به طور واضح قابل مشاهده است و (د) تصویر DEM از رودخانه شش تراز در امتداد بخش شرقی - غربی در شمال و جنوب گسل درونه (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶) ($58^{\circ}00' - 58^{\circ}19' E$).



(الف)



(ب)

شکل ۵. جابه‌جایی چپ‌بر گسل درونه در محل رودخانه شش‌تراز ($E 58^{\circ}10' - 58^{\circ}08'$)؛ (الف) در تصویر لندست. سمت چپ- منطقه بدون اعمال جابه‌جایی، سمت راست- همان منطقه شکل سمت چپ با اعمال جابه‌جایی ۴۹/۵ متر در شاخه شمالی و ۵۳/۴ متر در شاخه جنوبی و (ب) در تصویر کویک‌برد: سمت چپ- منطقه بدون اعمال جابه‌جایی، سمت راست- همان منطقه شکل (سمت چپ) با اعمال جابه‌جایی ۴۰ متر (مقدار جابه‌جایی در برنامه *Global Mapper* اندازه‌گیری و با حرکت دادن دو سمت گسل نسبت به یکدیگر به طور طرح‌وار رسم شده است).

جدول ۲. مقادیر جابه‌جایی چپ‌بر، در حدفاصل طول‌های جغرافیایی $E 58^{\circ}10' - 58^{\circ}08'$ در مسیر رودخانه شش‌تراز.

کمینه جابه‌جایی اندازه‌گیری شده (متر)	جابه‌جایی (متر)*		
	شاخه جنوبی گسل	شاخه شمالی گسل	
در شاخه شمالی: ۴۹/۵ در شاخه جنوبی: ۵۳/۴	۵۳/۴	۶۱/۴	تصویر لندست (این پژوهش)
	۷۹/۲	۴۹/۵	
	۸۵/۲	۵۸/۵	
	۸۱/۵	۹۶/۶	
	۴۴/۸	۹۰	
	۶۴/۴	۵۳/۶	
	۷۸/۴	۵۱/۷	
۴۰	تصویر کویک برد (این پژوهش)		
۲۵	فتاحی و همکاران (۲۰۰۶)		

* جابه‌جایی‌های عرضه شده برای شاخه شمالی و جنوبی گسل، در این دو ستون، از بالا به پایین، مطابق با جابه‌جایی‌های اندازه‌گیری شده از غرب به شرق در گستره گسل درونه، در حدفاصل طول‌های جغرافیایی $E 58^{\circ}10' - 58^{\circ}08'$ است.

۲-۴ عملیات آزمایشگاهی

در آزمایشگاه، زیر نور سرخ، از هر دو سمت باز لوله-ها، 5cm از رسوبات برداشته شد و از آنها در اندازه گیری رطوبت و دژ سالانه استفاده شد. از سایر رسوبات داخل لوله که اطمینان از نور نخوردن آنها وجود دارد، برای تعیین دژ معادل دژ طبیعی (*De*) استفاده شد. رسوبات با اندازه‌های متفاوت از یکدیگر جدا و در چند گروه (با اندازه‌های 90-180, 180-250, 90-150 μm) دسته‌بندی شدند. در ادامه، طی یک رشته عملیات گوناگون شامل اسیدشویی و استفاده از دیگر خصوصیات مواد (چگالی، واکنش‌های شیمیایی و ویژگی‌های مغناطیسی)، ذرات کوارتز و فلدسپار خالص سازی شد. ذرات کوارتز و فلدسپار جداگانه به صورت تک‌لایه روی دیسک‌هایی به قطر 10 میلی‌متر با استفاده از اسپری سیلیکانی که همانند چسب عمل می‌کند نصب شدند. به مجموعه یک دیسک و دانه‌هایی که روی آن قرار می‌گیرد، الیکوت (*Aliquot*) گفته می‌شود. برای هر نمونه 12 الیکوت کوارتز و 12 الیکوت فلدسپار ساخته شد.

۳-۴ تعیین سن نمونه‌ها

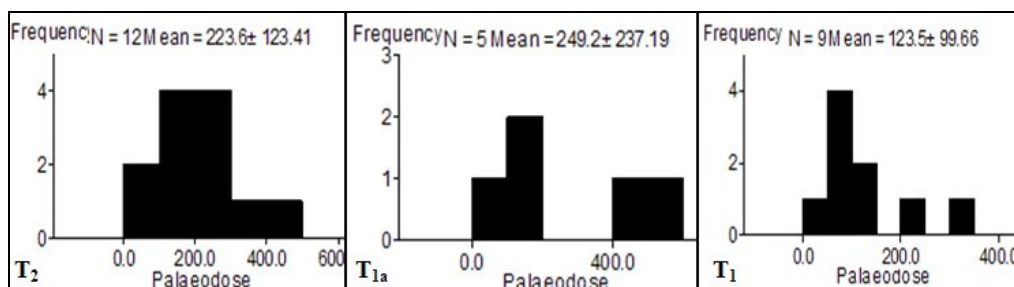
برای تعیین سن نمونه‌ها، به تعیین *De* آنها نیاز است. برای تعیین *De*، از پروتکل تولید مجدد الیکوت منفرد (*Single*)

(*Aliquot Regeneration: SAR*) که ماری و وینتل (۲۰۰۰) معرفی کرده‌اند، استفاده شد (امینی و فتاحی، ۱۳۸۷). با اعمال روش SAR الیکوت‌ها اندازه‌گیری و داده‌ها ذخیره شدند. با توجه به آنکه، روش SAR یکی از روش‌های قابل اجرا در برنامه *Analyst* است؛ داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از ذرات کوارتز و فلدسپار هریک از نمونه‌های منطقه شش تراز، وارد برنامه *Analyst* شد. در برنامه *Analyst*، با استفاده از روش هیستوگرام و حداقل سن، برای ذرات کوارتز و فلدسپار، مقدار *De* متوسط محاسبه شد.

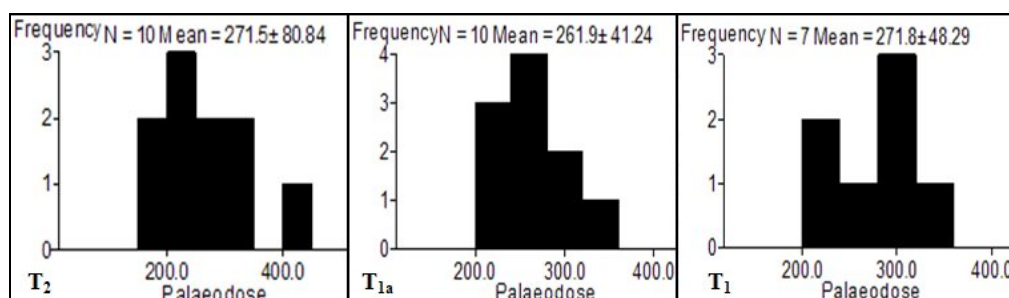
در برنامه *Analyst*، برای ذرات کوارتز، هریک از نمونه‌های T_1 ، T_2 ، T_{1a} به ترتیب تعداد ۹، ۱۲، ۵ الیکوت و همچنین برای ذرات فلدسپار هریک از این نمونه‌ها به ترتیب تعداد ۷، ۱۰، ۱۰ الیکوت شرایط پروتکل تولید مجدد الیکوت منفرد برآورد شد. نمودارهای هیستوگرام رسم شده برای ذرات کوارتز و فلدسپار به ترتیب در شکل‌های ۶ و ۷ و مقادیر دژ معادل دژ طبیعی و دژ سالانه این نمونه‌ها در جدول‌های ۳ تا ۶ آورده شده است. سن ذرات کوارتز و فلدسپار نمونه‌ها، با تقسیم دژ معادل دژ-طبیعی به دژ سالانه، برآورد شد (جدول ۳ تا ۶).

جدول ۳. مقادیر دژ معادل دژ طبیعی (*De*) و دژ سالانه کوارتز هر نمونه و سن به‌دست آمده برای هریک با توجه به سن لومینسانس به روش حداقل سن به همراه جابه‌جایی اندازه‌گیری شده طی عملیات صحرائی و نرخ لغزش نهایی به‌دست آمده از مجموع این اطلاعات.

نام نمونه‌ها	دژ معادل دژ طبیعی (Gy)	دز سالانه (Gy/ka)	سن (ka)	جابه‌جایی (m)	نرخ لغزش (mmyr^{-1})
T_1	8.02 ± 1.63	2.30 ± 0.17	3.49 ± 0.75	22 ± 1	6.30 ± 1.39
T_{1a}	13.96 ± 1.19	1.82 ± 0.17	7.67 ± 0.95	25 ± 1	3.26 ± 0.43
T_2	10.24 ± 2.9	2.24 ± 0.17	4.57 ± 1.34	8 ± 1	1.75 ± 0.56



شکل ۶. توزیع دُز معادل دُز طبیعی، به روش هیستوگرام، برای ذرات کوارتز نمونه‌های OSL گسل درونه.



شکل ۷. توزیع دُز معادل دُز طبیعی به روش هیستوگرام، برای ذرات فلدسپار نمونه‌های OSL گسل درونه.

نمونه‌های برداشت شده از منطقه شش تراز با استفاده از OSL و با به کارگیری برنامه Analyst بر مبنای روش SAR، ابتدا به روش هیستوگرام، مورد بررسی قرار گرفت. برای هر یک از الیکوت‌های هر نمونه مقدار De به دست آمد. با تقسیم De بر دُز سالانه، مقدار سن دفن (زمان آخرین نورخوردگی) این نمونه‌ها تعیین شد (جدول‌های ۴ و ۶ و شکل‌های ۶ و ۷).

مطابق نتایج به دست آمده، میانگین نرخ‌لغزش محاسبه شده، با استفاده از روش هیستوگرام، برای ذرات کوارتز نمونه‌های T_1 ، T_{1a} و T_2 به ترتیب $۴/۶۱ \pm ۵/۶۷$ و $۲/۱۸ \pm ۲/۲۸$ و $۰/۵۷ \pm ۱$ میلی‌متر بر سال (جدول ۴) و برای ذرات فلدسپار این نمونه‌ها به ترتیب $۰/۴۸ \pm ۲/۸۹$ و $۰/۵۲ \pm ۲/۶۶$ و $۰/۳۲ \pm ۰/۹۹$ میلی‌متر بر سال (جدول ۶) است. هرگاه نمونه‌های مورد بررسی دارای سیگنال‌های با صفرشدگی ناقص باشند، سن به دست آمده به روش OSL با سن واقعی رخداد زمین‌لرزه کمی متفاوت خواهد بود؛

۵ تعیین نرخ‌لغزش گسل درونه در قطعه شش تراز با استفاده از سن رسوبات حاصل از روش هیستوگرام و حداقل سن، و جابه‌جایی اندازه‌گیری شده طی عملیات صحرائی، میزان نرخ‌لغزش گسل درونه در قطعه شش تراز برآورد شد. نتایج حاصل از این بررسی در جدول‌های ۳ تا ۶ عرضه شده است.

۶ بحث

اساسی‌ترین فرض در سن‌یابی به روش OSL، صفرشدگی سیگنال لومینسانس در آخرین رویداد است (با هدف تعیین سن آن رویداد). اما در برخی موارد همه ذرات نمونه به حد کافی در معرض نور قرار نمی‌گیرند و لذا الیکوت‌های متفاوت De ‌های متفاوت تولید می‌کنند به نحوی که مجموعه De ‌های حاصل، پراکندگی زیادی نشان می‌دهند.

شده‌اند، دارای تغییرات سریع و واضح تری نسبت به سیگنال‌های نوری ساطع شده از ذرات کوارتز هستند. در مورد منحنی‌های استاندارد مورد استفاده در برنامه Analyst، از مجموع منحنی‌های عرضه شده برای هر نمونه، منحنی دارای کمترین خطا، با بهترین انطباق منحنی با نقاط مورد تحقیق، بهترین De است. همان‌طور که شکل ۹ نیز نشان می‌دهد، در این منحنی‌ها نیز، ذرات فلدسپار دارای انطباق منحنی خوب و خطای کمتری نسبت به ذرات کوارتز هستند.

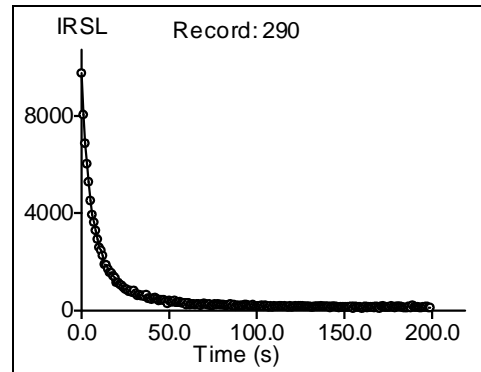
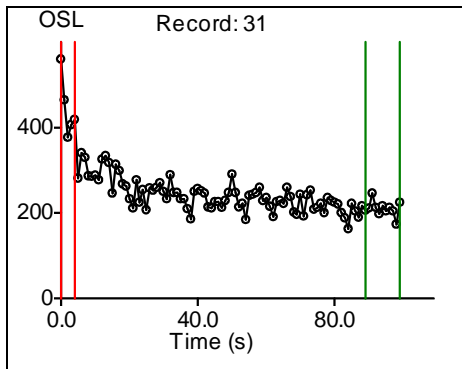
بنابراین، با در نظر گرفتن نتایج قبلی، نرخ لغزش به دست آمده در منطقه شش تراز [با استفاده از GPS، $2/5 \text{ mm.yr}^{-1}$ (توکلی، ۲۰۰۷)]، با استفاده از سن واحدهای زمین‌شناسی و اندازه‌گیری جابه‌جایی این واحدها طی عملیات صحرائی، $2/2 \text{ mm.yr}^{-1}$ (جوادی، ۱۳۸۵) و با استفاده از سن OSL به روش وزنی، 1 mm.yr^{-1} (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶)] و با توجه به سیگنال‌ها و منحنی‌هایی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان بیان کرد که در این منطقه، ذرات فلدسپار نتایج قابل قبول تری نسبت به ذرات کوارتز در تعیین نرخ لغزش به روش هیستوگرام نشان می‌دهند. با توجه به آنکه محدوده نرخ لغزش‌های به‌دست آمده در تحقیق حاضر، وسیع‌تر از محدوده به‌دست آمده در تحقیقات قبلی است، پیشنهاد می‌شود که بررسی‌های بیشتری روی منطقه صورت گیرد.

با این حال، سن تقریبی در مقیاس سن زمین‌شناسی قابل قبول خواهد بود. در صورت صفرشدگی ناقص رسوبات، روش حداقل سن، از روش‌های مفید برای به دست آوردن سن واقعی‌تر برای رسوبات است. با توجه به اینکه نمونه‌ها آبرفتی هستند و ذرات آنها با آب جابه‌جا شده‌اند، احتمال صفرشدگی ناقص آنها زیاد است؛ لذا این بار، با در نظر گرفتن روش حداقل سن قابل قبول برای البکوت‌های هر نمونه در منطقه شش تراز، سنی که به سن واقعی هر نمونه نزدیک‌تر است، برآورد شد. مقادیر حداقل De به دست آمده برای ذرات کوارتز و فلدسپار هر نمونه محاسبه و در جدول‌های ۳ و ۵ آورده شده است. با تقسیم De بر دُز سالانه، مقدار سن دفن (زمان آخرین نورخوردگی) این نمونه‌ها تعیین شد.

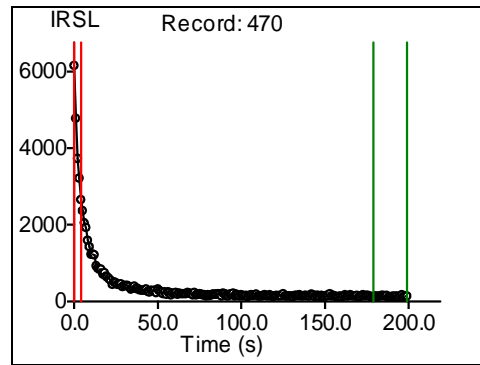
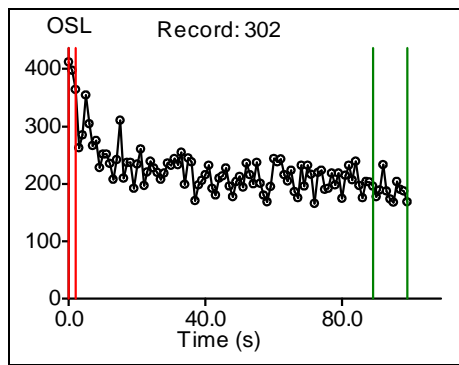
مطابق نتایج به‌دست آمده، میانگین نرخ لغزش محاسبه شده، با استفاده از روش حداقل سن، برای ذرات کوارتز نمونه‌های T_1 ، T_{1a} و T_2 به ترتیب $1/39 \pm 6/30$ و $0/43 \pm 3/26$ و $0/56 \pm 1/75$ میلی‌متر بر سال (جدول ۳) و برای ذرات فلدسپار این نمونه‌ها به ترتیب $0/31 \pm 3/53$ و $1/03 \pm 3/38$ و $0/22 \pm 1/61$ میلی‌متر بر سال (جدول ۵) است. در تعیین سن به روش OSL، در مورد سیگنال‌های نوری، بزرگا و کاهش سریع سیگنال نوری ذرات، در ابتدای منحنی، نتیجه بهتر و دقیق‌تری به‌دست می‌دهد. چنانچه شکل ۸ نشان می‌دهد، سیگنال‌های نوری ساطع شده از ذرات فلدسپار که در سمت راست نشان داده

جدول ۴. مقادیر دُز معادل دُز طبیعی (De) و دُز سالانه کوارتز هر نمونه و سن به‌دست آمده برای هر یک با توجه به سن لومینسانس به روش هیستوگرام به همراه جابه‌جایی اندازه‌گیری شده طی عملیات صحرائی و نرخ لغزش نهایی به‌دست آمده از مجموع این اطلاعات.

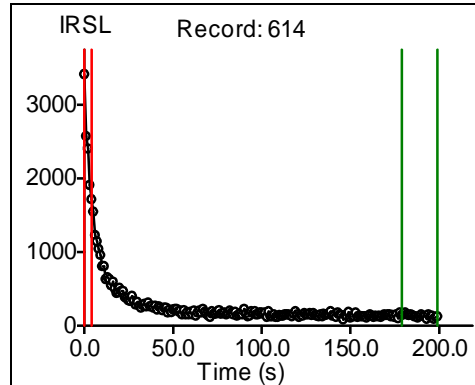
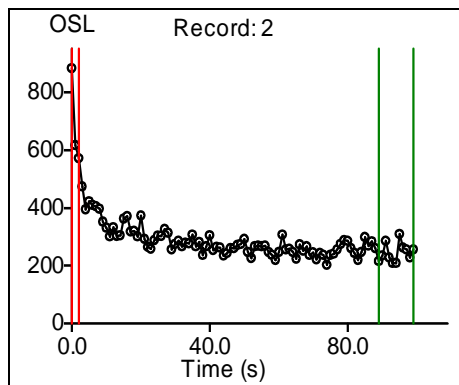
نرخ لغزش (mm.yr^{-1})	جابه‌جایی (m)	سن (ka)	دز سالانه (Gy/ka)	دُز معادل دُز طبیعی (Gy)	نام نمونه‌ها
$5/67 \pm 4/61$	22 ± 1	$3/88 \pm 3/15$	$2/30 \pm 0/17$	$8/91 \pm 7/20$	T_1
$2/28 \pm 2/18$	25 ± 1	$10/99 \pm 10/5$	$1/82 \pm 0/16$	$19/99 \pm 19/02$	T_{1a}
$1 \pm 0/57$	8 ± 1	$7/99 \pm 4/45$	$2/24 \pm 0/17$	$17/93 \pm 9/9$	T_2



(الف)



(ب)

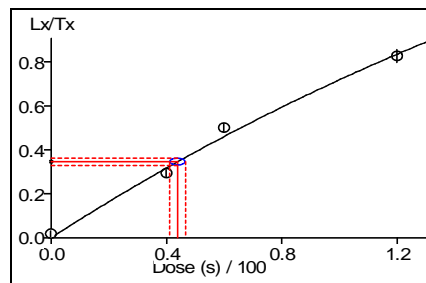
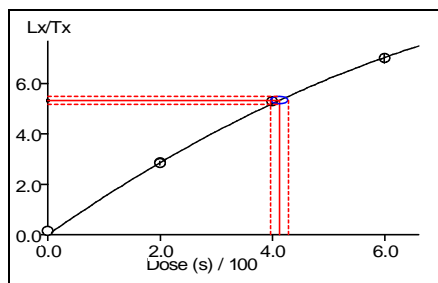


(ج)

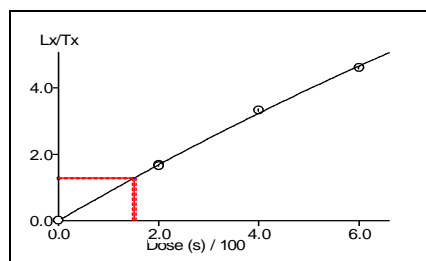
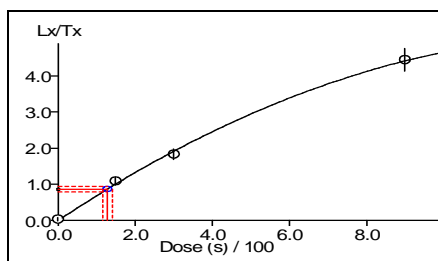
شکل ۸. سیگنال‌های نوری گسیل شده از ذرات کوآرتز و فلدسپار. منحنی‌های مربوط به ذرات کوآرتز در سمت چپ و منحنی‌های مربوط به ذرات فلدسپار در سمت راست نشان داده شده است؛ (الف) مربوط به نمونه T_{1a} ، (ب) مربوط به نمونه T_1 و (ج) مربوط به نمونه T_2 . در هر نمودار محور افقی زمان سپری شده برحسب ثانیه و محور عمودی میزان تابش‌های هر نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقادیر دژ معادل دژ طبیعی (De) و دژ سالانه فلدسپار هر نمونه و سن به دست آمده برای هر یک با توجه به سن لومینسانس به روش حداقل سن به همراه جابه جایی اندازه گیری شده طی عملیات صحرائی و نرخ لغزش نهایی به دست آمده از مجموع این اطلاعات.

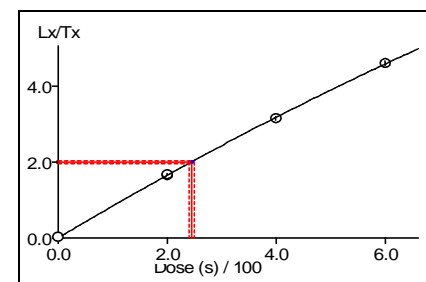
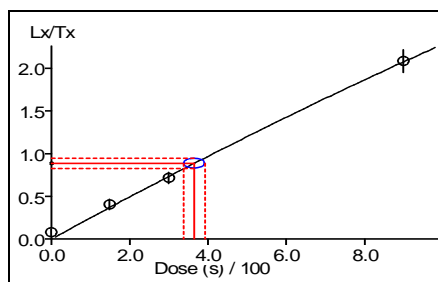
نام نمونه‌ها	دژ معادل دژ طبیعی (Gy)	دژ سالانه (Gy/ka)	سن (ka)	جابه جایی (m)	نرخ لغزش (mm/yr^{-1})
T_1	$17/2 \pm 1/18$	$2/76 \pm 0/09$	$6/23 \pm 0/48$	22 ± 1	$3/53 \pm 0/31$
T_{1a}	$17/09 \pm 5/01$	$2/31 \pm 0/16$	$7/40 \pm 2/23$	25 ± 1	$3/38 \pm 1/03$
T_2	$13/34 \pm 0/26$	$2/69 \pm 0/13$	$4/96 \pm 0/25$	8 ± 1	$1/61 \pm 0/22$



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۹. منحنی رشد با دژ (استاندارد) نمونه‌های برداشت شده از منطقه شش تراز در گسل درونه، منحنی‌های مربوط به ذرات کوآرتز در سمت چپ و منحنی‌های مربوط به ذرات فلدسپار در سمت راست نشان داده شده است. در هر نمودار، خط چین‌ها بیانگر میزان خطای موجود است؛ (الف) مربوط به نمونه T_{1a} ، (ب) مربوط به نمونه T_1 و (ج) مربوط به نمونه T_2 . چنانچه مشاهده می‌شود منحنی‌های به دست آمده برای ذرات فلدسپار دارای انطباق بهتری با نقاط مورد بررسی و کمترین خطا هستند. در هر نمودار محور افقی میزان دژ تابش شده به نمونه برحسب ثانیه و محور عمودی میزان نسبی سیگنال‌های تصحیح شده پس از دریافت دژ به توسط نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۶. مقادیر دزمعادل دژ طبیعی (De) و دژ سالانه فلدسپار هر نمونه و سن به دست آمده برای هریک با توجه به سن لومینسانس به روش هیستوگرام به همراه جابه جایی اندازه گیری شده طی عملیات صحرائی و نرخ لغزش نهایی به دست آمده از مجموع این اطلاعات.

نام نمونه ها	دژ معادل دژ طبیعی (Gy)	دژ سالانه (Gy/ka)	سن (ka)	جابه جایی (m)	نرخ لغزش ($mmyr^{-1}$)
T_1	$21 \pm 3/31$	$2/76 \pm 0/09$	$7/61 \pm 1/22$	22 ± 1	$2/89 \pm 0/48$
T_{1a}	$21/72 \pm 3/86$	$2/31 \pm 0/16$	$9/40 \pm 1/79$	25 ± 1	$2/66 \pm 0/52$
T_2	$21/69 \pm 6/46$	$2/69 \pm 0/13$	$8/07 \pm 2/43$	8 ± 1	$0/99 \pm 0/32$

۷ نتیجه گیری

(جدول ۴) و مقدار سن دفن این نمونه ها، برای ذرات فلدسپار به روش هیستوگرام به ترتیب $1/43 \pm 7/9$ و $1/56 \pm 7/06$ و $2/43 \pm 8/07$ هزار سال (جدول ۶) است.

نتایج نهایی مقدار نرخ لغزش نمونه های T_1 ، T_{1a} و T_2 ، برای ذرات کوارتز به روش حداقل سن به ترتیب $1/39 \pm 6/30$ و $0/43 \pm 3/26$ و $0/56 \pm 1/75$ میلی متر بر سال (جدول ۳) و به روش هیستوگرام، به ترتیب $4/61 \pm 5/67$ و $2/18 \pm 2/28$ و $0/57 \pm 1$ میلی متر بر سال (جدول ۴) برآورد شد و برای ذرات فلدسپار این نمونه ها، به روش حداقل سن به ترتیب $0/31 \pm 3/53$ و $1/03 \pm 3/38$ و $0/22 \pm 1/61$ میلی متر بر سال (جدول ۵) و به روش هیستوگرام، به ترتیب $0/48 \pm 2/89$ و $0/52 \pm 2/66$ و $0/32 \pm 0/99$ میلی متر بر سال (جدول ۶) برآورد شد.

با توجه به نتایج به دست آمده، نرخ لغزش قابل قبول حاصل از ذرات فلدسپار در منطقه، با در نظر گرفتن صفر شدگی ناقص برای نمونه های T_1 ، T_{1a} و T_2 منطقه، به ترتیب $0/31 \pm 3/53$ و $1/03 \pm 3/38$ و $0/22 \pm 1/61$ میلی متر بر سال پیشنهاد می شود.

با توجه به زمان آخرین زمین لرزه بزرگ رخ داده در امتداد گسل درونه (در ۱۶۱۹، با بزرگای ۷، در منطقه دوغ آباد (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲)) به منظور برآورد زمان احتمالی رخداد زمین لرزه آینده، باید بررسی های بیشتر و

با استناد به حضور جابه جایی هایی به سن کواترنری و نسبتاً جدید در گستره گسل درونه، این گسل فعال است. در راستای این گسل، احتمالاً تحت تأثیر ازدیاد تنش و کوتاه شدن در بخش شرقی نسبت به بخش غربی، در طول دوران زمین شناسی، افزایش ارتفاعی از غرب به شرق این گسل قابل مشاهده است. با توجه به آنکه تعیین نرخ لغزش، از روش های بررسی تحلیل خطر زمین لرزه در یک منطقه است. در این تحقیق، نرخ لغزش منطقه شش تراز، با توجه به مشاهده جابه جایی ها در این منطقه و نزدیکی آن به چندین منطقه پر جمعیت در راستای گسل درونه برآورد شد. روش مورد استفاده برای تعیین نرخ لغزش در این تحقیق، استفاده از OSL و به کارگیری برنامه $Analyst$ ، بر مبنای روش SAR به روش هیستوگرام و حداقل سن است. نتایج نهایی مقدار سن دفن نمونه های T_1 ، T_{1a} و T_2 ، برای ذرات کوارتز به روش حداقل سن به ترتیب $0/56 \pm 4/46$ و $0/95 \pm 7/67$ و $1/34 \pm 4/57$ هزار سال (جدول ۳) و برای ذرات فلدسپار این نمونه ها به ترتیب $0/48 \pm 6/23$ و $2/23 \pm 7/40$ و $0/25 \pm 4/96$ هزار سال (جدول ۵) را نشان می دهد. مقدار سن دفن نمونه های T_1 ، T_{1a} و T_2 ، برای ذرات کوارتز به روش هیستوگرام به ترتیب $3/5 \pm 4/31$ و $10/5 \pm 10/99$ و $4/45 \pm 7/99$ هزار سال

کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، پژوهشکده سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، ۲۱۰.
زارع، م.، ۱۳۷۹، تحلیل لرزه‌زمین‌ساختی سیستم گسله درونه و بررسی زلزله‌های زمستان ۱۳۷۸-بهار ۱۳۷۹ کاشمر، پژوهش‌نامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ۴۰-۳۲

نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، وزارت صنایع و معادن کشور.

Fattahi, M., Walker, R. T., Khatib, M. M., Dolati, A., and Bahroudi, A., 2006, Slip-rate estimate and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran: *Geophys. J. Int.*, **168**, 691-709

Mohajer-Ashjai, A., Behzadi, H., and Berberian, M., 1975, Reflections on the rigidity of the Lut Block and recent crustal deformation in eastern Iran: *Tectonophysics*, **25**, 281-301

Murray, A. S., and Wintle, A. G., 2000, Luminescence dating of quartz using an improved single aliquot regenerative-dose protocol: *Radiation Measurements*, **32**, 57-73.

Scholz, C., 1982, scaling laws for large earthquakes: consequences for physical models: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **72**, 1-14.

Tavakoli, F., 2007, Present-day deformation and kinematics of the active faults observed by GPS in the Zagros and east of Iran: Ph. D. Thesis, 313P.

Tchalenko, J. S., Berberian, M., and Behzadi, H., 1973, Geomorphic and seismic evidence for recent activity on the Doruneh fault Iran: *Tectonophysics*, **19**, 333-341.

Walker, R., and Jackson, J., 2004, Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran: *Tectonics*, **23**, TC5010, doi: 10.1029/2003TC001529.

Wellnam, H. W., 1966, Active wrench faults of Iran: Afghanistan and Pakistan: *Geologische Rundschau*, **55**, 716-735.

<http://irsc.ut.ac.ir/bulletin.php?lang=En>

<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>

<http://www.isc.ac.uk/search/bulletin/index.html>

دقیق‌تری در گستره این گسل صورت گیرد. لذا پیشنهاد می‌شود که با توجه به طولانی بودن گسل درونه، مناطق شناسایی شده جدید (امینی، ۱۳۸۷)، مورد بررسی صحرائی قرار گیرد و با ترانسه‌زنی و نمونه‌برداری از رسوبات منطقه، سن دقیق آخرین زمین‌لرزه‌های رخ داده تعیین شود. آن‌گاه می‌توان زمان رخداد زمین‌لرزه‌های بعدی در امتداد این گسل را برآورد کرد.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر توکلی که رساله دکتری خود را به همراه اطلاعات نرخ لغزش نهایی برآورد شده در منطقه، در اختیار نویسندگان مقاله قرار دادند و همچنین داوران محترم که با دقت نظر و پیشنهادات سازنده خود موجب ارتقای مقاله شدند، تشکر می‌کنیم.

منابع

آمبرس‌سیز، ن. ن.، و ملویل، ج. پ.، ترجمه: رده، ا. ح.، ۱۹۸۲، تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران: انتشارات آگاه.

امینی، ح.، ۱۳۸۷، تحلیل خطر زلزله ناشی از گسل درونه به کمک سن‌یابی به روش لومینسانس و دورسنجی: پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ۲۱۲.

امینی، ح.، و فتاحی، م.، ۱۳۸۷، استفاده از لومینسانس تحریک‌شده با نور جهت تعیین نرخ لغزش بخشی از گسل باتارهیاریهان در مغولستان (آسیای مرکزی): مجله فیزیک زمین و فضا (پذیرفته شده).

جوادی، ح. ر.، ۱۳۸۵، زمین‌ساخت جنوب، لرزه‌زمین‌ساخت و تحلیل ساختاری سامانه گسل درونه: پایان‌نامه