

بررسی فعالیت گسل شمال نیشابور

مرتضی فتاحی^{۱*}، سمیه رستمی مهربان^۲، مرتضی طالبیان^۳، عباس بحرودی^۴، جیمز هالینگورت^۵ و ریچارد والکر^۶

^۱ استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۳ استادیار، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران

^۴ استادیار، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران

^۵ محقق، دپارتمان علوم زمین، کیمبریج، انگلیس

^۶ استادیار، دپارتمان علوم زمین، دانشگاه آکسفورد، انگلیس

(دریافت: ۸۹/۱۱/۴، پذیرش نهایی: ۹۰/۷/۱۹)

چکیده

فلات ایران به لحاظ زمین‌ساختی یکی از فعال‌ترین مناطق جهان است و لذا همواره در آن شاهد زلزله‌های با شدت کم و زیاد هستیم. بنابراین ضروری است که خطر زلزله در هنگام احداث ساختمان‌ها و تأسیسات برآورد شود. اولین گام اساسی در تحلیل خطر زلزله، شناسایی وبه نقشه در آوردن گسل‌های فعال و سپس محاسبه میزان فعالیت آنها در یک ناحیه مشخص است. در این جهت ضروری است میزان متوسط سرعت لغزش (Slip-rate) هر گسل، دوره بازگشت زلزله‌ها و زمان آخرین زلزله هر گسل مشخص و بزرگی آن برآورد شود. نیشابوریکی از مهم‌ترین شهرها در شمال شرق ایران است. این شهر حداقل چهار بار با زلزله‌های تاریخی تخریب و بعضاً نابود شده است. این زمین‌لرزه‌ها احتمالاً ناشی از جنبش گسل‌های فعال بینالود، شمال نیشابور و نیشابور بوده‌اند. گسل‌های شمال نیشابور و بینالود در دامنه رشته‌کوه‌های بینالود، در شمال شهر نیشابور، قرار دارند. گسل شمال نیشابور، خط اثر (خط اثر، محل برخورد صفحه گسله با سطح زمین است که گاهی اوقات با شواهد زمین‌ریختی (ژئومورفیک) توصیف می‌شود) نسبتاً سینوسی دارد که از مشخصه‌های یک گسل تراستی است و هیچ مولفه امتدادلغز واضحی را نشان نمی‌دهد. در این مقاله، به بحث در خصوص یافته‌هایمان که از تحقیقات صحرایی در محلی (36°18'N 58°50'E) که گسل تراستی شمال نیشابور با رودخانه‌ای بریده شده است، می‌پردازیم.

واژه‌های کلیدی: سن‌یابی، درخشایی (لومینسانس) نوری، OSL، نیشابور، گسل فعال، سرعت یا میزان لغزش، گسل شمال نیشابور

An investigation into the activity of the North Neyshabour fault, eastern Iran

Fattahi, M.¹, Rostami Mehraban, S.², Talebian, M.³, Bahroudi, A.⁴, Hollingsworth, J.⁵ and Walker, R.⁶

¹ Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

² M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

⁴ Assistant Professor, Geological survey of Iran, Tehran, Iran

⁵ Researcher, Earth Science Department, Cambridge, United Kingdom

⁶ Assistant Professor, Earth Science Department, University of Oxford, United Kingdom

(Received: 24 Jan 2011, Accepted: 11 Oct 2011)

Abstract

Iran is one the most tectonically active parts of the world and regularly experiences earthquakes of both low and high magnitude. Therefore, earthquake hazard assessment before any kind of building construction and for already built and populated area is essential. A vital first step in this type of study is to identify, map, and determine the activity of faults within a given region. Investigating fault activity requires estimation of the average fault slip-rate, the recurrence interval between earthquakes, and the time of

the last earthquake produced by each individual fault. Neyshabour is one of the most important cities in NE Iran. The city has been destroyed four times by major historical earthquakes. Three large faults exist in the region (the North Neyshabour, Binalud and Neyshabour faults). The North Neyshabour and Binalud faults lie at the foot of the Binalud range north of Neyshabour. The North Neyshabour fault has a relatively sinuous surface trace, typical of a thrust fault, and does not show any clear strike-slip component.

The North Neyshabour thrust fault is exposed in a river section, at 36°18'N 58°50'E. The fault dips 60° north, and forms ~8-9 m high fault scarp at the surface which vertically offsets a Quaternary terrace. Within the river section, a yellow sandstone unit is offset by 9 m. A 60 by 40 cm sample of this unit was collected from the river exposure for optically stimulated luminescence (OSL) dating (location: 36°18.3090'N 58°50.2700'E). The sample was dated in the Oxford luminescence lab using a Riso (Model TL/OSL-DA-15) automated TL/OSL system under subdued red light (for details of the method see Fattahi et al., 2006, 2007; Fattahi and Walker, 2007). Eighteen subsamples of sample N5 demonstrated a wide paleodose distribution. This suggests that the sediment may not have been completely reset upon deposition (i.e. not all 'trapped' electrons from an earlier burial period were reset during sediment transport). This causes the mean age determination using weighted mean, 42000-68000 year, to overestimate the real deposition age. One solution to this problem is to assume the date of the youngest grains represent the time of deposition, giving a lower age of 22200-26000 year. However, we decided to use both age estimates for slip rate determination. As the top Quaternary terrace, has been displaced ~ 8-9 m at the surface, we calculated two slip rate using both average and minimum ages for calculating the slip-rate on the North Neyshabour fault (~0.1-0.2 and ~0.3-0.4mm/yr), respectively.

Key words: Dating, optical luminescence, active fault, slip rate, North Neyshabour fault

۱ مقدمه

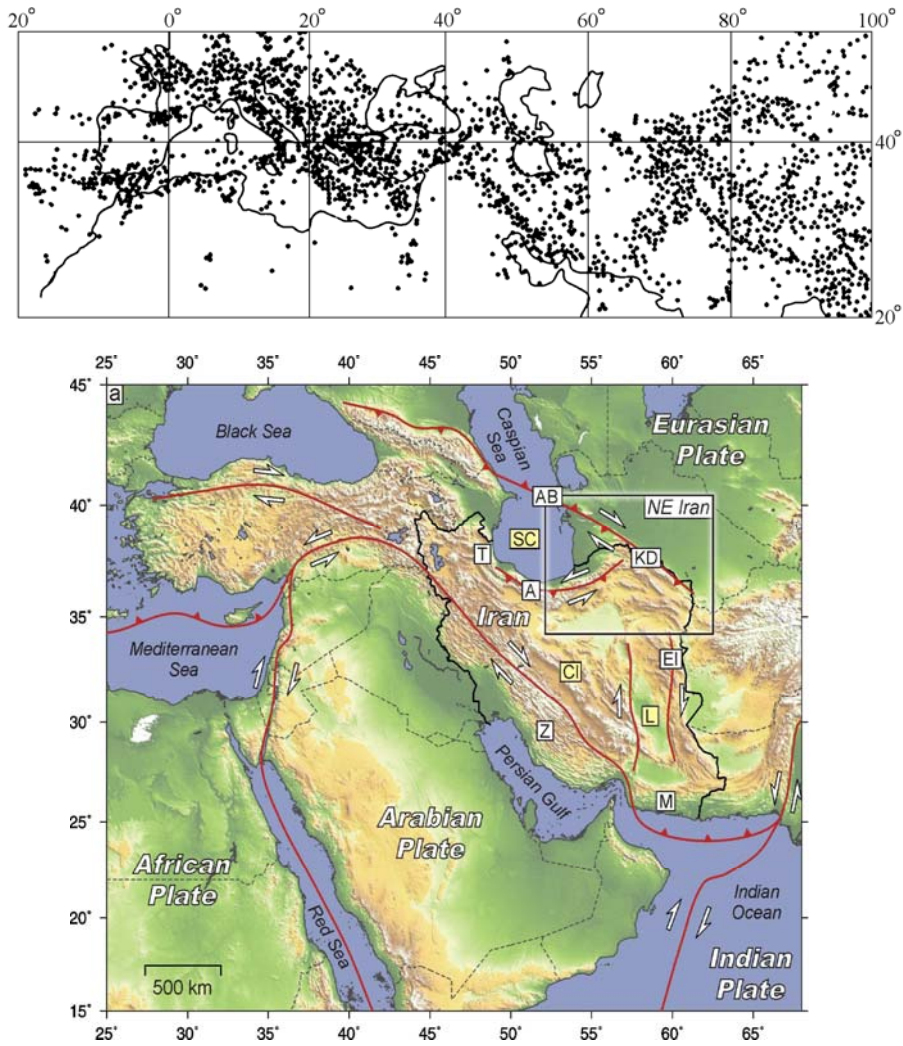
ایران روی کمربند زلزله آلپ - هیمالیا قرار دارد (شکل ۱). تنش‌های فشارشی ناشی از بازشدگی دریای سُرخ و گسترش اقیانوس هند موجب حرکت و جابه‌جایی‌های نسبی قطعات گوناگون قاره‌ای و اقیانوسی در منطقه می‌شود. در داخل ایران فشار سپر عربستان به فلات ایران و حرکت به سمت شمال تحت این فشار موجب تغییر شکل پوسته ایران و رویداد زمین‌لرزه‌ها می‌شود (شکل ۱).

زلزله که مهم‌ترین خطر طبیعی در ایران است، هر چندسال یک‌بار موجب صدمات جانی، مالی و فرهنگی می‌شود. برای مثال، زمین‌لرزه ۱۹۷۸ طیس با بزرگی $(M_s=7.3)$ که باعث مرگ ۲۰۰۰۰ نفر شد. زمین‌لرزه ۱۹۹۰ رودبار $(M_s=7.7)$ دست کم ۳۰۰۰۰ نفر را کشت و اخیراً زمین‌لرزه ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ با بزرگی $(M_w=6.5)$ که

جان ۳۰۰۰۰ نفر را گرفت و کل شهر تاریخی بم و روستاهای اطراف آن را ویران کرد (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶).

اولین گام در تحلیل خطر زلزله، تعیین نقشه گسل‌های فعال و اندازه‌گیری میزان فعالیت گسل‌ها است. دو پارامتر اساسی برای تعیین میزان فعالیت هرگسل عبارت‌اند از:

۱- تعیین سن یا زمان آخرین زلزله مخرب و حتی‌الامکان زلزله‌های قبلی به منظور تعیین رخداد مجدد. ۲- تعیین نرخ لغزش هرگسل در سال. لازم به ذکر است که به‌منظور تعیین نرخ لغزش هرگسل در دوران طولانی از گذشته تا حال می‌باید میزان وزمان جابه‌جایی گسل اندازه‌گیری شود. میزان جابه‌جایی با روش‌های معمول و یا GPS سینماتیک صورت می‌گیرد و سن‌یابی برای برآورد زمان ضروری است.



شکل ۱. تصویر بالا: جایگاه زمین‌شناسی ایران در نوار چین‌خورده آلپ-همیالیا (خین و لیکوسکی، ۱۹۹۴). تصویر پایین: جایگاه زمین‌ساخت ایران در خاورمیانه. سامانه‌های گسلش اصلی با خط سرخ نشان داده شده است. تغییر شکل‌ها در ایران در اثر فشار عربستان در زاگرس (Z)، تالش (T)، البرز (A) و کوپه‌داغ (KD) تمرکز یافته‌اند. سامانه‌های گسلش راست‌گرد در شرق ایران (EI)، اسفراین بالکان (AB)، و مکران (M) با مربع‌های سفید نشان داده شده است که مناطق مرکزی ایران (CI)، جنوب دریای خزر (SC) و دشت لوت (L) را احاطه کرده‌اند. نیشابور در منطقه شمال شرق ایران (NE Iran) قرار دارد که با مربع بزرگ نشان داده شده است (هلینگورس، ۲۰۱۰).

حداقل چهار بار با زلزله‌های تاریخی تخریب شده است. گسل شمال نیشابور با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر و راستای حدود ۱۱۵° در جنوب رشته‌کوه‌های بینالود، و در شمال شهر نیشابور، واقع است. این تحقیق قسمتی از یک بررسی جامع‌تر است که طی آن تغییر شکل‌های کوتاه‌تر مرتبط با رشته‌کوه‌های البرز و بینالود مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی) به کمک

در میان انواع روش‌های سن‌یابی مطلق، سن‌یابی به روش درخشایی به لحاظ نیمه‌خشک بودن ایران، روشی مناسب در سن‌یابی نهشته‌های مرتبط با زلزله است. اول اینکه مستقیماً این نهشته‌ها را سن‌یابی می‌کند و دوم اینکه سن‌یابی آن می‌تواند از چنددهه‌سال تا بالای یک میلیون سال گسترش یابد (فتاحی و استوکز، ۲۰۰۳). نیشابور یکی از شهرهای مهم استان خراسان است که

واقع است و از ۸ کیلومتری شمال شرقی شهر نیشابور می‌گذرد و گسل نیشابور که در ناحیه جنوبی کوه‌های بینالود از ۳ کیلومتری شمال غربی شهر نیشابور می‌گذرد (بربریان و بیتس، ۱۹۹۹) (شکل ۲).

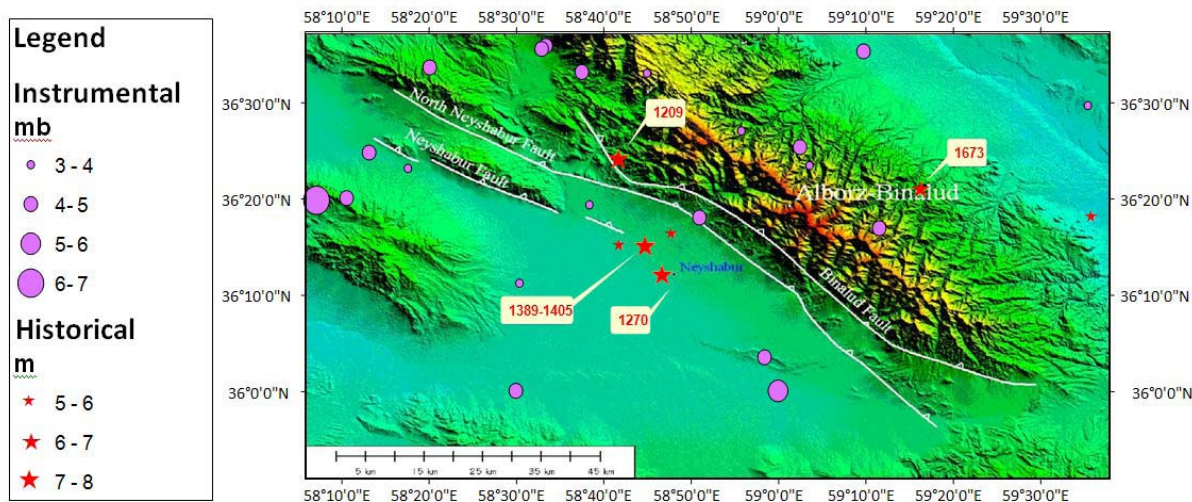
بربریان و بیتس (۱۹۹۹) پیشنهاد کردند که زلزله‌های سال ۱۲۰۹ م ($I_0=X, M \sim 7.3$) و سال ۱۳۸۹ م ($I_0=X, M \sim 7.3$) طول ۹۵ کیلومتری گسل معکوس بینالود را در سمت شرقی گسیخته‌اند. ثبت‌های تاریخی نشان می‌دهد که در ۱۲۰۹ م، محدوده نیشابور از شهر نیشابور در غرب تا روستای دانه در شرق، کاملاً ویران شده و در زمین‌لرزه ۱۳۸۹ م، زمین‌لغزش‌های متعدد در کوه‌های بینالود در شرق چندین روستا را در همان منطقه ویران کرده است. در حالی که زمین‌لرزه ۱۲۷۰ م، پهنه نیشابور به سمت غرب را در بر گرفت و پهنه ویرانی زمین‌لرزه ۱۴۰۵ م، نیشابور و غرب آن را پوشانیده بود، بدین سبب می‌توان گسل نیشابور را مسبب رویداد این دو زمین‌لرزه پیشنهاد و اعلام کرد که این دو زمین‌لرزه طول ۵۰ کیلومتری گسل معکوس نیشابور را گسیخته‌اند (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸).

عکس‌های ماهواره‌ای و مشاهدات محلی، اطلاعات لرزه‌ای براساس ثبت‌های تاریخی زلزله، میزان بالاآمدگی زمین در محل مورد بررسی با GPS سینماتیک و سن‌یابی به روش درخشایی صورت گرفت. این گزارش ضمن مروری کوتاه بر وضعیت زلزله‌خیزی نیشابور، زمین‌ریخت‌شناسی گسل شمال نیشابور، و سن‌یابی به روش درخشایی نوری به منظور تعیین سرعت جابه‌جایی گسل شمال نیشابور را مورد بحث قرار می‌دهد.

۲ زلزله‌خیزی نیشابور

نیشابور با جمعیتی حدود دویست هزار نفر، در ناحیه جنوبی کوه‌های بینالود در شمال شرقی ایران واقع شده است و حداقل چهار بار با زلزله‌های تاریخی (بربریان و بیتس، ۱۹۹۹) تخریب و شاید نابود شده است.

در این منطقه حداقل سه گسل اصلی معکوس وجود دارد: گسل بینالود که در پای دامنه جنوب غربی رشته‌کوه بینالود قرار دارد و از ۱۵ کیلومتری شرق شهر نیشابور می‌گذرد، گسل شمال نیشابور که در جنوب گسل بینالود



شکل ۲. توپوگرافی جنوب رشته‌کوه بینالود- البرز شرقی. خطوط سفید نشان‌دهنده گسل‌های فعال است. گسل‌های بینالود و شمال نیشابور در دامنه رشته‌کوه، شمال شهر نیشابور، قرار دارند و گسل نیشابور در جنوب رشته‌کوه، غرب شهر نیشابور، قرار دارد. زمین‌لرزه‌های تاریخی با ستاره و زمین‌لرزه‌های دستگاهی با دایره نشان داده شده است (زمین‌لرزه‌های تاریخی از آمبرسیز و ملویل، ۱۳۷۰، بربریان و همکاران، ۱۳۷۸، شجاع طاهری و قرشی، ۱۳۸۱ گردآوری شده است و در جمع‌آوری داده‌های دستگاهی علاوه بر این منابع، از ISC نیز استفاده شده است).

که در نیشابور روی داد، موجب مرگ ۳۰ تا ۴۰ نفر شد و به شدت در مشهد، شیروان و سبزوار احساس شد ولی در این شهرها آسیبی به همراه نداشت و زمین لرزه ۱۹۳۸ (M ~ ۵/۶) هم در منطقه نیشابور رخ داد (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸).

هیچ داده سنی دقیق و یا لرزه خیزی از گسله شمال نیشابور در دست نیست. اگرچه بربریان و همکاران (۱۳۷۸) گزارش کرده اند که این گسله در پهنه زمین لرزه ۱۲۰۹ نیشابور (Ms=7.6, I0=X) قرار دارد، ولی واکنش و یا رفتار آن به هنگام رویداد این زمین لرزه روشن نیست.

در جدول های ۱ و ۲، فهرست زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی روی داده در منطقه آمده است. داده های تاریخی از منابع گوناگون (آمبرسیز و ملویل، ۱۳۷۰؛ بربریان و همکاران، ۱۳۷۸ و شجاع طاهری و قرشی، ۱۳۸۱) گردآوری شده است.

البته، با توجه به اینکه همه این گسل ها در شمال شهر نیشابور همدیگر را قطع می کنند (شکل ۲) اتکا به گزارش های تاریخی در تعیین رابطه زلزله ها با گسل های خاص کافی نیست.

هولینگورت و همکاران (۲۰۰۶) پیشنهاد کردند که زلزله ۱۶۷۳ (M ~ ۶/۶) که دوسوم شهر مشهد (با حدود ۴۰۰۰ تلفات) و نصف نیشابور (۱۶۰۰ تلفات) را تخریب کرد، ممکن است ناشی از لغزش جنوب شرقی گسل های بینالود یا شمال نیشابور باشد که در اثر زلزله های سال های ۱۲۰۹-۱۴۰۵ انرژی گرفته است. آنها همچنین معتقدند که زلزله ۱۸۵۱ (M ~ ۶/۹) که منطقه وسیعی بین قوچان و نیشابور را لرزاند و یک چهارم شهر قوچان (با حدود ۱۶۰ کشته و زخمی) و ناحیه جنوب قوچان (۲۰۰۰ کشته) را تخریب کرد و شش ماه بعد در ۱۸۵۲ مجدداً قوچان را لرزاند، ممکن است مرتبط با ساختار همراه با تغییر شکل کوه های کپه داغ باشد. زمین لرزه ۱۹۲۸ (M ~ ۵/۲، I0=X)

جدول ۱. فهرست زمین لرزه های تاریخی منطقه نیشابور.

| Date (G.M.T) | Epicentre (LatN°-LongE°) | Magnitude | | | Area |
|-----------------|-----------------------------|-----------|-----|-----|-----------|
| | | M | Ms | mb | |
| c.241-272 | | | | | Neyshabur |
| 457/7/25 | | | | | Rewan |
| c.7th | | | | | Neyshabur |
| 1145/00/00 | 36.25-58.7 | | 5.3 | 5.3 | Neyshabur |
| 1209/00/00 | 36.4-58.7 | | 7.6 | 7.3 | Binalud |
| 1251/00/00 | 36.27-58.8 | | 5.3 | 5.3 | Neyshabur |
| 1270/10/07 | 36.2-58.8 | | 7.1 | 7.0 | Neyshabur |
| 1389/02/00 | 36.25-58.75 | | 7.6 | 7.3 | Binalud |
| 1405/11/23 | 36.25-58.75 | | 7.6 | 7.3 | Neyshabur |
| 1598 | | | | | Mashhad |
| 1673/07/30 | 36.35-59.27 | | 6.6 | 6.5 | Kashafud |
| 1687/04 | 36.3-59.6 | | 5.8 | | |
| 1851/06/00 | 36.78-58.5 | | 6.9 | 6.8 | Binalud |
| 1855/03/21 | 36.48-58.37 | | | | Binalud |
| 1857/05/00 | 36.48-58.37 | | | | Rivand |

جدول ۲. فهرست زمین‌لرزه‌های دستگاهی منطقه نیشابور.

| Date (G.M.T) | Epicentre (LatN°-LongE°) | Magnitude | | | Source | Area |
|-----------------|-----------------------------|-----------|-----|-----|---|-----------|
| | | Ms | M | mb | | |
| 1928/8/21 | 35.00-59.00 | | | 5.2 | ISS | Neyshabur |
| 1938/12/19 | 36.23-57.96 | | | 5.6 | ISC (www.isc.ac.uk/ , International Seismological Centre) | |
| 1939/11/8 | 58.12-36.33 | | | 6.3 | ISC | |
| 1949/12/14 | 36.00-59.00 | | | 5.1 | ISC | Neyshabur |
| 1958/01/28 | 36.00-58.5 | | | 5.0 | USGS (www.usgs.gov/ , U.S. Geological Survey) | Neyshabur |
| 1964/05/15 | 36.3 - 58.85 | | | 4.6 | ISC | Binalud |
| 1976/05/01 | 36.39-59.06 | | | 3.7 | ISC | Binalud |
| 1977/08/16 | 36.4124 -58.2201 | | | 4.5 | ISC | Neyshabur |
| 1977/08/17 | 36.422 -59.0418 | | | 4.8 | ISC | Binalud |
| 1977/08/31 | 36.45-58.93 | | 3.2 | | SNFU | |
| 1978/07/19 | 36.55-58.75 | | 3.2 | | SNFU | |
| 1981/08/03 | 36.1864- 58.5069 | | | 3.9 | ISC | Neyshabur |
| 1982/02/24 | 36.3223-58.6402 | | | 4.0 | ISC | Neyshabur |
| 1982/02/24 | 36.385-58.294 | | | 4.0 | ISC | Neyshabur |
| 1983/01/04 | 36.2814- 59.1929 | | | 4.3 | ISC | Mashhad |
| 1984/07/06 | 36.5601-58.3356 | | | 4.8 | ISC | Neyshabur |
| 1986/08/25 | 36.668-58.856 | | | 4.2 | ISC | Neyshabur |
| 1988/09/28 | 36.5972-58.557 | | | 4.4 | ISC | Binalud |
| 1994/12/12 | | | | 4.0 | | Mashhad |
| 1994/12/13 | | | | 4.3 | | Mashhad |
| 1995/2/17 | | | | 3.9 | | Mashhad |
| 1995/06/14 | 36.5521-58.6258 | | | 4.5 | ISC | Binalud |
| 1997/02/23 | 36.7261- 58.7266 | | | 3.9 | ISC | Mashhad |
| 1998/12/22 | 36.0582- 58.9744 | | | 4.1 | ISC | |
| 2000/06/14 | 36.488-59.762 | | | 4.1 | ISC | Mashhad |
| 2001/05/20 | 36.494-59.591 | | | 4.4 | ISC | Mashhad |
| 2001/12/18 | 36.919- 59.211 | | | 4.1 | ISC | Mashhad |
| 2004/02/25 | 36.5879- 59.1629 | | | 4.3 | ISC | |
| 2004/12/17 | 36.3336- 58.1771 | | | 4.3 | ISC | |
| 2005/08/07 | 36.5921-58.5491 | | | 4.5 | ISC | |

۳ زمین‌ریخت‌شناسی گسل شمال نیشابور

گسل "شمال نیشابور" با راستای حدود 115° (روند شمال غرب-جنوب شرق) که به سمت شرق تا 130° افزایش می‌یابد، بیش از ۱۰۰ کیلومتر طول دارد. این گسل از ۸ کیلومتری شمال شرقی نیشابور می‌گذرد و شبیه به سمت

شمال شرق دارد. این گسل در راستای خود مارن‌های سرخ و قهوه‌ای گچ‌دار نئوژن و سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی نئوژن (از سوی شمال شرقی) را روی رسوبات آبرفتی کواترنر دشت نیشابور (در جنوب غربی) رانده است. این گسل نیز مانند سایر گسله‌های این منطقه به‌طور

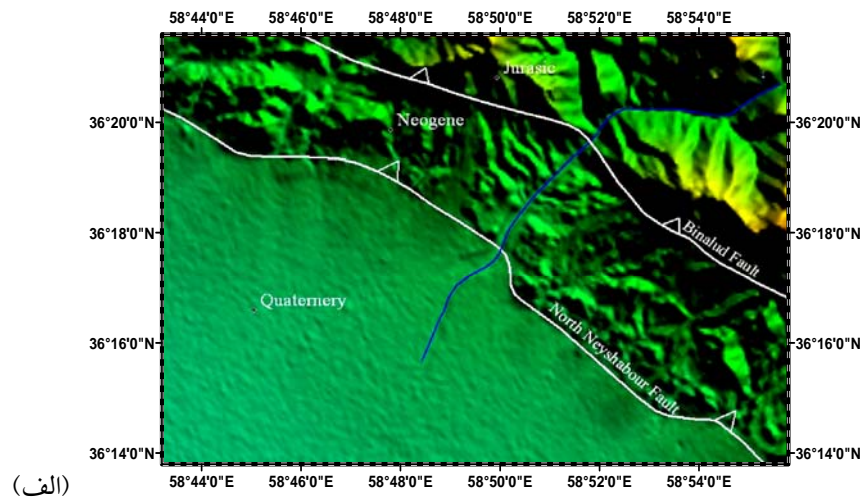
در بررسی‌های از راه دور تصاویر ماهواره‌ای، چند منطقه را انتخاب کردیم. در عرض جغرافیایی $36^{\circ}18'$ و طول جغرافیایی $58^{\circ}50'$ گسل "شمال نیشابور" با یک رودخانه بریده شده است (شکل ۴).

بررسی‌های دقیق‌تر نشان داد که این ناحیه یکی از نمونه‌های خوب برای تحقیق و نمونه‌برداری است. خوشبختانه، رودخانه یک ترانشه عالی را برای بررسی تغییر شکل زمین با گسل نشان داده است. اثر گسل نیز روی این ترانشه کاملاً آشکار بود (شکل ۵). این اثر اندازه‌گیری و اطلاعات مربوط به گسل شمال نیشابور ثبت شد. دولاچه به روشنی قابل تشخیص است. لایه ۱ در بالا که سمت راست (نسبت به خط گسل) آن باریک است و سمت چپ لایه نسبت به سمت راست آن، پهن است. لایه دوم، زرد رنگ است و قسمت فرادیواره در وسط شکل ۵ و فرودیواره تقریباً در پایین، سمت چپ شکل ۵ قرار دارد.

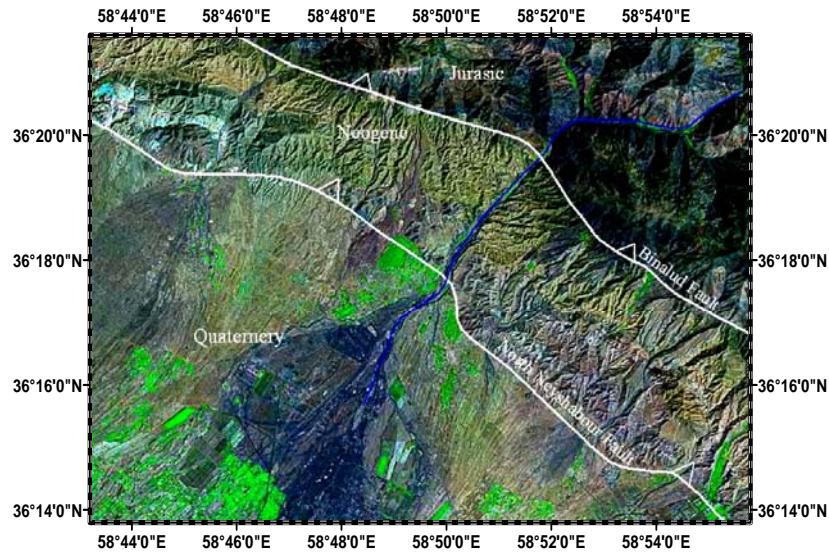
معکوس عمل کرده است. به دلیل عملکرد این گسل، گچ‌ها و مارن‌های گچ‌دار نوژن معدن گچ، ارتفاع گرفته است. همگام با انتشار گسلش تراستی به سمت جنوب، مخروطه افکنه‌های آبرفتی کواترنری رسوب کرده در شمال گسل بالا آمده، باعث بریده شدن آنها با رودخانه‌ها می‌شوند. در نتیجه، تعدادی تراس‌های کواترنری در سراسر منطقه نوژن بالا آمده ایجاد شده‌اند. تراس‌های مشابه در شمال گسل بینالود حضور ندارند، بنابراین روشن می‌شود که بیشترین کوتاه‌شدگی کواترنری روی گسل شمال نیشابور اتفاق افتاده است. در نتیجه براساس این اطلاعات زمین‌ریخت‌شناسی، گسل شمال نیشابور فعال‌تر از گسل بینالود است. طبیعت سینوسی شکل گسل "شمال نیشابور" نمونه یک گسل تراستی است. اثر گسل روی زمین گاهی با رودخانه‌هایی که به سمت جنوب جریان داشته‌اند، از بین رفته است. لذا در تصاویر، بخشی از گسل در این محل‌ها ناپیدا است (مثل شکل ۳).



شکل ۳. نمونه‌ای از اثر گسل روی زمین که گاه با رودخانه‌هایی که به سمت جنوب جریان داشته‌اند، از بین رفته است. لذا در تصاویر، بخشی از گسل در این محل‌ها ناپیدا است.



(الف)



(ب)

شکل ۴. (الف) توپوگرافی گسل شمال نیشابور. خط آبی رودخانه‌ای را نشان می‌دهد که در عرض جغرافیایی $36^{\circ}18'$ و طول جغرافیایی $58^{\circ}50'$ گسل "شمال نیشابور" را بریده و گسل در یک قسمت کنار رودخانه نمایان شده است. همچنین لیتولوژی منطقه مشخص شده است. (ب) تصویر ماهواره‌ای منطقه در (الف).



شکل ۵. گسل شمال نیشابور باعث جابه‌جایی لایه ۲ یا لایه زرد رنگ شده است، شده است. برای مخص شدن مقیاس، در کف رودخانه شخصی ایستاده که با دایره سرخ مشخص شده است.

گسل نسبت به سمت دیگر جابه‌جا شده است و زمان لغزش عبارت است از کل زمانی که طول کشیده است تا این جابه‌جایی صورت گیرد.

از جمله روش‌هایی که می‌توان برای تعیین سرعت متوسط لغزش به کار برد، اندازه‌گیری مسافت لغزش به کمک GPS و مدت آن به کمک سن‌یابی به روش نوری (OSL, Optically Stimulated Luminescence) است (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶ و فتاحی و والکر، ۲۰۰۷).

از این رو به منظور تعیین نرخ لغزش گسل شمال نیشابور (شکل ۵) تغییرات توپوگرافی سطحی در بالای پرتگاه به کمک دستگاه سینماتیک GPS اندازه‌گیری شد (شکل ۶-الف) و نتایج در شکل (۶-ب) آمده است.

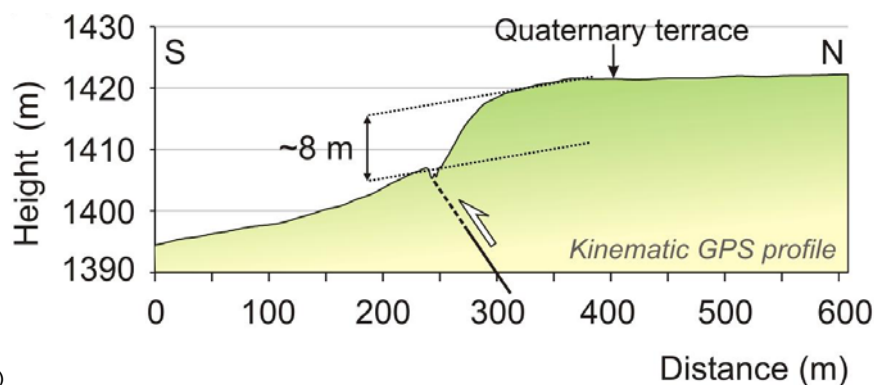
۴ تعیین نرخ لغزش گسل شمال نیشابور (Slip rate)

به منظور تعیین نرخ جابه‌جایی یک سمت گسل نسبت به سمت دیگر، از مفهومی با عنوان slip rate که معادل فارسی آن را می‌توان "نرخ لغزش" تعریف کرد، استفاده می‌شود. نرخ لغزش با تقسیم کل جابه‌جایی صورت گرفته بر مدت زمانی که این حرکت انجام پذیرفته است، به دست می‌آید.

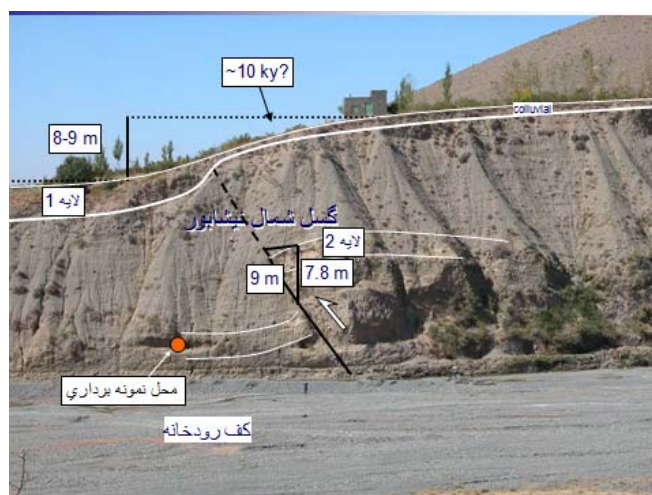
لازم به ذکر است که نرخ لغزش ثابت نیست و به همین دلیل، نرخ متوسط را به دست می‌آوریم که با فرمول ساده زیر قابل بیان است:

$$\text{نرخ متوسط لغزش} = \frac{\text{مسافت لغزش}}{\text{زمان لغزش}}$$

مسافت لغزش عبارت است از کل مسافتی که یک سمت



(الف)



(ب)

شکل ۶. گسل شمال نیشابور. (الف) نیم‌رخ توپوگرافی که با GPS اندازه‌گیری شده است، را نشان می‌دهد. (ب) نمایانگر جابه‌جایی لایه ۲ در امتداد گسل حدود ۹ متر و جابه‌جایی عمودی به اندازه ۷.۸ متر و زاویه گسل با افق نیز ۶۰° است.

نتیجه به کمک این سن حداقل "سرعت لغزش" محاسبه می‌شود.

۵ سن یابی

اندازه‌گیری سیگنال درخشایی حاصل از دانه‌های معدنی وسیله‌ای است برای تعیین زمان سپری شده بعد از اینکه نمونه برای آخرین بار در معرض نور قرار گرفته است. به همین منظور، در آزمایشگاه کوارتز یا فلدسپار از نمونه رسوبی جدا شده و با نور در یک طول موج خاص (مانند آبی، سبز یا فروسرخ) تحریک می‌شود و سیگنال OSL گسیل شده از آن در طول موج‌های دیگر مانند (UV) اندازه‌گیری می‌شود. چون تعداد فوتون‌های حاصل معادل تعداد الکترون‌های جمع شده در تله در طی زمان مدفون شدن است و چون الکترون‌ها رابطه مستقیم با دُز پرتوزای محیطی که نمونه رسوبی در آن قرار داشته است، دارد. لذا سیگنال درخشایی حاصل را سیگنال حاصل از دُز طبیعی (De) می‌نامیم. دُز معادل دُز طبیعی همان دُز تابشی است که نمونه بعد از رویداد صفرشدگی و در طول مدت دفن‌شدگی دریافت کرده است. نرخ تابش طبیعی، یا "نرخ دُز"، مقدار دُزی است که یک نمونه هر سال دریافت می‌کند سن نمونه، از رابطه زیر به دست می‌آید:

دز معادل دُز طبیعی که نمونه در زمان دفن بودن

دریافت کرده است (De)(Gy)

سن نمونه =

دُز پرتوزا که نمونه از محیط ظرف یک سال دریافت

کرده است (Gy/ka)

بنابراین به منظور سن‌یابی به روش درخشایی نوری ضروری است دُز معادل طبیعی و دُز سالانه محاسبه شود (آیتکن، ۱۹۹۸ و فتاحی، ۲۰۰۳). بدین منظور، ابتدا برای نمونه‌برداری یک قالب $۶۰ \times ۴۰ \times ۵۰$ سانتی‌متر مکعب از محل جدا کردیم. سپس در تاریکی قسمت مرکزی این قالب را خارج کردیم. این امر ما را مطمئن ساخت که نمونه، نور نخورده است. هم‌زمان نمونه دیگری برای

شیب گسل، ۶۰° به سمت شمال است و در سطح یک پرتگاه کوچک به ارتفاع ۸-۹ متر را تشکیل داده است (اختلاف ارتفاع لایه ۱ در دو طرف گسل در شکل ۶). جابه‌جایی قائم‌گراول‌های لایه افقی (لایه ۲ در شکل ۶) یعنی بالارفتگی سمت راست لایه نسبت به سمت چپ آن در امتداد گسل، نمایانگر آن است که این گسل فعال و از نوع تراست است.

برای تعیین مدت لغزش، تلاش به منظور نمونه‌برداری OSL از چند نقطه از دیواره بالای پرتگاه، به کمک نردبان که از روستاهای اطراف به امانت گرفته شد، ناموفق ماند. از این رو به دلیل نبود امکانات موفق به نمونه‌برداری از مناسب‌ترین محل نشدیم. به ناچار از ناحیه در دسترس دیواره و در محلی که در شکل ۶ (چندین متر بالای سطح رودخانه به مشخصات $۳۶^\circ ۱۸' ۳.۹ \text{ N}$ و $۵۸^\circ ۵۰' ۲۷. \text{ E}$) نشان داده شده است، نمونه‌برداری کردیم. انتخاب این محل برای نمونه‌برداری به دلایل زیر بود:

۱- رسوبات ریزدانه بودند و احتمال صفرشدگی ساعت درخشایی آنها زیاد بود و لذا برای سن‌یابی به روش OSL مناسب تر بودند.

۲- امکان نمونه‌برداری ساده‌تر بود.

۳- میزان جابه‌جایی (بالا آمدگی) لایه ۲ در کنار گسل قابل اندازه‌گیری بود.

نقطه ضعف این نمونه:

چنانچه زلزله قبل از رسوب‌گذاری لایه ۱ و در ایدئال‌ترین حالت درست پس از رسوب‌گذاری لایه ۲ صورت گرفته بود، سن نمونه (N5) نمایانگر زمان تشکیل لایه ۲ درست قبل از وقوع زلزله بود، بنابراین به کمک آن می‌توانستیم "مدت لغزش" را به دست آوریم. اما چون سمت راست لایه ۲ در محل گسل، ریزش کولویال روی سمت چپ لایه ۲ ندارد، لایه بالایی یا بخشی از آنها هنگام وقوع زلزله موجود بوده است. بنابراین سن نمونه N5 زمانی نامعین قبل از وقوع زلزله را تعیین می‌کند، در

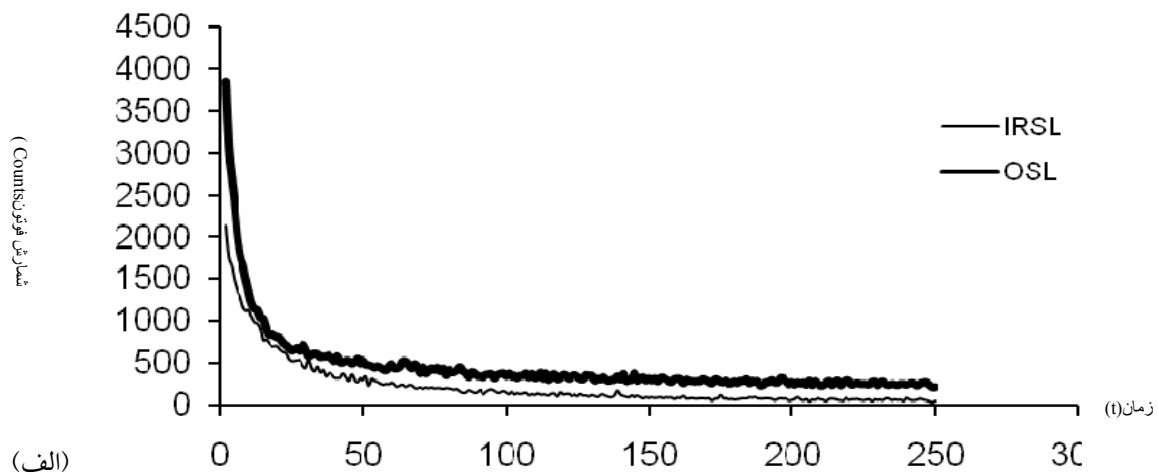
مجدداً نمونه با آب شست و شو شد و در کوره به مدت ۲۴ ساعت گذارده شد تا خشک شود. در مرحله بعد به کمک سدیم پلی تنگستیت رسوبات به روش چگالی از هم جدا شد. نمونه‌ها به چگالی‌های گوناگون تفکیک شدند. دانه‌های کوچک‌تر از ۲/۷۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب دارای کوارتز و فلدسپارها بودند. دانه‌ها سپس (به مدت ۵۰ دقیقه) در هیدروفلوریک اسید ۴۸٪ قرار گرفتند. از این راه تلاش شد تا هم ناخالصی‌های دیگر حذف و هم لایه خارجی دانه‌های کوارتز حذف شود. حذف این لایه اثر پرتوهای ناخواسته را از بین می‌برد. سپس دانه‌ها با کلریدریک اسید ۱۰٪ شست و شو داده شدند و در همه مراحل پیش گفته در بین عملیات، دانه‌ها با آب مقطر شست و شو شدند. در مرحله آخر نیز دانه‌ها کاملاً با آب مقطر شست و شو داده شدند و در کوره قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت دانه‌ها از کوره خارج شدند.

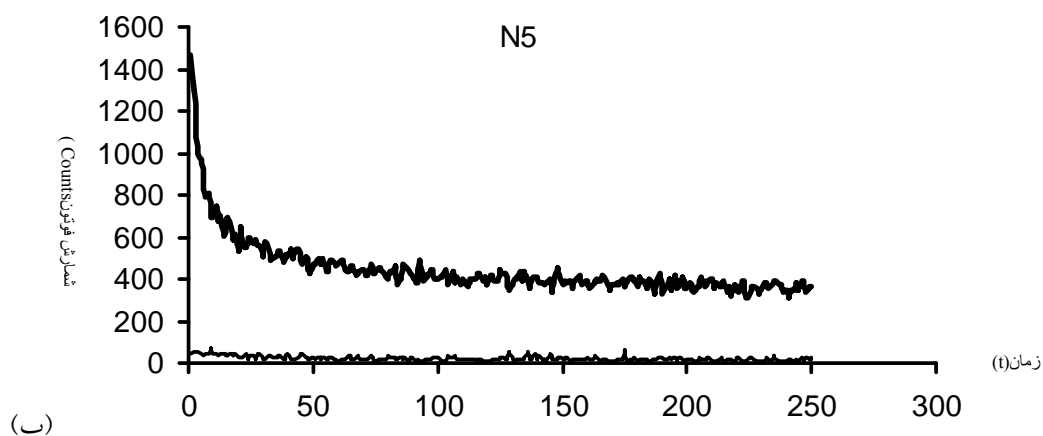
خالص بودن کوارتز با آزمون درخشایی تحریک شده با پرتو فرسرخ (IRSL, Infrared Stimulated Luminescence) صورت گرفت و متأسفانه وجود ناخالصی‌های فلدسپار آشکار شد (شکل ۷-الف). لذا عملیات فوق مجدداً تکرار شد. به‌رحال با ادامه این عملیات، کوارتز خالص حاصل شد (شکل ۷-ب).

سنجش رطوبت و یک نمونه نیز برای اندازه‌گیری دُز سالانه به روش ICP-Mass برداشت شد. متأسفانه به دلیل نداشتن امکانات مناسب، نمونه‌برداری از ارتفاعات متفاوت صورت گرفت و همچنین اندازه‌گیری پرتو γ به کمک طیف‌سنج γ (علیرغم آنکه طیف‌سنج در دسترس بود) فراهم نشد.

نمونه مخصوص طیف‌سنج ICP با دستگاه مناسب در دانشگاه آکسفورد به پودر با اندازه مناسب آسیاب و جهت آنالیز به واحد مربوط ارسال شد و نتایج آن در جدول ۳ موجود است.

نمونه مخصوص اندازه‌گیری دُز معادل دُز طبیعی به آرامی ساییده شد و مقدار مناسب دانه‌ریز تهیه و سپس به روش خیس عملیات سرند به آرامی صورت گرفت و دانه‌ها با اندازه‌های گوناگون جدا شد و در کوره گذاشته شد تا خشک شود. سایز ۹۰-۱۵۰ میکرون پس از یک روز از کوره خارج و به مدت دو روز در کلریدریک اسید یک نرمال قرار گرفت، عملیات ادامه یافت تا دیگر نمونه، واکنشی با اسید نشان نداد. مجدداً نمونه با آب شست و شو داده شد و در کوره به مدت ۲۴ ساعت گذارده شد. آن‌گاه نمونه در آب اکسیژنه (H_2O_2) قرار گرفت، عملیات ادامه یافت تا دیگر نمونه واکنشی به آب اکسیژنه نشان نداد. بدین روش کربنات‌ها و مواد آلی از رسوبات جدا شد.

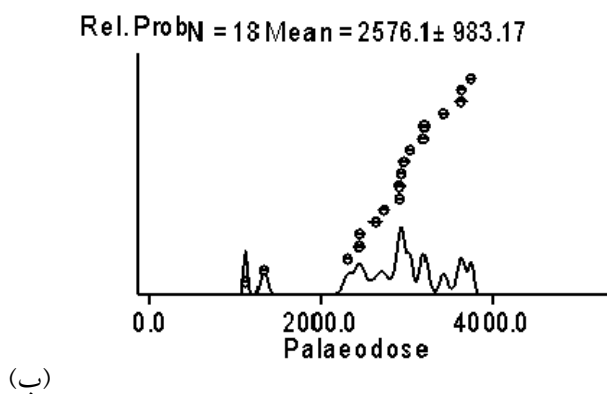
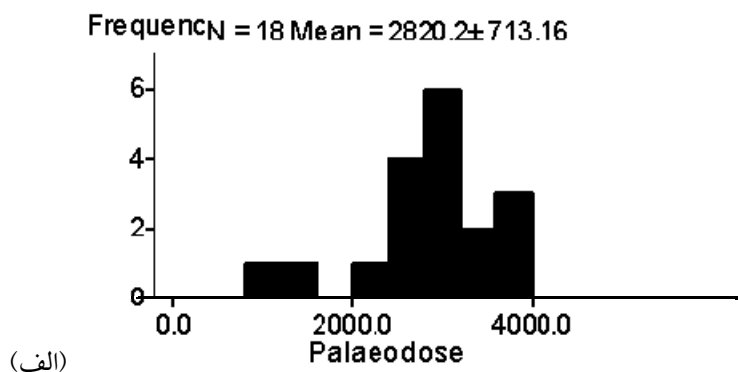


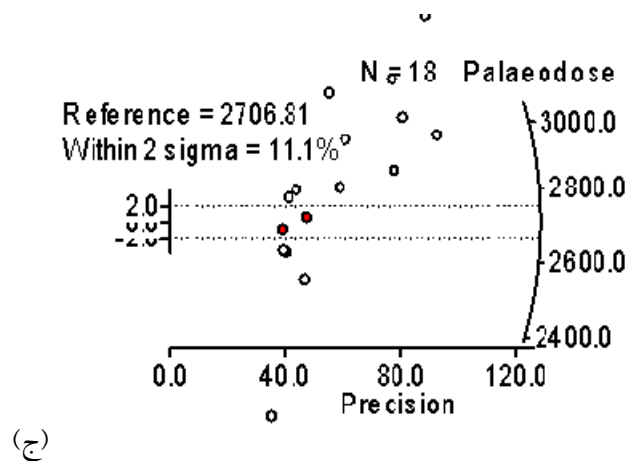


شکل ۷. (الف) فقط فلدسپار در دمای محیط تولید IRSL می‌کند. وجود ۲۰۰۰ شمارش در لحظه اول توسط IRSL نمایانگر وجود ناخالصی IRSL در نمونه است. (ب) اگرچه میزان درخشایی طبیعی کوآرتز کاهش یافت اما فلدسپار حذف و کوآرتز خالص شد.

مقایسه نسبی منحنی‌های نزولی حاصل از سیگنال طبیعی و مصنوعی میزان دز معادل دز طبیعی حدس زده شد. آن‌گاه D_e با استفاده از روش OSL، با بهره‌گیری از روش SAR اندازه‌گیری شد و نتایج با نرم‌افزار Analyst تحلیل شد (شکل ۸).

آن‌گاه عملیات سن‌یابی کوآرتز و فلدسپار به‌طور مستقل صورت گرفت. به‌منظور سن‌یابی کوآرتز و فلدسپار از دانه‌های با اندازه بین ۹۰ الی ۱۵۰ میکرون استفاده شد. در ابتدا میزان توانایی دانه‌ها در تولید درخشایی اندازه‌گیری شد. سپس با دادن دز β به میزان معین و





شکل ۸. De ها به سه روش آماری در برآورد متوسط دُز معادل دُز طبیعی بررسی شد (الف) بافت‌نگار (هیستوگرام) (ب) میانگین وزنی (ج) نمودار شعاعی.

به‌دست آمد. با استفاده از این نتایج و سایر اطلاعات شامل رطوبت نمونه و موقعیت مکانی، میزان دُز سالانه نیز اندازه‌گیری شد و سن نمونه به‌دست آمد (جدول ۳).

۶ بحث

نمونه N5 از رسوباتی گرفته شده است که ۹ متر بالا آمده‌اند و سن آنها در جدول ۳ آورده شده است. سن آنها مربوط به کواترنر پسین است و بیانگر کواترنر بودن و فعال بودن گسل است و در تحقیقات بعدی می‌باید تلاش برای تعیین آهنگ لغزش در هولوسن و ربط آن به رخداد‌های لرزه‌زمین‌ساختی صورت پذیرد. در حال، میزان نرخ لغزش با استفاده از De محاسبه شده به روش میانگین وزنی و حداقل سن به ترتیب (۰/۳-۰/۱) و (۰/۴-۰/۳) میلی‌متر در سال خواهد بود. با توجه به توزیع De که به صورت پراکنده است و شرایط محیط (محیط آلیوال)، به نظر می‌رسد که این سن بیش از حد برآورد شده است.

نمونه‌های زمین‌شناسی مثل ماسه‌های بادی به اندازه کافی در معرض نور آفتاب قرار می‌گیرند، لذا سیگنال درخشایی طبیعی همه دانه‌های آن صفر می‌شود. چنانچه De این دانه‌ها اندازه‌گیری شود، به لحاظ آماری عدد اندازه‌گیری شده با در نظر گرفتن خطا حدوداً یکسان به‌دست می‌آید. در محیط‌هایی که رسوب در زیر آب قرار داشته است، مثل رسوبات رودخانه‌ای، این احتمال وجود دارد که همه دانه‌ها سیگنال درخشایی خود را به‌طور کامل از دست نداده باشند. به عبارت دیگر، برخی دانه‌ها کل سیگنال درخشایی را از دست داده و کاملاً صفر شده‌اند و برخی بخشی از سیگنال درخشایی خود را از دست داده‌اند. دانه‌هایی که سیگنال درخشایی خود را کلاً از دست داده‌اند، کمترین De و سن را نشان خواهند داد که به سن واقعی بسیار نزدیک‌تر است و سن سایر دانه‌ها بیش از سن واقعی خواهد بود. در صورتی که چنین حالتی صورت پذیرد، توزیع De پراکنده خواهد بود.

نتایج ICP-Mass دریافت و آنالیز کامل نمونه

جدول ۳. نتایج سن‌یابی نمونه N5.

| N5 | De(GY) | | Total | | Age | |
|-----------------|----------|------|---------|-----|------|------|
| | Weighted | ± | (Gy/ka) | ± | (ka) | ± |
| Weighted | 206.6 | 78.8 | 3.8 | 0.2 | 55.0 | 13.2 |
| Min | 90.5 | 4.8 | 3.8 | 0.2 | 24.1 | 1.9 |

از سوی دانشگاه اکسفورد انگلستان فراهم شد. از همکاری آقایانی که ما را در این سفر همراهی کردند، تشکر می‌کنیم. همچنین از توجه داوران محترم که با نظرات سازنده موجب ارتقای مقاله شدند، تشکر می‌کنیم.

منابع

آمبرسیز، ن. ن. و ملویل، ج. پ.، مترجم: ابوالحسن رده، ۱۳۷۰، تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران، انتشارات آگاه.

بربریان، م.، قرشی، م.، شجاع طاهری، ج. و طالبیان، م.، ۱۳۷۸، پژوهش و بررسی نوزمین ساخت و خطر

زمین‌لرزه-گسلش در گستره مشهد-نیشابور، سازمان

زمین‌شناسی کشور، کتاب شماره ۷۲.

شجاع طاهری، ج. و قرشی، م.، ۱۳۸۱، بررسی خطر

زمین‌لرزه-گسلش در گستره مشهد-نیشابور، مجله

علوم زمین سال یازدهم، شماره ۴۶-۴۵.

Aitken, M. J., 1998, An Introduction to Optical Dating, The dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence, Oxford University Press, Oxford, 267.

Berberian, M. and Yeats, R., 1999, Patterns of historical earthquake rupture in the Iranian Plateau, Bulletin of the Seismological Society of America, **89**, 120-139.

Fattahi, M., 2003, Recent Developments in the Techniques of Luminescence Dating, Iranian Ins. J. Sci. **4**(1), 57-72.

Fattahi, M. and Stokes, S., 2003, Dating volcanic and related sediments by luminescence methods: a review, Earth Science Reviews **62**(3-4), 229-264.

Fattahi, M., Walker, R., Hollingsworth, J., Bahroudi, A., Nazari, H., Talebian, M., Armitage, S. and Stokes, S., 2006, Holocene slip-rate on the Sabzevar thrust fault, NE Iran, determined using optically stimulated luminescence (OSL), Earth and Planetary Science Letters, **245**(3-4), 673-684.

Fattahi, M. and Walker, R., 2007, Luminescence dating of the last earthquake of the Sabzevar thrust fault, NE Iran, Quaternary Geochronology, **2**, 284-289.

Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M. and Bolourchi, M., 2006, Strike slip faulting rotation, and along-strike elongation in the Kopeh Dag mountains, NE

لذا ضروری است تا موارد فیزیکی، از جمله موضوع صفرشدگی (OSL, Resetting of OSL signal) مورد بررسی قرار گیرد.

درضمن ضروری است که مجدداً به محل مراجعه و از ارتفاعات گوناگون، به‌ویژه از لایه ۱ نمونه‌گیری شود.

همچنین، براساس چگونگی فعالیت این گسل (از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، بسیار جدید و همراه با زمین‌لرزه‌های تاریخی است)، انتظار می‌رود که نرخ لغزش مشابه گسل سبزووار (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶) یعنی ۱ میلی‌متر در سال باشد.

۷ نتیجه‌گیری

بررسی‌های اولیه گسل شمال نیشابور نشان داد که شیب گسل، 60° به سمت شمال است و در سطح یک پرتگاه کوچک به ارتفاع ۹۸ متر را تشکیل داده است. جابه‌جایی قائم گراول‌های لایه افقی، یعنی بالارفتگی سمت راست لایه نسبت به سمت چپ آن در امتداد گسل، نمایانگر آن است که این گسل فعال و از نوع تراست است.

سن حاصل از نتایج بررسی‌های اولیه به‌دست آمده به روش میانگین وزنی $42000-68000$ سال و با استفاده از روش حداقل سن $22200-26000$ برآورد شد. به‌کمک این سن میزان لغزش گسل با استفاده از روش میانگین وزنی $0/1-0/3$ میلی‌متر در سال و به روش حداقل سن $0/3-0/4$ میلی‌متر در سال، برآورد شد.

تشکر و قدردانی

بخشی از بودجه مسافرت نویسنده اول برای به انجام رساندن این تحقیق از محل طرح تحقیقاتی شماره ۶۲۰۱۰۰۲/۱/۰۲ دانشگاه تهران تامین شده است که بدین‌وسیله از گروه فیزیک زمین و شورای پژوهشی مؤسسه ژئوفیزیک، شورای پژوهشی و معاونت پژوهشی دانشگاه تهران قدردانی می‌شود. امکانات لجستیکی از سوی سازمان زمین‌شناسی و امکانات سن‌یابی OSL

Iran, Geophysical. J. International, **166**, 1161–1177.

Hollingsworth, J., 2010, Active Tectonics of NE Iran, Cambridge University PhD Thesis.

Khain, V. E. and Lobkovskiy, L. I., 1994, Relict seismicity in the Alpine belt of Eurasia, Mode of Occurrence, GEOTECTONICS. **28**(3).