

## استفاده از لومینسانس تحریک شده با نور در تعیین نرخ لغزش بخشی از گسل باتارهیاریهان در مغولستان (آسیای مرکزی)

حمیده امینی<sup>۱</sup> و مرتضی فتاحی<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۸/۲/۲۲، پذیرش نهایی: ۸۸/۱۲/۱۸)

### چکیده

لومینسانس نوری یکی از روش‌های مهم سن‌یابی مواد معدنی در عصر حاضر است. این روش آخرین حادثه نورخوردگی را سن‌یابی می‌کند. لذا در تحقیق زمین‌لرزه‌های دیرین و فعالیت‌های زمین‌ساختی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون مغولستان و ایران نقش کلیدی دارد. مغولستان دارای آب و هوای خشک است. رشته‌کوه آلتایی در غرب مغولستان قرار دارد. در جنوب شرقی این رشته‌کوه، توده رورانده باتارهیاریهان واقع است. با توجه به زمین‌ریخت‌شناسی جوان مغولستان و لرزه‌خیزی این منطقه، در اثر فشار ناشی از برخورد صفحه‌های هند- اوراسیا در بخش غربی مغولستان، محاسبه نرخ لغزش در راستای این رشته‌کوه، به منظور بررسی فعالیت زمین‌ساختی و تحلیل خطر لرزه‌ای ضروری است. در دو سمت توده رورانده باتارهیاریهان، دو حوضه فروافتاده وجود دارد. شواهد زمین‌ریخت‌شناسی گویای پیشروی آرام این توده به طرف این حوضه‌ها است. این حرکت به سمت جلو، به صورت بالآمدگی‌هایی که در اصطلاح محلی به آنها فوربرگ می‌گویند، قابل مشاهده است. برای به دست آوردن نرخ لغزش در این بالآمدگی‌ها، سه محل به‌منظور سن‌یابی و تعیین میزان بالآمدگی آنها انتخاب شد. مقادیر بالآمدگی به روش GPS اندازه‌گیری شد. سن نمونه‌ها با استفاده از لومینسانس تحریک‌شده با نور به روش هیستوگرام تعیین شد. میزان نرخ کوتاه‌شدگی قائم  $0/53 - 0/07$  میلی‌متر بر سال و میزان نرخ کوتاه‌شدگی افقی  $0/44 - 0/03$  میلی‌متر بر سال به دست آمد. با استفاده از مقادیر نرخ کوتاه‌شدگی، نرخ لغزش بین  $0/69 - 0/10$  میلی‌متر بر سال محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: باتارهیاریهان، لومینسانس تحریک‌شده با نور (OSL)، نرخ کوتاه‌شدگی، نرخ لغزش

## Applying optically stimulated luminescence to determine the slip rate of part of the Baatar Hyarhan fault in Mongolia (Central Asia)

Amini, H.<sup>1</sup> and Fattahi, M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 28 Feb 2009, Accepted: 9 March 2010)

### Abstract

Optically Stimulated Luminescence (OSL) is currently one of the most important dating methods. It dates the last exposure to sunlight. Natural hazard evidences such as colluvial wedges, alluvial and fluvial sediments can be dated by OSL. Therefore, OSL plays an important role in studies related to Paleoseismology and tectonic activity, particularly in arid and semi- arid regions. The Altai Mountains in western Mongolia are an arid zone. Baatar Hyarhan, a thrust- bounded massif, is situated in the south- eastern part of Altai. According to the geomorphology and seismicity of Mongolia, Altai is active and its activity is the response to the convergence between the Eurasian and Indian plates.

Therefore, slip rate estimation is essential for investigating the activity of this mountain. There are two basins in both margins of Baatar Hyarhan. Geomorphology markers implicate low progress of Baatar Hyarhan through these basins. Faulting has uplifted ridges of folded sediment, known locally as forebergs, close to the range- front. In this article, the slip rate of Baatar Hyarhan is calculated. The eastern Zereg Basin, North- East of Baatar Hyarhan and South- West of Baatar Hyarhan forebergs are the three areas considered for sampling. Scarp heights were estimated using differential GPS (Nissen et al. 2009). Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating was used to estimate the deposition age of these three areas. Equivalent dose (De) is measured by the analyst program and histogram method. The age at which this sediment was last exposed to light is determined by dividing the amount of radiation required to produce natural luminescence (known as the equivalent dose, De) by the dose rate. Vertical and horizontal displacement rates are determined by dividing the average of the offset by the age of each sample which are 0.07 - 0.53 mmyr<sup>-1</sup>, 0.03- 0.44 mmyr<sup>-1</sup>, respectively. The slip rate of 0.10-0.69 mmyr<sup>-1</sup> was calculated by employing shortening rates and approximate slope of each area .

**Key words:** Baatar Hyarhan, Optically Stimulated Luminescence (OSL), shortening rates, slip rate

## ۱ مقدمه

زمین لرزه وجود دارد و با توجه به زمین ریخت شناسی جوان و لرزه خیز بودن منطقه، محاسبه نرخ کوتاه شدگی و نرخ لغزش در راستای این رشته کوه ضروری است. دو پارامتر اساسی در تعیین نرخ لغزش عبارت اند از: ۱- میزان جابه جایی، ۲- مدت زمان کل جابه جایی.

در این منطقه، محیط خشک و نرخ فرسایش کم، از میلیون ها سال پیش حفظ شده است. شرایط محیطی این منطقه، موجب شده است تا اندازه گیری و تفسیر ساختارها با مشاهدات میدانی و ماهواره ای ساده تر شود و مناطق مناسب برای اندازه گیری جابه جایی و نمونه برداری به منظور سن یابی، راحت تر شناسایی شود. مقادیر بالا آمدگی به کمک GPS و مدت زمان ایجاد این جابه جایی نیز، با استفاده از روش لومینسانس تحریک شده با نور (Optical Stimulation Luminescence:OSL) اندازه گیری می شود. در این بررسی به منظور تعیین سن، از سه محل، در توده باتار هیارهان، در بخش جنوب شرقی رشته کوه آلتایی نمونه برداری شد.

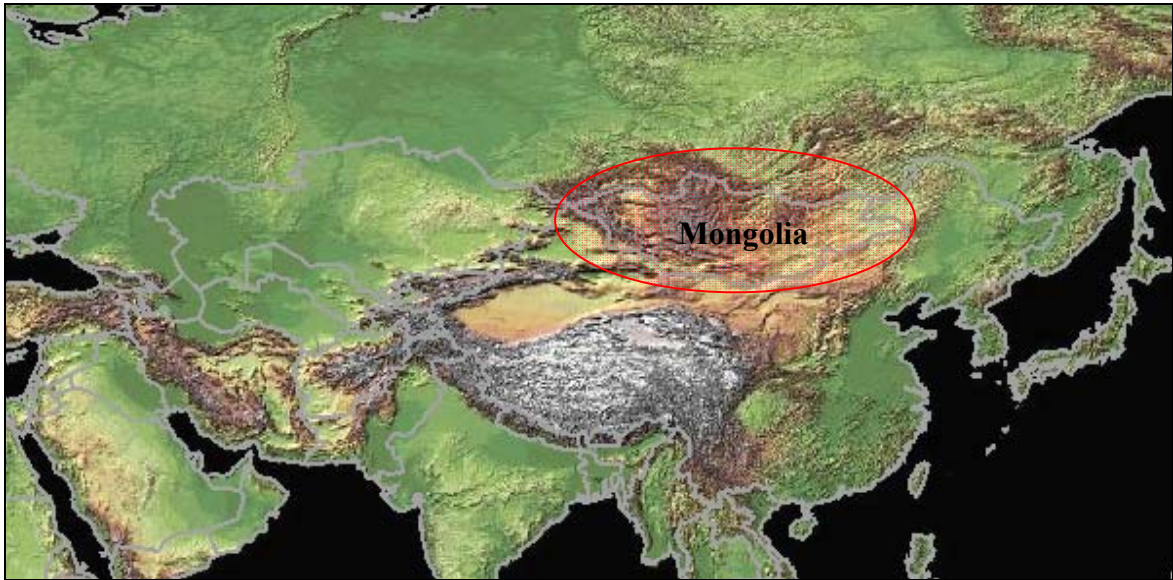
در این مقاله، ابتدا مروری بر زمین شناسی و لرزه خیزی

کشور مغولستان (Mongolia) در شمال آسیا، بین چین و روسیه و در موقعیت تقریبی 105°00' E, 46°00' N واقع شده است (شکل ۱). رشته کوه آلتایی در غرب- جنوب غرب مغولستان و همسایگی چین، روسیه و قزاقستان قرار دارد. در جنوب شرقی رشته کوه آلتایی، توده ای رورانده با روند شمال غرب- جنوب شرق به نام باتار هیارهان وجود دارد.

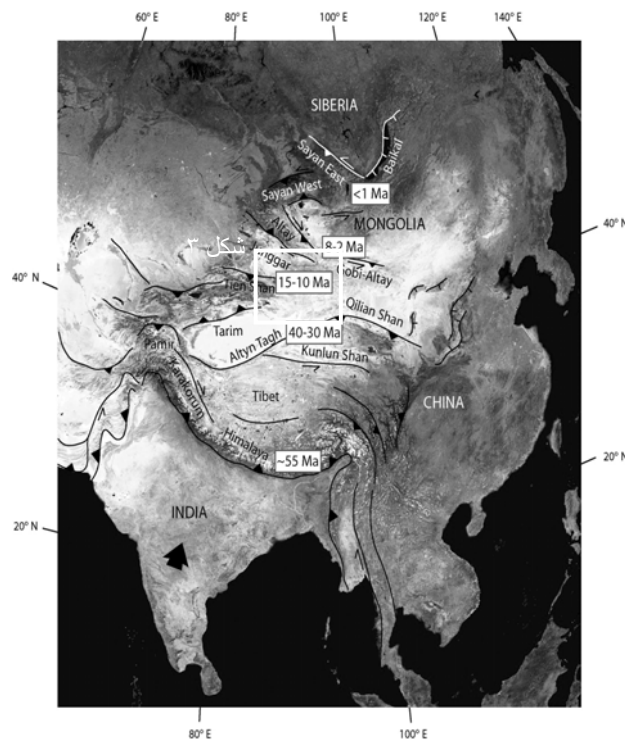
از دیدگاه زمین شناسی، تغییر شکل سنوزوییک مغولستان نسبت به نواحی جنوبی آن همانند هیمالیا، تین شان و تبت (Tibet) جدیدتر است (واسلو و همکاران، ۲۰۰۷) (شکل ۲). شواهد نشان دهنده زمین ریخت شناسی جوان این بخش از مغولستان است که تحت تأثیر همگرایی دو صفحه هند- اوراسیا قرار دارد (بایاسقلان و همکاران، ۲۰۰۵؛ هووارد و همکاران، ۲۰۰۳ و واسلو و همکاران، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷). فشار ناشی از این برخورد، در رشته کوه های غربی می تواند دلیلی بر لرزه خیز بودن این منطقه نسبت به مناطق اطراف آن باشد. بنابراین در همه بخش های نزدیک این توده، مخصوصاً، شهر مَنهان و زَرگ، احتمال خطر

دُر معادل دُر طبیعی و سن یابی، نرخ کوتاه شدگی و نرخ لغزش هر یک از محلها توضیح داده می شود.

منطقه صورت می گیرد. پس از شرحی کوتاه بر اصول سن یابی OSL و چگونگی نمونه برداری از هر محل، با بیان موقعیت زمین شناسی سه بخش انتخاب شده، نحوه محاسبه



شکل ۱. محدوده کشور مغولستان در نقشه توپوگرافی اوراسیا که با محدوده‌ای به شکل بیضی مشخص شده است (15-57°N, 30-140°E) (www. Seamless.usgs.gov).



شکل ۲. نقشه زمین ساختی ساده شده آسیای مرکزی؛ با حرکت به طرف شمال، تغییر شکل تراشارش سنوزوئیک دور از برخورد هیمالیا و سپر سیبری مشاهده می شود. رشته کوه آلتایی با کادری در شکل مشخص شده است (واسلو و همکاران، ۲۰۰۷).

## ۲ وضعیت لرزه‌خیزی و زمین‌شناسی

## ۱-۲ لرزه‌خیزی رشته‌کوه آلتایی










زمین‌لرزه‌های ثبت شده در منطقه باتارهیاریهان، در گزارش مرکز بین‌المللی زلزله (ISC)، زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیشتر از ۴، در محدوده توده باتارهیاریهان است (جدول ۱). سازوکارهای کانونی ثبت شده در رشته‌کوه آلتایی از سوی مرکز هاروارد (Harvard CMT)، در جدول ۲، آورده شده است.

رشته‌کوه آلتایی در غرب مغولستان، نسبت به آسیای پایدار به صورت پادساعتگرد در حال چرخش است (بایاسقلان و همکاران، ۲۰۰۵) در این رشته‌کوه، بیشتر زمین‌لرزه‌ها حاصل از گسل‌های راست‌الغز راست بر یا گسل‌های رورانده با روند تقریبی شرقی-غربی هستند. منطقه، مستعد زمین‌لرزه‌های بزرگ است؛ از جمله

جدول ۱. زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیش از ۴ در محدوده توده باتارهیاریهان (گزارش شده از سوی مرکز ISC) ( $46^{\circ}50' - 47^{\circ}65' N$  و  $92^{\circ}10' - 93^{\circ}50'$ ).

Date	Time	Lat	Long	Magnitude
3/4/1979	26:21.6	47.6316	92.5754	mb 4.5
8/8/1979	17:07.8	46.6618	92.9147	mb 4.4
6/14/1983	30:14.8	46.5258	93.4778	mb 4.6
5/14/1997	11:28.0	47.1016	93.0096	mb 4.1
11/6/1998	56:19.0	46.9357	93.2401	mb 4.1
8/30/2003	26:42.2	47.1602	92.1195	mb 4.1

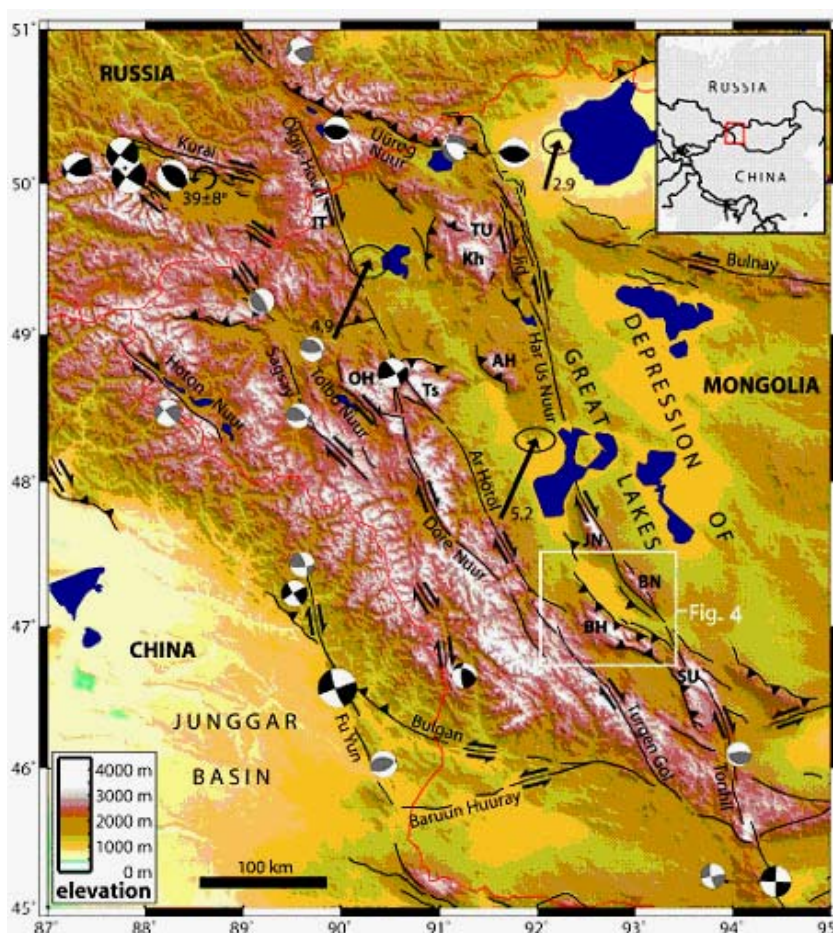
جدول ۲. سازوکارهای کانونی عرضه شده از سوی مرکز هاروارد در محدوده رشته‌کوه آلتایی ( $45^{\circ}00' - 51^{\circ}00' N$  و  $87^{\circ}00' - 95^{\circ}00' E$ ).

Date	Latitude(°N)	Longitude(°E)	Magnitude(Mb)	Focal Mechanism
1978/10/16	45.06	93.79	5	
1980/12/15	45.85	90.31	5.5	
1982/08/03	49.01	89.64	5.3	
1986/04/24	47.33	89.54	4.9	
1986/11/04	50.32	88.81	5.2	
1987/09/18	47.24	89.69	5.3	
1988/06/30	50.27	91.13	5	
1988/07/23	48.88	91.04	5.5	
1995/06/22	50.3	89.87	5.5	

۲-۲ گسلش در آلتایی

در تصاویر ماهواره‌ای الگوی به هم پیوسته واضحی از گسل‌های راست‌الغز راست بر فعال آلتایی، در راستای شمال-شمال غرب قابل مشاهده است. با استفاده از بردارهای لغزش زمین لرزه (بایاسقلان و همکاران، ۲۰۰۵) و اطلاعات دیرینه‌مغناطیس (توماس و همکاران، ۲۰۰۲) می‌توان کوتاه‌شدگی ناحیه‌ای را با توجه به حرکت پادساعت‌گرد، چرخش محورهای قائم گسل‌ها و قطعات شیارهای پوسته‌ای بین آنها به دست آورد (شکل ۳).

منطقه باتارهیاریان منطقه‌ای با محدوده طول جغرافیایی  $93^{\circ}50'E - 92^{\circ}10'E$  و عرض جغرافیایی  $46^{\circ}50'N - 47^{\circ}65'N$  است. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، در سال‌های اخیر در این منطقه زمین‌لرزه‌های بزرگ (بزرگ‌تر از ۵) رخ نداده است؛ با توجه به سازوکارهای کانونی آورده شده در جدول، علی‌رغم اهمیت گسلش رووانده در انطباق کوتاه‌شدگی در راستای رشته‌کوه آلتایی، گسلش راست‌الغز در زمین‌لرزه‌های اخیر، نقش مهمی ایفا می‌کنند.



شکل ۳. سازوکارهای کانونی زمین لرزه‌های با بزرگی ( $M_w \geq 5$ )، بردارهای GPS و گسل‌های فعال اصلی در رشته‌کوه آلتایی که در تصویر SRTM رسم شده‌اند. سازوکارهای رسم شده به رنگ مشکی بیانگر مدل زمین لرزه‌ها با شکل موج لرزه‌ای منطبق بر حرکت اولیه (بایاسقلان و همکاران، ۲۰۰۵) و سازوکارهای توسی رنگ، گزارش شده‌های مرکز Harvard CMT هستند. پیکان‌های سرعت GPS ( $mm\ yr^{-1}$ ) حرکت نسبت به صفحه اوراسیا را با ۹۵٪ اطمینان نشان می‌دهند. دایره‌های پیکان‌مانند نیز جهت حرکت پادساعت‌گرد در شمال غرب آلتایی را نشان می‌دهند. تعداد زیادی از توده‌های مرتفع در امتداد گسل‌های راست‌الغز بزرگ تعیین محل شده‌اند که معمولاً مؤلفه معکوس مهمی را نشان می‌دهند که از جمله آنها می‌توان بامبت نورا (BN) (Bumbat Nuruu) را نام برد و از جمله توده‌هایی که طی راندگی بالآمده‌اند می‌توان به باتارهیاریان (BH) اشاره کرد (نیسن و همکاران، ۲۰۰۹).



## ۳-۲ زمین‌ریخت‌شناسی باتارهیاریان و حوضه‌های اطراف آن

باتارهیاریان، توده‌ای با روند شمال غرب- جنوب شرق با حدود 100 km طول و بیش از 20 km پهنا، در جنوب شرقی کوه‌های آلتایی قرار دارد. بیشترین ارتفاع آن به 3984 m می‌رسد که بیشتر از 2 km مرتفع‌تر از حوضه زَرِگ بَسیِن (Zereg Basin) با ~1100 m ارتفاع در شمال شرق و حوضه تَسْتَسِگ (Testseg Basin) با ~1700 m ارتفاع، در جنوب است (شکل ۴). در جنوب شرقی زَرِگ بَسیِن، تعدادی فروافتادگی با روند شمال غرب- جنوب شرق وجود دارند، که به طور محلی با نام "فوربرگ (foreberg)" نام‌گذاری شده‌اند. این فوربرگ‌ها، رسوبات ترشیری و مزوزوئیک قدیمی را در معرض دید قرار می‌دهند (هووارد و همکاران، ۲۰۰۳). در جنوب شرقی زَرِگ بَسیِن دو دسته فوربرگ، یکی نزدیک رشته کوه بامبَت نورا در سمت شرقی فروافتادگی (شکل ۵) و یکی نزدیک خود باتارهیاریان در بخش جنوبی فروافتادگی (شکل ۶) وجود دارد (شکل ۳).

## ۳ اندازه‌گیری نرخ کوتاه‌شدگی و نرخ لغزش در امتداد توده باتارهیاریان

نرخ کوتاه‌شدگی در راستای باتارهیاریان در سه بخش گسل خورده بررسی می‌شود. مقدار جابه‌جایی با استفاده از اندازه‌گیری‌های صورت گرفته به روش GPS، را نیسن و همکاران (نیسن و همکاران، ۲۰۰۹) به دست آورده‌اند؛ و مدت زمانی که طول کشیده است تا جابه‌جایی‌ها صورت گیرد، با نمونه‌برداری از منطقه و استفاده از روش OSL اندازه‌گیری می‌شود.

### ۱-۳ نمونه‌برداری

در این تحقیق، برای برآورد سن نهشته‌ها، در سه منطقه، از رسوبات آبرفتی و سن‌یابی لومینسانس تحریک شده با نور استفاده شده است؛ زیرا این رسوبات، احتمالاً طی انتقال در معرض نور قرار گرفته‌اند و صفرشدگی مؤلفه نوری، در آنها رخ داده است، بنابراین می‌توانند در حکم ساعت لومینسانس اولیه برای نهشته‌ها به کار گرفته شوند.



شکل ۴. تصویر ماهواره‌ای کوچک برد توده رورانده باتارهیاریان و حوضه‌های اطراف آن (46°40' - 47°30' N, 92°15' - 93°30' E).





در این بخش بالا آمدگی جدید روراندگی شمال شرق، بادزن های آبرفتی کواترنری نهشته شده در دامنه رشته کوه بالارونده را قطع می کند (شکل ۴ و ۶). این بادزن ها اکنون متروکه شده اند و جریانات رودخانه های باتارهیاران در آنها قطع می شوند. یکی از بخش های واضح گسلش در طول این منطقه متعلق به جلوی رشته کوه در  $47^{\circ}02'30''$  E,  $92^{\circ}47'30''$  N است (شکل ۶-ج). در این منطقه برش طبیعی در نهشته های پادگانه دفن شده وجود نداشت، برای جمع آوری رسوبات ریزدانه (مناسب برای سن یابی OSL)، چاله ای به عمق تقریبی  $1\text{m}$  در سطح SZ1 حفر شد. دلیل انتخاب این موقعیت (E  $92^{\circ}47'35.4''$ , N  $47^{\circ}02'27.5''$ )، برای اجتناب از نمونه برداری از کانال رودخانه ای کوچک یا جریان های نخاله است که در آنها احتمال تعیین نشدن سن دقیق وجود دارد. رسوب رخنمون یافته در دیواره چاه ها از 1-5cm گراول های زاویه دار و چندین مجموعه آواری بزرگ با ماتریکس دانه درشت تشکیل شده است. در این مورد، مواد ریزدانه برای نمونه برداری از عمق حدود 50 cm جمع آوری شدند. این نمونه (BH)، بسیار دانه درشت بود و مناسب نمونه برداری با لوله نبود، چسبندگی کافی برای گرفتن نمونه به صورت بلوک را نیز نداشت. برای اطمینان از اینکه نمونه گیری در تاریکی کامل صورت می گیرد، چاله حفر شده برای نمونه گیری، با کرباس و پلاستیک پوشانده شد و کناره گودال، کمی تراشیده شد تا جایی که اطمینان حاصل شد که نمونه مشاهده شده، نورنخورده است. در ادامه، از آنجا که نمونه بسیار دانه درشت بود، با الک دانه درشت نمونه الک شد و دانه های بسیار درشت، جدا و دانه های کوچک تر رد شده از الک، برای عملیات آزمایشگاهی در داخل کیسه های ضد نور (که نمونه را از نورگیری حفظ می کنند) ریخته شدند.

برای آن که نمونه برداری در تاریکی کامل صورت گیرد و از قرارگرفتن تصادفی نمونه ها در معرض نور، جلوگیری شود؛ نمونه برداری در زیر پوششی از کرباس و پلاستیک به انجام رسید. برای اطمینان از نور نخوردن رسوبات داخل لوله و برای جلوگیری از حرکت رسوبات طی انتقال، دهانه لوله ها بسیار محکم بسته شد (به گونه ای که جداره لوله و پوشش نهایی آنها، همانند عایقی در برابر نور برای نمونه های داخل لوله هستند).

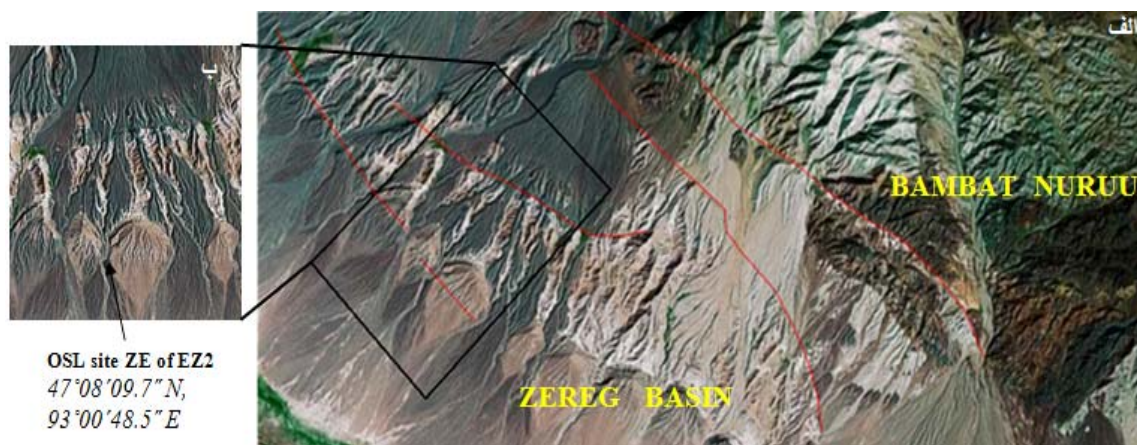
### ۳-۱-۱ فوربرگ های زرگ بیسین شرقی

زرگ بیسین شرقی شامل یکسری از ارتفاعات فوربرگ است که در رسوبات ترشیری و مزوزوئیک پس از حاشیه جنوب غربی کوه های بامبت نورا بالا آمده اند (شکل ۴ و ۵). کنگلومراهای آبرفتی و رودخانه ای کواترنری به صورت دگرشیبی با طبقات کرتاسه و ترشیری نهشته شده اند و امروزه به صورت بادزن های آبرفتی و پادگانه های رودخانه ای متروکه حفظ شده اند. در بخش مرکزی فوربرگ های منطقه شرق زرگ بیسین، سه سطح پادگانه ای مهم وجود دارد (می توان آنها را EZ3, EZ2, EZ1 نامید) که با توجه به افزایش سن و ارتفاع منطقه نام گذاری شده اند. از پادگانه EZ2 برای سن یابی لومینسانس تحریک شده با نور نمونه برداری شد. نمونه از ماسه ای به ضخامت 10 cm که در  $47^{\circ}08'09.7''$  N,  $93^{\circ}00'48.5''$  E برداشت شد (شکل ۵-ج). برای برداشت این نمونه (ZE)، سطح تازه لایه ماسه ای، تراشیده شد و پس از آن که از نور نخوردن رسوبات اطمینان حاصل شد، رسوبات در لوله های فلزی که یک سر آنها بسته بود، جمع آوری شد.

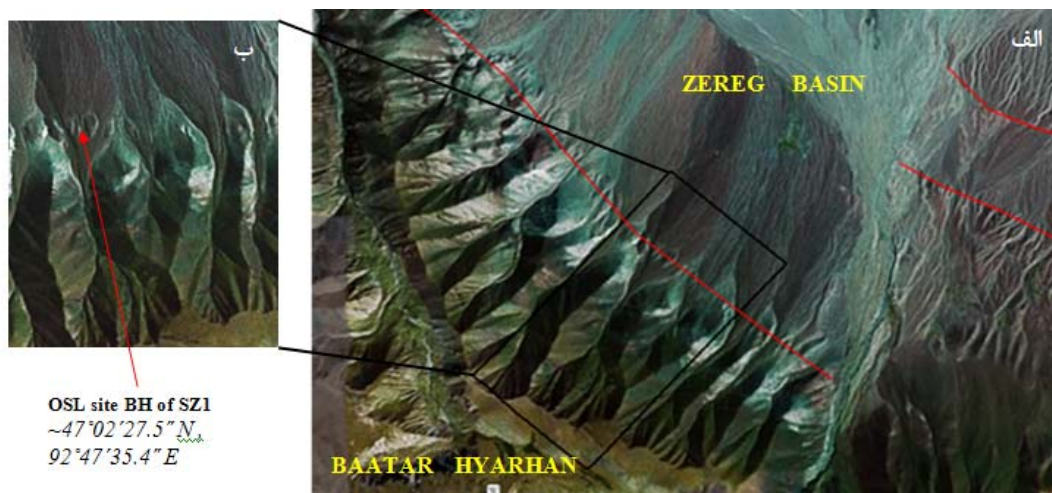
### ۳-۱-۲ شمال شرق گسل جلوی توده رورانده باتار

هیاران





شکل ۵. الف- تصویر کویک‌برد (با دقت ۶۰ سانتی‌متر) از فوربرگ های زرگ بیسین شرقی در امتداد حاشیه جنوب غربی که متعلق به بامبت نورا است (  $47^{\circ}05'$   $47^{\circ}11'N$ ,  $92^{\circ}55'$   $-93^{\circ}15' E$ ). ب- تصویر بخش مرکزی فوربرگ های زرگ بیسین شرقی (پادگانه EZ2) که در شکل (الف) در کادری نشان داده شده، و موقعیت محل برداشت نمونه برای تعیین سن در شکل مشخص شده است.

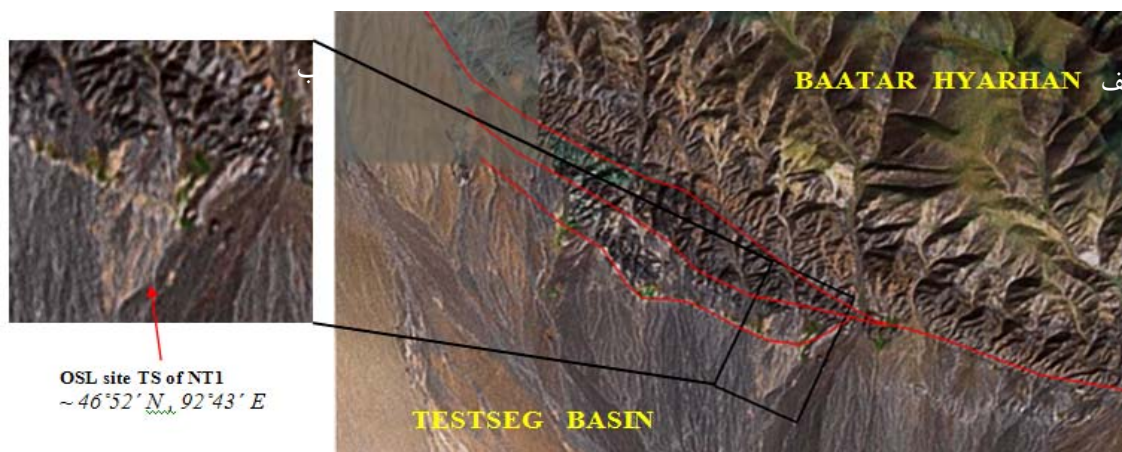


شکل ۶. الف- تصویر کویک‌برد (با دقت ۶۰ سانتی‌متر) در امتداد حاشیه شمال شرقی توده باتارهیاریهان (  $47^{\circ}00'$   $-47^{\circ}05'N$ ,  $92^{\circ}42'$   $-92^{\circ}53' E$ ). ب- تصویر کویک‌برد بالآمدگی رورانده در طول حاشیه شمال شرقی باتارهیاریهان (سطح SZ1)، که در کادر شکل (الف) نشان داده شده است. محل نمونه‌برداری برای سن یابی OSL با پیکان مشخص شده است.

عبور می‌کند. با تمرکز بر بادزن آبرفتی NT1 (غنی در گرانیت)، از یک لنز ماسه‌سنگی رخنمون یافته در این بادزن، برای سن‌سنجی لومینسانس تحریک‌شده با نور، نمونه‌برداری شد. به منظور برداشت نمونه (TS)، سطح تازه لایه ماسه‌ای، تراشیده شد و پس از آن که از نور نخوردن رسوبات اطمینان حاصل شد، رسوبات در لوله‌های فلزی که یک سر آنها بسته بود، جمع‌آوری شدند.

۳-۱-۳ جنوب غرب توده رورانده باتارهیاریهان منطقه مورد بررسی در این بخش، در حاشیه جنوب غربی توده رورانده باتارهیاریهان، در حوضه تستسگ قرار دارد. در این محل، بالآمدگی روراندگی جدید، بادزن‌های آبرفتی کواترنری را قطع می‌کند (شکل ۴ و ۷). در بادزن آبرفتی (با نام‌گذاری NT1)، در شمال غرب (تقریباً  $46^{\circ}52' N$ ,  $92^{\circ}43' E$ ) گسلش فعال از امتداد زمین‌های تپه‌ای بین حوضه‌های تستسگ و شهر مَنهان





شکل ۷. الف- تصویر کویک‌برد (با دقت ۶۰ سانتی‌متر) از گسلش در امتداد حاشیه جنوبی باتارهیارهان (E 92°49' - 92°40', N 46°53' - 46°50')؛ ب- تصویر کویک‌برد منطقه نمونه برداری بالآمدگی رورانده در امتداد حاشیه جنوب غرب باتارهیارهان، نزدیک حوضه تستسیگ. موقعیت دقیق محل نمونه‌برداری در شکل نشان داده شده است.

### ۳-۲ سن‌یابی نمونه‌ها

رسوبات دوره‌های متفاوت زمین‌شناسی، طی گذر زمان روی هم انباشته می‌شوند. مواد پرتوزای موجود در رسوبات، با گذشت زمان دچار واپاشی می‌شوند. تابش پرتوهای  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  حاصل از واپاشی مواد پرتوزایی مانند  $^{40}K$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{238}U$  و پرتوهای کیهانی، اتم‌ها را درون دانه‌های معدنی سیلیکاتی مانند کوارتز و فلدسپار (که در داخل رسوبات مدفون هستند) یونیزه می‌کنند. دانه‌های کوارتز و فلدسپار پتانسیل خوبی برای ذخیره‌سازی انرژی تابشی حاصل از واپاشی مواد پرتوزا دارند و از این رو، از آنها به عنوان دوزی‌متر (عناصر تعیین دوز جذبی) استفاده می‌کنند.

زمانی که رسوبات طی یک حادثه طبیعی همانند زلزله، سیل و آتشفشان در معرض نور قرار می‌گیرند، سیگنال لومینسانس موجود در آنها به‌طور کامل یا ناقص تحت تأثیر نور از بین می‌رود و از زمانی که رسوب در داخل زمین دفن می‌شود و دیگر نوری به آن نمی‌رسد، ذخیره‌سازی سیگنال‌های لومینسانس (طی واپاشی مواد پرتوزا موجود در رسوبات) در آنها مجدداً شروع می‌شود. در اثر یونش ناشی از تابش مواد پرتوزا، در کوارتز و فلدسپار،

الکترون‌هایی که در باند ظرفیت قرار دارند، از اتم‌ها جدا شده، به باند هدایت می‌روند و در باند ظرفیت حفره‌ای ایجاد می‌شود؛ لیکن در باند هدایت، در حالت پایدار قرار ندارد و از این رو به تراز پایین‌تر انرژی سقوط می‌کنند و به تله می‌افتند. با گذر زمان یونش اتم‌ها ادامه می‌یابد و به تعداد الکترون‌های داخل تله افزوده می‌شود. زمانی که رسوبات تحت تأثیر نور قرار می‌گیرند، نور باعث تحریک الکترون‌های به تله افتاده می‌شود و به آنها انرژی کافی برای رهایی داده می‌شود، الکترون‌ها از تراز انرژی به باند هدایت انتقال می‌یابند؛ اما الکترون‌ها و حفره‌ها در حالت پایدار نیستند و در ساده‌ترین فرضیه الکترون‌ها با حفره‌ها (فضای خالی ایجاد شده در اتم طی خروج الکترون) ترکیب مجدد می‌شوند و اختلاف انرژی به صورت فوتون تابیده می‌شود. نور حاصل لومینسانس نام دارد و به دلیل برانگیختگی نور حاصل با لومینسانس، آن را لومینسانس تحریک‌شده با نور (OSL) می‌گویند. بنابراین، با اندازه‌گیری لومینسانس طبیعی می‌توان زمان آخرین نورخوردگی ماده معدنی را تعیین کرد (فتاحی، ۲۰۰۳).

برای اندازه‌گیری فوتون‌های لومینسانس از فتومولتی‌پلایر استفاده می‌شود. در ساده‌ترین حالت فرض می‌شود که به

استفاده شد. سایر رسوبات داخل لوله که اطمینان از نور نخوردن آنها وجود دارد، برای تعیین دُز معادل مورد استفاده قرار گرفتند. در آزمایشگاه، سایش رسوبات با ملایمت صورت گرفت، و ذرات با اندازه‌های متفاوت از یکدیگر جدا شدند. ذرات با اندازه  $90-250 \mu\text{m}$  انتخاب شد و در ادامه، طی عملیات اسیدشویی و استفاده از دیگر خصوصیات مواد (چگالی، واکنش‌های شیمیایی و ویژگی‌های مغناطیسی) ذرات کوارتز و فلدسپار جدا شدند.

ذرات  $90-250 \mu\text{m}$  کوارتز همانند لایه‌ای روی دیسک‌هایی به قطر  $10 \text{ mm}$  با استفاده از اسپری سیلیکانی که همانند چسب عمل می‌کند نصب شدند. از هر نمونه به تعداد  $6-10$  عدد از این دیسک‌ها تهیه شد. دیسک‌های آماده شده در داخل دستگاه -Risø (Model TL/OSL) (DA-15) که دارای چشمه بتای  $90\text{Y}$  /  $90\text{Sr}$  ) ~  $5\text{Gymin-1}$ ، دیود لیزری IR ( $\lambda = 830 \text{ nm}$ )، آرایه دیود آبی ( $p = 24 \text{ mW cm}^{-2}$ ,  $\lambda = 470 \text{ nm}$ ) و  $\text{PMT}$  bialkaline است، قرار داده شدند و لومینسانس پس از عبور از فیلتر  $7 \text{ mm}$  Hoya U-340 ثبت شد. به نمونه‌های ذرات کوارتز (پس از خالص‌سازی) در آزمایشگاه نور مرئی تابانده شد. در اثر این تابش، الکترون‌های به تله افتاده در این دانه‌ها تحریک، و به صورت فوتون‌های نوری (لومینسانس) آزاد شدند.

### ۲-۲-۳ تعیین دُز معادل دُز طبیعی

برای تعیین دُز معادل دُز طبیعی، از مراحل تولید مجدد الیکوت منفرد (Single Aliquot Regeneration: SAR) استفاده شد که این روش را ماری و ویتل (ماری و ویتل، ۲۰۰۰) معرفی کرده‌اند. بدین منظور، دانه‌های کوارتز، با استفاده از افشانه سیلیکانی روی دیسکی فولادی یا آلومینیمی چسبانده می‌شود. مجموعه دانه‌های کوارتز قرار گرفته روی دیسک، الیکوت (Aliquot) نام گرفته‌اند.

ازای هر فوتون، یک الکترون از فوتوکاتد آزاد می‌شود. با اندازه‌گیری تعداد الکترون‌ها با دستگاه‌های الکترونیکی، تعداد فوتون‌ها اندازه‌گیری می‌شود که به آن سیگنال لومینسانس می‌گویند. بنابراین، هر گاه رسوبات تحت تأثیر نور قرار گیرند، میزان انرژی آزاد شده از آنها می‌تواند مدت زمان دفن آنها در داخل زمین را نشان دهد. شدت سیگنال لومینسانس طبیعی (N)، با انرژی تابشی جذب شده پس از دفن شدگی متناسب است؛ مقدار انرژی جذب شده (دُز طبیعی) با واحد  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$  بیان می‌شود.

برای اندازه‌گیری دُز طبیعی در آزمایشگاه، منحنی استاندارد تهیه می‌شود. از اندازه‌گیری‌های OSL به کمک منحنی استاندارد دُز معادل دُز طبیعی (Equivalent dose) (De) نمونه‌های لومینسانس به دست می‌آید. سپس نتایج اندازه‌گیری‌ها با برنامه‌های نرم افزاری آنالیز، و De محاسبه می‌شود.

برنامه آنالیست (Analyst)، یکی از برنامه‌هایی است که می‌تواند دُز معادل یا پالئودُز (Paleodose) را از داده‌های لومینسانس محاسبه کند و آن را به صورت منحنی رشد به دست دهد. منحنی رشد سیگنال لومینسانس برحسب دُز است و سیگنال آن می‌تواند لومینسانس تحریک‌شده با نور باشد. OSL با تعداد فوتون‌های آزاد شده (حاصل از انتگرال‌گیری منحنی واپاشی OSL در زمانی ثابت) بیان می‌شود. سن نمونه با تقسیم دُز معادل دُز طبیعی (Gy) به نرخ دُز دریافت شده طی دفن معمولاً یک هزار سال (Gy/Ka) به دست می‌آید.

### ۱-۲-۳ شرایط آزمایش

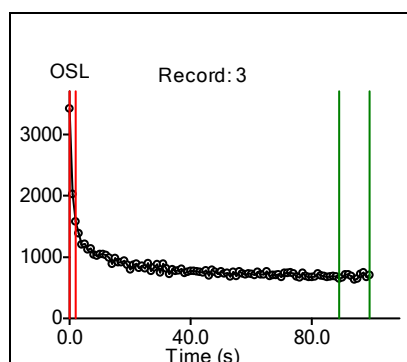
رسوبات به گونه‌ای که در معرض نور قرار نگیرند (در داخل پلاستیک‌های سیاه ضد نور)، جمع‌آوری و برای سنجایی به آزمایشگاه لومینسانس دانشگاه آکسفورد انتقال داده شدند. تحت نور سرخ، از سمت باز لوله‌ها  $2 \text{ cm}$  از رسوبات برداشته و برای اندازه‌گیری رطوبت و دُز سالانه

همان مقدار دُز آزمون آزمایشگاهی (که پس از اندازه گیری سیگنال طبیعی استفاده شده بود) به الیکوت‌ها داده می‌شود و باز، در هر بار مقدار سیگنال اندازه گیری می‌شود (سیگنال دُز آزمون تولید مجدد).

برای نرمال کردن داده‌ها، در هر مرحله مقدار سیگنال طبیعی یا تولید مجدد به مقدار سیگنال دُز آزمون (طبیعی یا تولید مجدد) به دست آمده پس از آن تقسیم می‌شود. مقادیر اندازه گیری شده را می‌توان به صورت یک منحنی رسم کرد که محور قائم آن مقدار نسبت سیگنال به دُز آزمایشگاهی (Lx/Tx) و محور افقی آن مقدار دُز داده شده بتا را نشان می‌دهد که به آن منحنی رشد می‌گویند. در شکل ۹، پیکان رسم شده، نمایانگر سیگنال طبیعی است که با یک خط افقی، منحنی رشد را قطع می‌کند و بدین وسیله دُز معادل دُز طبیعی آن، قابل محاسبه است. از این رو، مقدار دُز به دست آمده دُز معادل دُز طبیعی (Equivalent Dose :De) نامیده می‌شود؛ دلیل این نام گذاری آن است که در آزمایشگاه، منحنی استاندارد فقط با منبع تولید بتا ایجاد می‌شود، اما در طبیعت منابع گوناگون، پرتوهای  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  را ایجاد می‌کنند. لذا دانه کوارتز در طبیعت تحت انواع پرتوها قرار می‌گیرد ولی در آزمایشگاه فقط تحت پرتو بتا قرار داده می‌شود.

در مراحل تولید مجدد الیکوت منفرد، در کل روند شرح داده شده، فقط از یک الیکوت استفاده می‌شود و به همین دلیل به آن روش تک الیکوتی می‌گویند. از آنجا که همه مراحل صورت گرفته چندین بار تکرار می‌شود؛ به این معنا که ابتدا سیگنال طبیعی الیکوت خالی شده و در ادامه چند بار سیگنال لومینسانس الیکوت کوارتز با پرتو بتا پر و دوباره خالی می‌شود، آن را روش تولید مجدد (Regeneration) نامیده‌اند. از این رو، به طور کلی این روش را مراحل تولید مجدد الیکوت منفرد (Single Aliquot Regeneration: SAR) نامیده‌اند.

الیکوت تحت تابش نور قرار می‌گیرد؛ این نور باعث می‌شود تا ذرات کوارتز، تحریک شده و تولید سیگنال لومینسانس نمایند (شکل ۸). سیگنال لومینسانس، با فتومولتی پلایر تبدیل به الکترون و با دستگاه ثبت می‌شود. بیشترین مقدار لومینسانس در اولین لحظات تابیده می‌شود و سپس از شدت آن کاسته می‌شود تا آنکه بالاخره مقدار سیگنال به صفر می‌رسد، در این زمان است که دانه کوارتز از هر گونه سیگنالی خالی می‌شود. سیگنال تولید شده سیگنال طبیعی (Natural Signal) نام دارد.



شکل ۸. سیگنال لومینسانس طبیعی حاصل از یکی از ذرات کوارتز خالص سازی شده از منطقه مغولستان.

سپس به الیکوت، که اکنون خالی از انرژی است، مقداری دُز آزمایشگاهی داده می‌شود که آن را دُز آزمون (test dose) می‌نامیم (مقدار این دُز آزمایشگاهی تا انتهای کار ثابت در نظر گرفته می‌شود). این بار نیز سیگنال حاصل اندازه گیری می‌شود؛ به سیگنال حاصل از این دُز آزمایشگاهی، سیگنال دُز آزمون طبیعی (Natural Signal Test Dose) می‌گویند.

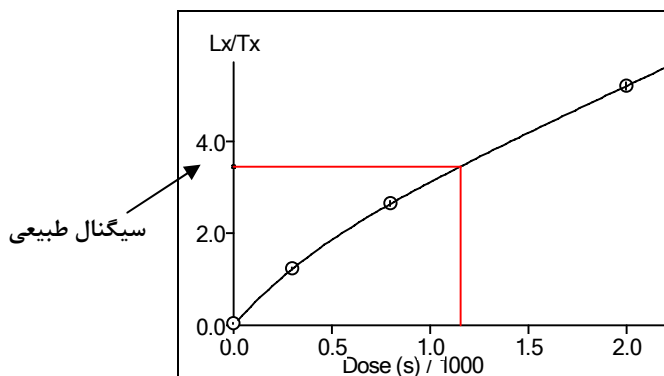
در ادامه، یک منحنی استاندارد تهیه می‌شود. برای رسم منحنی استاندارد، در سه مرحله، سه تابش بتا ( $\beta$ ) با اندازه‌های متفاوت، برای تولید مجدد سیگنال لومینسانس (سیگنال تولید مجدد)، به الیکوت خالی از انرژی داده می‌شود و هر بار مقدار سیگنال لومینسانس آن اندازه گیری می‌شود (جدول ۳). همچنین پس از هر اندازه گیری دوباره





جدول ۳. مراحل تولید مجدد برای نمونه‌های OSL. با در اختیار داشتن چهار دُز بازسازی (Regeneration Dose) ( $Lx, x=1,2,3,4$ ). تغییرات حساسیت داده‌های OSL بازسازی شده با تقسیم  $Lx$  به توالی پاسخ دُز آزمایشی ( $Tx, T=1, 2, 3, 4$ ) تصحیح می‌شود.

Step	Treatment	Observed
1	Give dose	-
2	Pre-heat(260°C for 10 s)	-
3	Simulation ( for 100 s at 125°C)	$Lx$
4	Give test dose	-
5	Pre- heat(220°C for 10 s)	-
6	Stimulation ( for 100 s at 125°C)	$Tx$
7	Return to step 1	-



شکل ۹. منحنی رشد به دست آمده حاصل از سه تابش بتا و تابش سیگنال طبیعی (خطوط افقی و قائم که منحنی را قطع کرده‌اند) که در حداصل سه نقطه به دست آمده است. این نمودار بیان‌کننده بهترین منحنی استاندارد برای این الیکوت کوارتز است.

### ۳-۲-۳ تعیین سن نمونه‌ها

پس از اندازه‌گیری با روش SAR، داده‌ها با برنامه آنالیزت تحلیل شد و برای به دست آوردن بهترین و سریع‌ترین نتایج، شرایط زیر در نظر گرفته شد:

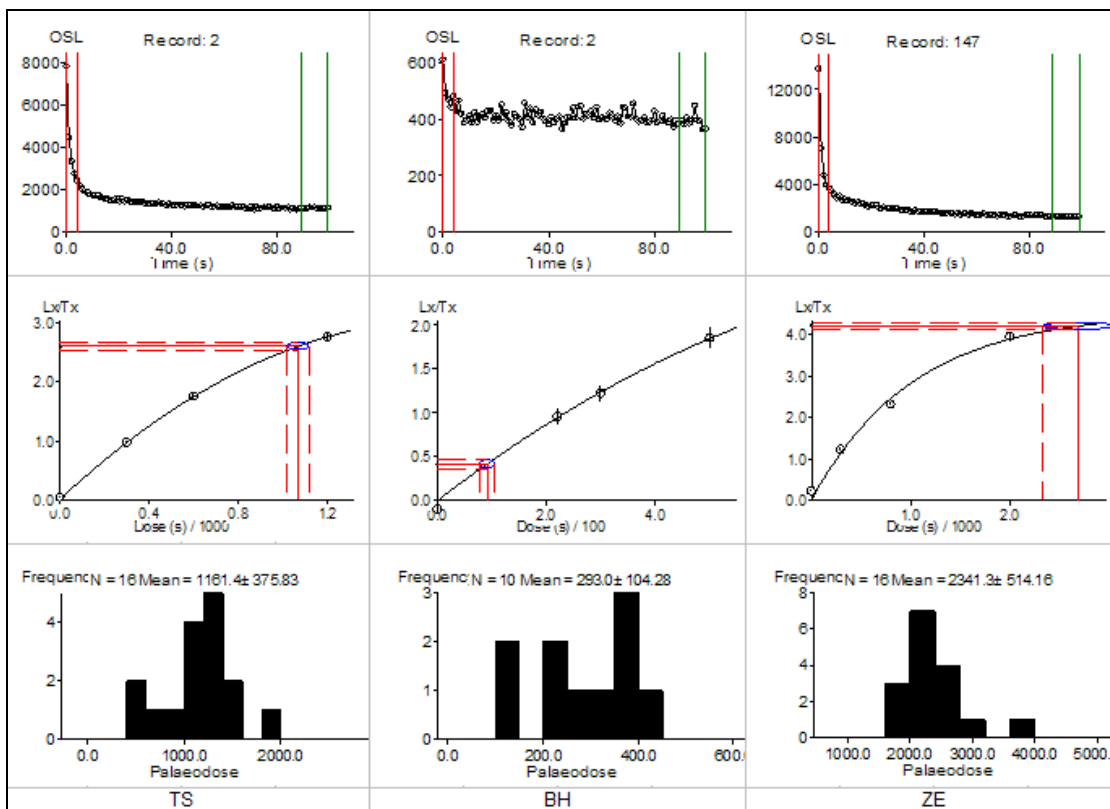
- محدوده سیگنال اصلی ۱-۳ ثانیه
- محدوده سیگنال زمینه ۹۰-۱۰۰ ثانیه
- الزام گذشتن منحنی استاندارد از مبدا مختصات
- خطا نشان داده شود

با توجه به اعمال شرایط بیان شده، سعی شد تا بهترین نتایج  $De$ ، برای سه نمونه BH, TS, ZE برداشت شده از منطقه باتاریخ‌ها در مغولستان محاسبه شود. در برنامه آنالیزت، با استفاده از سیگنال‌های لومینسانس طبیعی، هر نمونه (نمودارهای ردیف بالای شکل ۱۰)، برای هر الیکوت از هر نمونه یک منحنی استاندارد به دست آمد (منحنی‌های ردیف وسط شکل ۱۰). با استفاده از

منحنی‌های توزیع تجمعی هیستوگرام برای هر نمونه مقادیر  $De$  به دست آمد (منحنی‌های هیستوگرام ردیف انتهایی شکل ۱۰).

با توجه به نتایج حاصل از منحنی‌های هیستوگرام، مقدار  $De$  برای نمونه‌های ZE, TS, BH به ترتیب  $191/73 \pm 42/10$  و  $30/79 \pm 3/09$  و  $95/09 \pm 8/52$  و  $24/00 \pm 8/52$  گری (Gy) به دست آمد. به منظور اندازه‌گیری دُز سالانه، میزان اورانیم، توریم، پتاسیم با ICP اندازه‌گیری شد و با در نظر گرفتن ارتفاع نمونه، اثر پرتو کیهانی محاسبه شد. دُز سالانه با احتساب میزان رطوبت نمونه اندازه‌گیری و برای ZE, TS, BH به ترتیب  $2/24 \pm 0/15$  و  $3/23 \pm 0/16$  و  $1/60 \pm 0/14$  گری بر هزار سال (Gy/ka) محاسبه شد. با تقسیم دُز معادل به دُز سالانه، سن نمونه‌های ZE, TS, BH به ترتیب  $85/6 \pm 19/8$  و  $9/7 \pm 29/5$  و  $15/0 \pm 5/5$  هزار سال (Ka) برآورد شد.





شکل ۱۰. نتایج به دست آمده از برنامه آنالیز روی نمونه‌های مغولستان؛ ردیف بالا- منحنی نزولی سیگنال OSL، ردیف وسط- منحنی استاندارد، ردیف پایین- منحنی توزیع دُز نرمال به دست آمده به روش هیستوگرام.

#### ۴ نتیجه گیری

با تقسیم دُز معادل بر دُز سالانه، مقدار سن دفن (حفرشدگی) برای این نمونه‌ها به ترتیب  $۸۵/۶ \pm ۱۹/۸$  و  $۲۹/۵ \pm ۹/۷$  و  $۱۵/۰ \pm ۵/۵$  هزار سال تعیین شد (جدول ۵). این سن‌ها، با سن گزارش شده از تعدادی سطوح رخنمون یافته در کناره رشته کوه گوبی آلتایی در جنوب مغولستان مشابه است (واسلو و همکاران، ۲۰۰۵ و ریتز و همکاران، ۲۰۰۶).

با استفاده از مقادیر بالآآمدگی و شیب هر منطقه (نیسن و همکاران، ۲۰۰۹) که در جدول ۵ آورده شده است، برای نمونه‌های TS، BH، ZE نرخ کوتاه‌شدگی قائم و افقی، به ترتیب،  $۰/۵۳ - ۰/۰۷$  و  $۰/۴۴ - ۰/۰۳$  میلی‌متر بر سال محاسبه شد. با تقسیم میزان جابه‌جایی بر سن نرخ لغزشی بین  $۰/۶۹ - ۰/۱۰$  میلی‌متر بر سال برای این نمونه‌ها برآورد شد.

نمونه‌های OSL برداشت شده از منطقه باتارهیاریان در برنامه آنالیز مورد بررسی قرار گرفت. در برنامه آنالیز بر مبنای اندازه‌گیری با روش SAR داده‌های تجربی تحلیل و De هر الیکوت محاسبه شد. با استفاده از روش هیستوگرام دُز معادل دُز طبیعی هر نمونه به دست آمد (جدول ۴). اطلاعات سیگنال‌های نوری، منحنی‌های استاندارد و منحنی‌های توزیع تجمعی به دست آمده حاصل از نمونه‌های TS، BH، ZE در شکل ۱۰ آورده شده است. پراکندگی مقادیر De نشان می‌دهد که سیگنال لومینسانس کلیه دانه‌های نمونه‌ها، قبل از دفن صفر نشده است، لذا سن‌های به دست آمده می‌تواند قدیمی‌تر از سن‌های واقعی باشد (شکل ۱۰).



جدول ۴. مقادیر به کار رفته برای محاسبه سن لومینسانس برای سه سطح بادزن. خطاها همگی ۱۵ هستند. نمونه ZE از فوربرگ های زرگ بیسین (سطح EZ2)، BH از شمال جلوی رشته کوه باتارهیاریان (سطح SZ1) و TS از جنوب جلوی رشته کوه باتارهیاریان (سطح NT1) گرفته شده اند.

Sample	De (Gy)	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Cosmic dose rate (Gy/ka)	Total dose rate (Gy/ka)
BH	24.00 ± 8.52	1.045 ± 0.028	0.7 ± 0.052	2 ± 0.168	0.284 ± 0.135	1.60 ± 0.14
TS	95.09 ± 30.79	1.909 ± 0.028	2.1 ± 0.052	8.4 ± 0.168	0.288 ± 0.135	3.23 ± 0.16
ZE	191.73 ± 42.10	1.519 ± 0.028	1.4 ± 0.052	3.6 ± 0.168	0.181 ± 0.135	2.24 ± 0.15

جدول ۵. خلاصه نرخ جابه جایی قائم گسل برای چهار روراندگی در رشته کوه آلتایی بالآمدگی، بالآمدگی قائم بادزن آبرفتی در راستای گسل و سن، سن لومینسانس این سطوح (با خطای ۱) است.

Sample	Fault name	Fault dip <sup>1</sup>	Offset <sup>2</sup> (m)	Age (ka)	Displacement rate (mmyr <sup>-1</sup> )		
					vertical	Horizonral	slip-rate
BH	NE BH range-front	70°	5.0	15.0 ± 5.5	0.33 <sup>+0.53</sup> <sub>-0.24</sub>	0.19 <sup>+0.44</sup> <sub>-0.09</sub>	0.38 <sup>+0.69</sup> <sub>-0.26</sub>
TS	SW BH range-front	32°	2.9	29.5 ± 9.7	0.10 <sup>+0.15</sup> <sub>-0.07</sub>	0.12 <sup>+0.23</sup> <sub>-0.07</sub>	0.16 <sup>+0.28</sup> <sub>-0.10</sub>
ZE	E Zereg(SW)	60°	20.5	85.6 ± 19.8	0.24 <sup>+0.31</sup> <sub>-0.19</sub>	0.09 <sup>+0.18</sup> <sub>-0.03</sub>	0.26 <sup>+0.36</sup> <sub>-0.20</sub>

45-72.

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.

Nissen, E., Walker, R., Molor, E., Fattahi, M. and Bayasgalan, A., 2009, Published online. Late Quaternary rates of uplift and shortening at Baatar Hyarhan—implications for mountain building in the Mongolian Altai. *Geophys. J. Int.* **177**, 259-278.

Ritz, J. F., Vassallo, R., Braucher, R., Brown, E. T., Carretier, S. and Bourlès, D. L., 2006, Using in situ-produced <sup>10</sup>Be to quantify active tectonics in the Gurvan Bogd mountain range (Gobi-Altay, Mongolia). *Geological Society of America Special Paper* 415.

Thomas, J. C., Lanza, R., Kazansky, A., Zykina, V., Semakov, N., Mitrokhin, D. and Delvaux, D., 2002, Paleomagnetic study of Cenozoic sediments from the Zaisan basin (SE Kazakhstan) and the Chuya depression (Siberian Altai): tectonic implications for central Asia. *Tectonophysics*, **351**, 119-137.

Vassallo, R., Ritz, J. F., Braucher, R. and Carretier, S., 2005, Dating faulted alluvial fans with cosmogenic <sup>10</sup>Be in the Gurvan Bogd mountain range (Gobi-Altay, Mongolia): climatic and tectonic implications. *Terra Nova*, **17**, 278-285.

Vassallo, R., Jolivet, M., Ritz, J. F., Braucher, R., Larroque, C., Sue, C., Todbileg & M.,

1,2. مقادیر به دست آمده از GPS اندازه گیری شده

است.

#### تشکر و قدردانی

از دکتر ادوین نیسن و ریچارد واکر که اطلاعات اندازه گیری GPS را در اختیار قرار دادند و داوران محترم که با نظرات ارزشمند خود موجب ارتقاء مقاله شدند، تشکر می شود.

#### منابع

- Bayasgalan, A., Jackson, J. and McKenzie, D., 2005, Lithosphere rheology and active tectonics in Mongolia: relations between earthquake source parameters, gravity and GPS measurements. *Geophys. J. Int.* **163**, 1151-1179 doi: 10.1111/j.1365-246X.2005.02764.x
- Fattahi, M., 2003, Recent Developments in the Techniques of Luminescence Dating. *Iranian Int. J. Sci.* **4**(1), P. 57-72
- Howard, J. P., Cunningham, W. D., Davies, S. J., Dijkstra, A. H. and Badarch, G., 2003, The stratigraphic and structural evolution of the dzereg basin, western mongolia: clastic sedimentation, transpressional faulting and basin destruction in an intraplate, intracontinental setting. *Basin. Res.*, **15**(1),

Javkhlanbold, D., 2007, Uplift age and rates of the Gurvan Bogd system (Gobi-Altay) by apatite fission track analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, **259**, 333–346.