

## اثر دُز پرتوزا و لیزر فروسرخ بر الیکوت‌های کناری در هنگام اندازه‌گیری سن نمونه‌های گلباف به روش رخشانی پس از فروسرخ

مرتضی فتاحی<sup>۱\*</sup>، نینا عطایی<sup>۲</sup> و نسرین کریمی موید<sup>۲</sup>

استادیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران  
دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۹/۲۲، پذیرش نهایی: ۹۲/۷/۱۶)

### چکیده

مقاله پیش رو عرضه کننده قسمتی از تحقیقاتی است که به منظور اندازه‌گیری سن نمونه‌های برداشت شده از دریاچه قدیم گلباف صورت گرفته است و می‌توان به کمک آنها سن فعال بودن آن دریاچه و فعالیت گسل گوک را برآورد کرد. به منظور اندازه‌گیری سن نمونه‌ها به روش رخشانی (لومینسانس) تحریک شده با نور، به دو پارامتر دُز معادل دُز طبیعی و دُز سالانه نیاز است. برای اندازه‌گیری دُز معادل از روش سار استفاده شد. در ابتدا توانایی این روش در بازیابی دُز مشخصی که در آزمایشگاه به نمونه داده شد بررسی شد. در هنگام بازیابی دُز مشخص آزمایشگاهی، میزان به‌دست آمده حدود ۲۰٪ بیش از دُز اعمال شده در آزمایشگاه بود. موضوع تحت تحقیق قرار گرفت. عوامل روش‌شناختی برای تعیین دُز معادل، فرایندهای فیزیکی موثر بر سیگنال رخشانی و موارد فنی مورد بررسی دقیق قرار گرفت. توانایی روش سار در اندازه‌گیری و تصحیح تغییر حساسیت در اثر دُز و گرما و نور بررسی شد. میزان سیگنال رخشانی در نخستین اندازه‌گیری، حدود ۴۰٪ بیش از سیگنال سایر اندازه‌گیری‌های بررسی تغییر حساسیت بود. این پدیده غیرقابل انتظار و نامانوس بود. لذا آزمایش‌هایی طراحی و موارد پیش‌گفته مورد تفحص قرار گرفت. این مقاله به توضیح کامل این تحقیق می‌پردازد و نشان می‌دهد پس از بررسی‌های گوناگون متوجه شدیم که موارد پیش‌گفته چگونه در اثر اعمال دُز پرتوزا و لیزر فروسرخ بر الیکوت‌های کناری اثر گذاشته است؛ یعنی الیکوت مورد نظر، ناخواسته تحت‌تأثیر دُز و نور قرار گرفته است. با قرار دادن دو در میان الیکوت‌ها این پدیده غیر متعارف حذف شد و روش سار با موفقیت توانست دُز مشخص آزمایشگاهی را بازیابی کند.

واژه‌های کلیدی: الیکوت‌های کناری، بازیابی دُز، روش سار

## The effect of radioactive dose and infrared laser on adjacent aliquots while dating Golbaf samples based on [POST-IR] OSL method

Fattahi, M.<sup>1</sup>, Ataei, N.<sup>2</sup> and Karimi Moayed, N.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>M.Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 12Dec 2012, Accepted: 08Oct 2013)

### Summary

Gowk fault which is located west of the Lut-block east of Iran is one of the main and active structures in the region. To estimate the activity of this fault, we need to calculate its' slip rate. The South part of the Gowk fault passes through the Golbaf Lake and has displaced the rivers which have cut the lake. The displacement is around 30 meters and if we can find the time of displacement we can then calculate the slip rate. One of the most useful methods to date the Quaternary sediments directly, is Luminescence dating. This method has been widely used and the range of materials that can be dated, using different

procedures of luminescence dating, is being developed. In this paper, we are presenting part of the research which was done to sort out the problems that we had for dating the samples that were collected from the Golbaf lake. To measure the age of the samples, two parameters are needed; the equivalent dose and the dose rate. To determine the equivalent dose, the single aliquot regenerative dose (SAR) protocol was used. In this method, after measuring the natural signal, the sample is exposed to different known doses in the laboratory and the related luminescence signal is measured. Then, a standard growth curve is built, which the equivalent dose can be calculated from.

To examine the suitability of the SAR protocol in dating the collected samples, the capability of this method in order to recover a known laboratory dose was investigated. We confronted some unexpected results while recovering the dose because the determined dose overestimated the certain given dose in the laboratory by around 20 percent. Three possible reasons were considered: methodological factors which can influence the determination of the equivalent dose, physical processes affecting the luminescence signal and technological factors (the measurement device). The first two reasons were assessed experimentally (according to tables 1 and 2). Thirty aliquots were built from the GB3 feldspar sample and the Risoe automated TL/OSL DA-15 reader was employed for all experiments. The first 15 aliquots were used for determinations according to the left column in table 1 (the cut heat is fixed). The natural signal was depleted and after 10 hours gap, the signal was measured again (Figure 1). Then, all samples were exposed to 26 Gy dose (assuming as the natural dose), the procedure in the left hand side of table 1 was followed to test the capability of SAR in recovering this dose. In table 1,  $L_x$  shows  $L_n$  (natural luminescence signal) and  $L_R$  (regenerative luminescence signal) and  $T_x$  shows  $T_n$  (natural test dose signal) and  $T_R$  (regenerative test dose signal). The results in figure 2 demonstrate that, the recovered dose is more than the given dose by approximately 20% (about 30 Gy). After that, the same procedure was followed for the next 15 aliquots according to the right column of table 1, but with equal preheat and cut heat. The results are shown in figure 3 which is the same as figure 2. We then repeated one stage of the SAR protocol five times for each aliquot using a fixed dose and expected that the results for all to be similar. This stage was completed according to table 2 for four aliquots. The results are shown in figures 4, 5 and 6. As is shown in figure 4, the first signal consists of more photons in comparison with the other signals. Figure 5 shows the regenerative dose and the test dose curves for the four aliquots in five cycles. As is clear in the diagram, the first point of the regenerative dose curve for all the four aliquots are more than the other points in the curve, for both IR and Post-IR methods. Figure 6 shows the  $L_x/T_x$  ratio. It can be explicitly seen that the first stage is 40% more than other stages. As all the luminescence signals following the test doses ( $T_x$ ) are almost similar, this 40% difference cannot be due to sensitivity change.

The above experiments show that electron exchange from heat-sensitive traps to light-sensitive ones because of the preheat effect cannot be the reason for the dose recovery overestimate, since both IRSL and OSL signals measured 10 hours after natural measurements, are negligible in compare to natural signals. Electron exchange from the light-sensitive traps to the heat-sensitive ones due to laser light and subsequently in the opposite pattern cannot be a possible reason since all the standard growth curves pass through the origin (figure 7). Incomplete evacuation of the electrons because of inadequate intensity and time of the laser beam is not responsible for the dose recovery overestimate because laser beam has been similar for all the stages through the experiments. Inability of the SAR protocol to correct the sensitivity according to heat, dose and light is not the case since the SAR method has provided almost similar result for the last four stage of figure 6.

As the methodological and physical factors could not be the reason for overestimating the recovered dose in the laboratory, we focused on the third factor, technology. Although the device (TL/OSL DA-15 reader) is claimed to be complete and without any defect, some reports of its failure has been presented. The effect of the dose and light on adjacent aliquots as reported by Bray et. al (2002), was found to be responsible for dose overestimation. This is because of the packed arrangement of aliquots on a disk. Since we wanted to investigate and eliminate the possible effect of the radioactive dose and the laser beam on adjacent aliquots, we decided to rearrange the aliquots. So the same procedure presented in tables 1 and 2 was followed for aliquots 1, 4, 7, 10 and 13. The results have been shown in figures 10 and 11. Figure 10 shows the result of repeating a cycle for these aliquots. This figure demonstrates that there was not much sensitivity change for the sample in this case. Figure 11 shows that the SAR method was capable of recovering the dose properly at different temperatures, but 2400 and 2800 are the most suitable temperatures in this case.

So the problem was solved by putting the aliquots in every two other positions, and the SAR protocol could recover the given dose properly. We repeated this procedure by setting the aliquots in every other position too and the results were the same. Based on above result we put the natural aliquots in every other position and determined the age of the GB3 sample. This procedure provided an age of 4100 years for this sample. Similar approach was considered for calculating the age of other samples from the same site. Detailed information about the process of dating and the slip rate of Gowk fault could be found in the paper 'Determination of the slip rate on the Gowk fault' by Fattahi et al. (submitted).

**Keywords:** Adjacent aliquots, Recovery dose, SAR method

## ۱ مقدمه

جابه‌جا شده‌اند یافت شود، نرخ لغزش به راحتی محاسبه می‌شود. به منظور تعیین سن از روش رخشانی استفاده شد. رخشانی تحریک شده نوری از پرکاربردترین روش‌های سن‌یابی رسوبات کواترنری محسوب می‌شود. طی ده سال گذشته پیشرفت‌های سریعی در این زمینه صورت گرفته، و گستره موادی که امروزه می‌توان با این روش سن‌یابی کرد نسبت به گذشته وسعت یافته است (وینتل، ۲۰۰۸؛ دالر، ۲۰۱۲). لذا به منظور سن‌یابی زمان فعالیت دریاچه گلباف و تعیین نرخ لغزش گسل مخرب گوک از این روش استفاده شد. برای سن‌یابی به روش رخشانی نمونه‌های برداشت شده از گلباف، نیاز به دو پارامتر دُز معادل دُز طبیعی ( $D_e$ )، و دُز سالانه است (آیتکن، ۱۹۹۸؛ فتاحی و همکاران، ۲۰۰۶-۲۰۰۷).  $Fvhd$  اندازه‌گیری دُز معادل ( $D_e$ )، روش‌های گوناگونی

گسل گوک (با طول کلی بیش از ۱۵۰ کیلومتر) در حاشیه غربی بلوک لوت در شرق ایران (واقع در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی ایران شرق- مرکزی) قرار دارد و بخشی از سامانه گسلی امتداد لغز راست‌گرد نایبند-گوک-سبزوآران است که از انتهای جنوبی گسل نایبند در بخش شمالی تا رشته‌کوه‌های جبال بارز در قسمت جنوبی امتداد می‌یابد (واکر و همکاران، ۲۰۱۰). با توجه به نبود فعالیت بخش جنوبی گسل گوک در سال‌های اخیر و احتمال وقوع زلزله‌ای مخرب همچون زلزله بم در سال ۲۰۰۳، بررسی نرخ لغزش گسل گوک اهمیت ویژه‌ای دارد. قسمت جنوبی این گسل از دریاچه قدیم گلباف می‌گذرد و موجب جابه‌جایی (حدود ۳۰ متر) رودخانه‌های شده که رسوبات دریاچه‌ای را بریده است. چنانچه سن جوان‌ترین رسوبات که با گسله

وجود دارد. مرسوم‌ترین روش استفاده از روش تک الیکوتی تولید مجدد مشهور به روش سار (Single Aliquot Regeneration Method) (مری و وینتل، ۲۰۰۰) است. در این روش پس از اندازه‌گیری سیگنال رخشانی طبیعی، نمونه را تحت دُزهای مشخص در آزمایشگاه قرار می‌دهیم و سپس سیگنال رخشانی ناشی از آنها را اندازه‌گیری می‌کنیم. با استفاده از دُزهای داده شده و سیگنال اندازه‌گیری شده ناشی از آن دُزها، منحنی استاندارد ساخت می‌شود و به کمک آن، دُز معادل دُز طبیعی به دست می‌آید. معمول است که ابتدا توانایی این روش در بازیابی دُز مشخص اثبات و سپس از آن برای اندازه‌گیری دُز معادل استفاده شود. متأسفانه در مورد نمونه گلباف این روش، دُزی بیش از دُز مشخص را برآورد کرد. با بررسی علت‌ها به سه عامل اصلی برخوردیم: روش شناختی (مناسب بودن روش سار)، فیزیکی (فرایند تولید رخشانیبا استفاده از نمونه) و فنی (دستگاه اندازه‌گیری و نحوه استفاده از آن). لازم به ذکر است که ناتوان بودن سار در بازیابی دُز تاز سوی دیگر محققان نیز گزارش شده است (والینگات و همکاران، ۲۰۰۰؛ ریچتر و همکاران، ۲۰۰۹). در این تحقیق ابتدا آزمایش‌های صورت گرفته به منظور بررسی عوامل روش‌شناختی و فیزیکی عرضه خواهد شد. سپس به بحث و بررسی نتایج آنها خواهیم پرداخت. پس از آن فناوری مورد استفاده در اندازه‌گیری دُز معادل و احتمال خطای آن در برآورد ناصحیح دُز را مورد تفحص قرار خواهیم داد. در پایان راهکارهایی به منظور رفع این مشکل (برآورد صحیح دُز معین توسط روش سار) عرضه خواهد شد.

## ۲ شرح آزمایش‌ها

چنانچه روش سار در یافتن  $D_e$  توانمند باشد، باید بتواند یک دُز مشخص آزمایشگاهی را نیز بازیابی کند.

به عبارت دیگر بازیابی یک دُز مشخص، شرط لازم برای اثبات توانایی سار در اندازه‌گیری  $D_e$  است. روند کلی اندازه‌گیری دُز معادل با استفاده از روش سار و همچنین یک چرخه از این روش در شکل ۱ نشان داده شده است. به این منظور ۳۰ الیکوت (هر الیکوت یک دیسک به قطر حدود یک سانتی‌متر است که ۱ تا ۲۰۰۰ دانه روی آن قرار می‌گیرد) از نمونه فلدسپار GB3 (واقع در عمق ۰/۵۵ متر از سطح) ساخته شد.

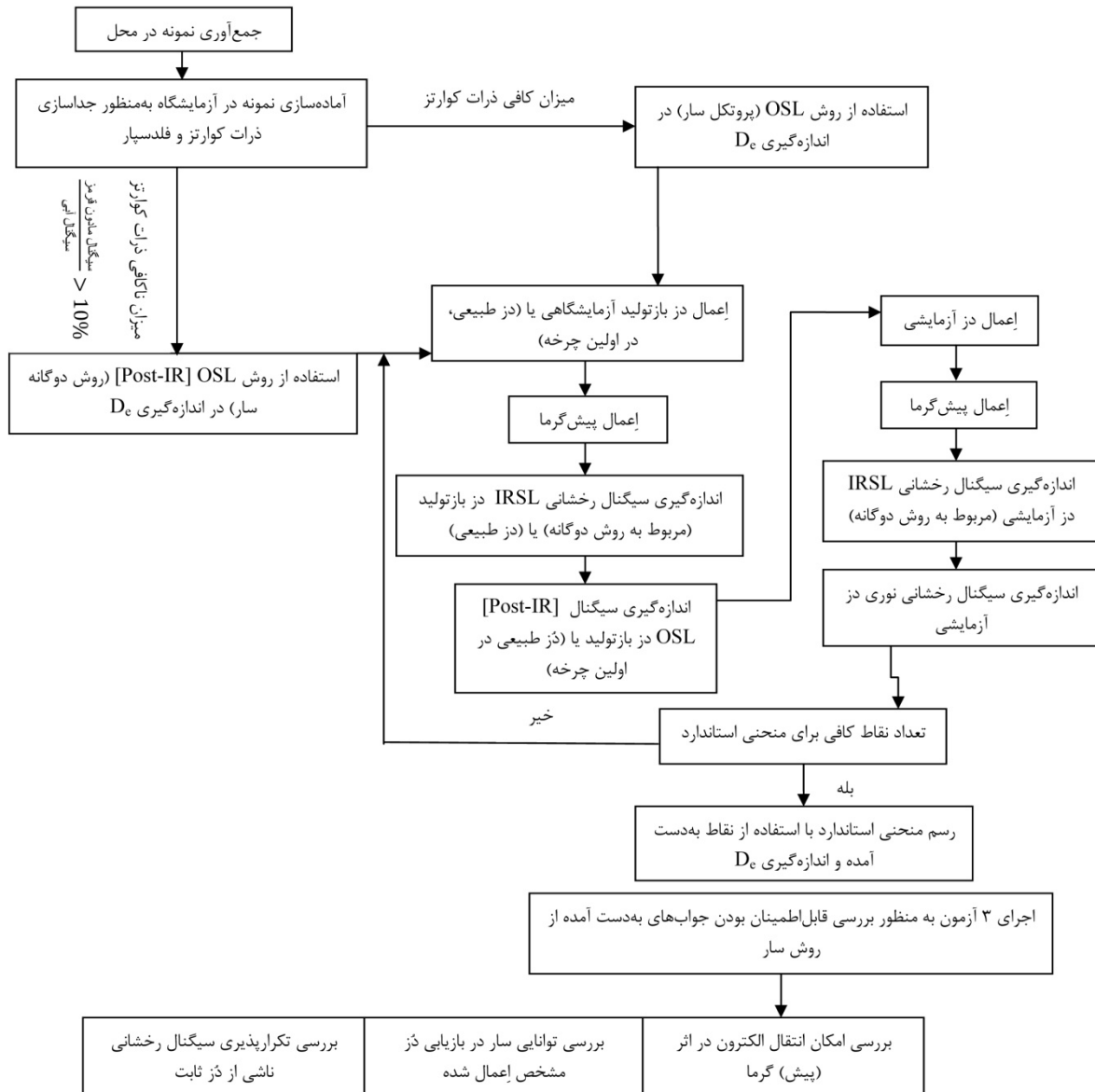
اولین سری اندازه‌گیری‌ها با استفاده از ۱۵ الیکوت با استفاده از سامانه خودکار ریزو TL/OSL DA-15، طبق ستون سمت چپ جدول ۱ (با ثابت نگه‌داشتن دمای Cutheat)، به شرح زیر صورت گرفت:

### • بررسی امکان انتقال الکترون در اثر گرما

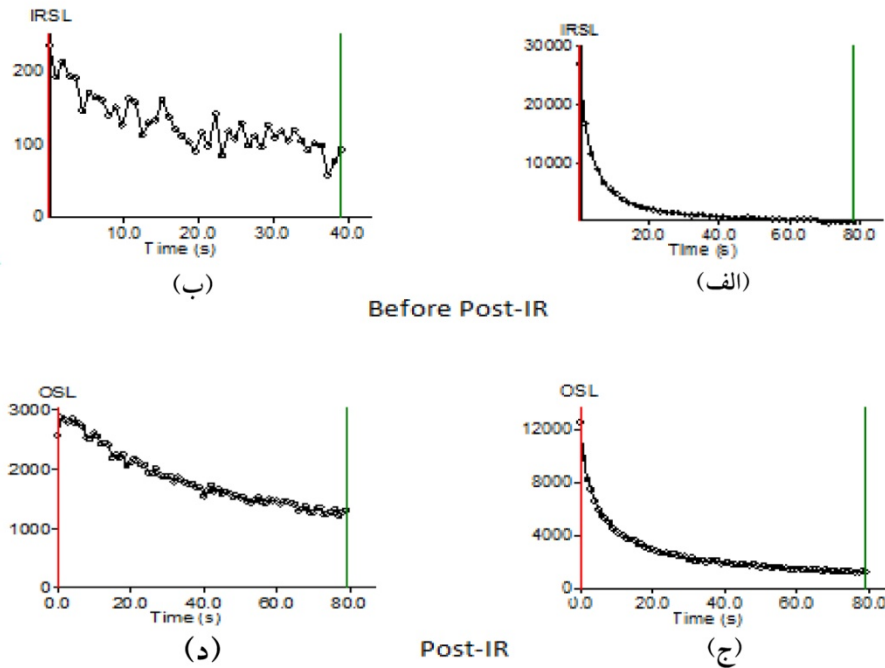
در ابتدا سیگنال رخشانی طبیعی هر ۱۵ الیکوت اندازه‌گیری شد. نمونه تا دمای  $50^{\circ}\text{C}$  گرم شد و در آن دما تحت تابش لیزر فروسرخ با شدت ۹۰٪ به مدت ۴۰ ثانیه قرار گرفت و سیگنال رخشانی آن ثبت و ضبط شد (شکل ۱-الف). آن‌گاه نمونه تا دمای محیط سرد و سپس تا دمای  $125^{\circ}\text{C}$  گرم شد و در آن دما تحت نور آبی به مدت ۸۰ ثانیه قرار گرفت و سیگنال رخشانی آن اندازه‌گیری شد (شکل ۱-ج). سپس ۱۰ ساعت در اندازه‌گیری وقفه ایجاد شد تا چنانچه در این نمونه احتمال انتقال الکترون‌ها در اثر نور به ترازهای حساس به گرما و سپس در اثر گرمای محیط، از ترازهای حساس به گرما به ترازهای حساس به نور وجود دارد، انتقال الکترون‌ها صورت پذیرد. سپس بار دیگر سیگنال رخشانی ناشی از پرتو فروسرخ و نور آبی، مشابه شرح فوق اندازه‌گیری شد (شکل ۱-ب و ۱-د). اما همان‌گونه که شکل ۱-ب نشان می‌دهد سیگنال رخشانی برای پرتو فروسرخ (IRSL) تقریباً معادل سیگنال باقی‌مانده از اندازه‌گیری سیگنال طبیعی بوده

امکان آنکه الکترون‌های زیادی که موثر بر اندازه‌گیری باشند، بر اثر گرما از ترازهای حساس به گرما به ترازهای حساس به نور منتقل شده باشند بسیار کم است.

که نشانی از عدم انتقال نوری - گرمایی الکترون‌ها است و برای نور آبی پس از فروسرخ (POST\_IR) سیگنال رخشانی تنها کمی بیش از سیگنال باقی‌مانده از اندازه‌گیری سیگنال طبیعی است (شکل ۱-د). لذا



**شکل ۱.** مراحل اندازه‌گیری دُز معادل با استفاده از روش سار. در این پژوهش چرخه مربوط به روش دوگانه سار یک‌بار برای دُز طبیعی و سپس برای ۶ دُز تابشی متفاوت و یک دُز تکراری (۱۲ گری) تکرار شد. همچنین دماهای پیش‌گرما متفاوت نیز در چرخه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. جزئیات این روند در جدول ۱ توضیح داده شده است.



شکل ۱. منحنی رخشانی ناشی از تابش لیزر فروسرخ (IR) و نورآبی پس از فروسرخ (Post-IR) (الف) و (ج) شکل‌های سمت چپ نشان دهنده سیگنال‌های رخشانی طبیعی IR و Post-IR نمونه است. (ب) و (د). شکل‌های سمت راست نشان‌دهنده سیگنال‌های IR و Post-IR اندازه‌گیری شده با فاصله زمانی ۱۰ ساعت از اندازه‌گیری قبلی است. و نشان می‌دهد که سیگنال موجود تقریباً برابر سیگنال باقی‌مانده از اندازه‌گیری سیگنال طبیعی و نشانی از انتقال نیافتن نوری- گرمایی الکترون‌ها است.

جدول ۱. بازیابی یک دز مشخص جهت اثبات توانایی سار در اندازه‌گیری De. بدین منظور ۳۰ الیکوت از نمونه فلدسپار GB3 تهیه و اندازه‌گیری‌ها ابتدا طبق ستون سمت چپ با ثابت نگه داشتن دمای پیش‌گرمای cutheat مربوط به آزمایش، به شرح زیر برای ۱۵ الیکوت و سپس با برابر نمودن دمای Preheat و cutheat صورت گرفت.

IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s) pause for 10 hours IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s) <hr/> Give dose, $D_{=26}$ Gy lab known dose <hr/> Give dose, $D_{=M^*(M=0)}$ Gy Regeneration Dose TL [206+n**(n=0)]°C (hold for 10s); 5°C/s ;preheat IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) <span style="background-color: yellow;">Lx</span> OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s) Give test dose, $D_{t=11}$ Gy TL 226 °C (hold for 10s); 5°C/s ;cutheat IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) <span style="background-color: yellow;">Tx</span> OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s)	IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s) pause for 10 hours IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s) <hr/> Give dose, $D_{=26}$ Gy lab known dose <hr/> Give dose, $D_{=M^*(M=0)}$ Gy Regeneration Dose TL [206+n**(n=0)]°C (hold for 10s); 5°C/s IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s) Give test dose, $D_{t=11}$ Gy TL [206+n**(n=0)]°C (hold for 10s); 5°C/s IRSL ( 50°C, 5°C/s, measure for 40 s) OSL (125°C, 5°C/s, measure for 80 s)
Regeneration Dose *M= 12, 24, 37, 0, 12 Gy	Regeneration Dose *M= 12, 24, 37, 0, 12 Gy
** n= 0 for aliquots 1-3 TL 206 n=20 for aliquots 4-6 TL 226 n=40 for aliquots 7-9 TL246 n= 60 for aliquots 10-12 TL266 n=80 for aliquots 13-15 TL286	** n= 0 for aliquots 16-11 TL 206 n=20 for aliquots 19-21 TL 226 n=40 for aliquots 22-24 TL246 n= 60 for aliquots 25-27 TL266 n=80 for aliquots 28-30 TL286

آنها را سیگنال آزمون تولید مجدد می‌نامیم ( $T_R$ ) زیرا در صورت عدم وجود تغییر حساسیت، تمام این سیگنال‌ها باید مشابه باشد). لازم به ذکر است که در جدول ۱،  $L_X$  نمایانگر  $L_n$ ،  $L_R$  و  $T_x$  نمایانگر  $T_n$  و  $T_R$  می‌باشند. در جدول ۱،  $L_X$ ،  $T_x$  فقط در مقابل IRSL قرار گرفته تا سیگنال رخشانی و آزمون را تفکیک کند. همین امر برای OSL نیز صادق است که برای پیچیده نشدن موضوع، در جدول نمایش داده نشده است.

هدف از اعمال دزهای ۱۲ Gy، ۲۴ Gy و ۳۷ Gy ایجاد منحنی استاندارد است. هدف از اعمال دُز  $Gy_0$ ، بررسی و اطمینان حاصل کردن از عدم انتقال الکترون از سایر ترازهای انرژی و تولید سیگنال رخشانی ناخواسته است. زیرا در اصل تا زمانی که دُزی اعمال نشود انتظار می‌رود که سیگنال رخشانی ایجاد نشود و منحنی رشد (Growth curve) از مرکز مختصات بگذرد. هدف از اعمال مجدد دز ۱۲ Gy، بررسی و اطمینان یافتن از توانایی روش سار در تولید مجدد سیگنالی مشابه سیگنال ناشی از دُز ۱۲ Gy اولیه است.

هدف از اعمال دُز ۱۱ Gy پس از هر اندازه‌گیری، مشاهده تغییر حساسیت احتمالی و تصحیح آن است. زیرا در صورت نبود تغییر حساسیت می‌باید میزان سیگنال رخشانی به دست آمده ناشی از دُز ثابت، همواره ثابت باشد. پس از اجرای آزمایش‌ها، سیگنال تولید مجدد بر سیگنال آزمون پس از آن تقسیم شد تا تغییر حساسیت احتمالی ایجاد شده در اثر عوامل گوناگون، از جمله تابش پرتوزا، گرما و نور اصلاح شود. سپس با استفاده از آنها، منحنی رشد یا استاندارد آن الیکوت ساخته و میزان دُز معادل دُز داده شده در آزمایشگاه محاسبه شد. آن‌گاه مراحل بالا برای الیکوت‌های ۲ و ۳ عیناً تکرار شد.

در آزمایش بعدی همان‌گونه که در (جدول ۱) نشان

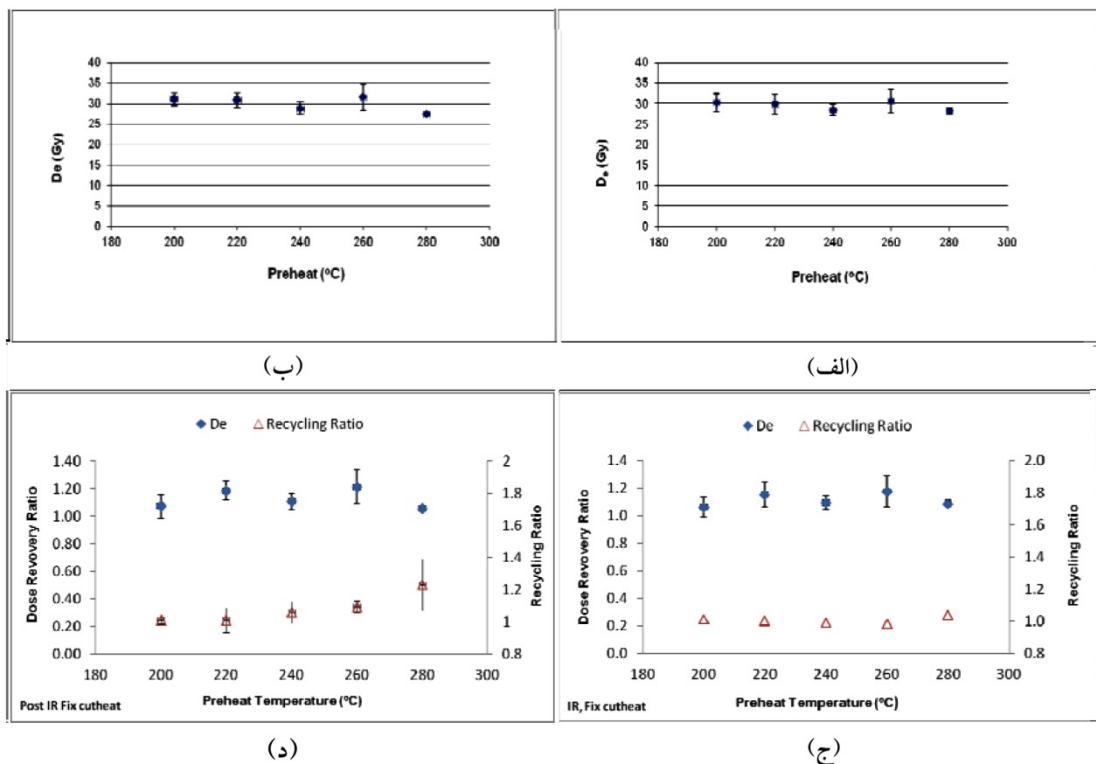
### • بررسی توانایی روش سار در بازیابی دُز مشخص اعمال شده در آزمایشگاه

پس از تخلیه تقریباً کامل سیگنال رخشانی، ۲۶ Gy (Gray)  $(J/Kg)$  دُز به هر الیکوت تابش (Irradiation) شد (جدول ۱). این دُز به عنوان دُز طبیعی با میزان معلوم فرض شد. آن‌گاه روش سار (Single aliquot regenerative dose) جهت بازیابی این دز، به شرح زیر اعمال شد، تا توانایی این روش جهت بازیابی دُز مشخص اعمال شده بررسی شود:

الیکوت شماره ۱، طی اندازه‌گیری گرماتابی (ترمو لومینسانس) با نرخ  $5^\circ C/s$  تا  $206$  درجه گرم شد. سپس تحت آن دما به مدت ۱۰ ثانیه باقی ماند. آن‌گاه سیگنال رخشانی نوری ناشی از ۲۶ Gy دُز اندازه‌گیری شد (که آن را سیگنال رخشانی طبیعی می‌نامیم ( $L_n$ )). سپس نمونه تحت ۱۱ Gy دُز قرار گرفت و طی اندازه‌گیری گرماتابی با نرخ  $5^\circ C/s$  تا  $226$  درجه گرم شد. سپس تحت آن دما به مدت ۱۰ ثانیه باقی ماند. آن‌گاه سیگنال رخشانی نوری ناشی از ۱۱ Gy دز به منظور آزمون تغییر حساسیت نمونه اندازه‌گیری شد (که آن را سیگنال آزمون دُز طبیعی می‌نامیم ( $T_n$ )). سپس به ترتیب ۱۲ Gy، ۲۴ Gy، ۳۷ Gy و  $Gy_0$  دز به آن الیکوت تابش شد و پس از هر دز، آن الیکوت طی اندازه‌گیری گرماتابی با نرخ  $5^\circ C/s$  تا  $206$  درجه گرم شد و سپس تحت آن دما به مدت ۱۰ ثانیه باقی ماند (Preheat). آن‌گاه سیگنال رخشانی نوری ناشی از آن دُز اندازه‌گیری شد (که آنها را سیگنال تولید مجدد می‌نامیم ( $L_R$ )). پس از اعمال هر یک از دزهای ذکر شده و اندازه‌گیری سیگنال رخشانی آنها، الیکوت تحت دُز ثابت ۱۱ Gy قرار گرفت. پس از گرم شدن نمونه با نرخ  $5^\circ C/s$  تا  $226$  (طی اندازه‌گیری گرماتابی) و باقی ماندن تحت آن دما به مدت ۱۰ ثانیه (Cutheat) سیگنال رخشانی نوری ناشی از ۱۱ Gy دُز اندازه‌گیری شد (که

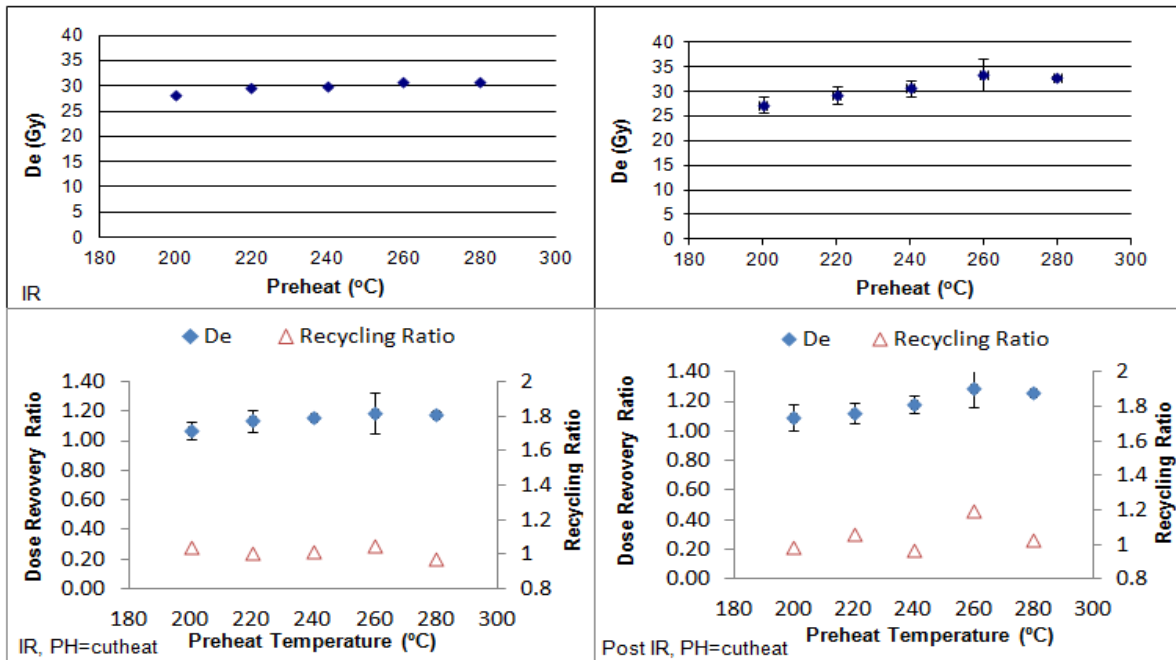
سیگنال IRSL و Post-IR به جای ۲۶ Gy، حدود ۳۰ Gy است و نسبت دُز بازیابی شده به دُز داده شده برای همه دماهای پیش‌گرما، بیش از یک است. در آزمایش‌های بعدی، اندازه‌گیری‌ها طبق ستون سمت راست جدول ۱ با برابر ساختن دمای پیش‌گرما مربوط به سیگنال اصلی (Preheat) و سیگنال آزمایشی (Cutheat)، به شرح فوق برای ۱۵ الیکوت بعدی (۳۰-۱۶) صورت گرفت. نتایج طبق شکل ۳ برای هر دو سیگنال IRSL و Post-IR مشابه نتایج شکل ۲ است و نسبت دُز بازیابی شده حدود ۲۰٪ بیش از دُز داده شده است.

داده شده است، مراحل فوق برای سایر الیکوت‌ها با تغییر میزان پیش‌گرما (Preheat) از  $206^{\circ}\text{C}$  تا  $286^{\circ}\text{C}$  در فواصل  $20^{\circ}\text{C}$  صورت گرفت و میزان دُز معادل دُز داده شده در آزمایشگاه محاسبه شد. از آنجا که به منظور افزایش دقت از سه الیکوت برای اندازه‌گیری دُز معادل دُز داده شده در آزمایشگاه به‌ازای هر پیش‌گرما (جدول ۱) استفاده شده بود، متوسط دُز معادل یافته شده برای هر پیش‌گرما محاسبه شد. با تقسیم متوسط دُز معادل یافته شده برای هر پیش‌گرما، بر دُز انتظاری (۲۶ Gy) آنها را نرمال‌سازی کردیم. همان‌گونه که شکل ۲ نشان می‌دهد، در نهایت تعجب، میزان دُز به‌دست آمده برای هر دو



**شکل ۲.** پیش‌گرما ثابت برای اندازه‌گیری سیگنال ناشی از آزمون دُز: بازیابی دُز مشخص داده شده در آزمایشگاه به روش تولید مجدد سیگنال: پس از اندازه‌گیری سیگنال معلوم آزمایشگاهی (که طبیعی فرض می‌شود)،  $12\text{ Gy}$  دُز بتا به نمونه داده شد و سیگنال رخشانی آن اندازه‌گیری شد و سپس  $11\text{ Gy}$  آزمون دُز اعمال شد و سیگنال رخشانی آن اندازه‌گیری شد سپس به ترتیب ۲۴، ۳۷، صفر و ۱۲ گری اعمال و پس از هر مرحله دُزدهی، سیگنال رخشانی آن اندازه‌گیری شد و  $11\text{ Gy}$  آزمون دُز داده شد و سیگنال رخشانی اندازه‌گیری شد. آن‌گاه سیگنال‌های حاصل از دُزهای تولید مجدد در هر مرحله بر سیگنال‌های حاصل از آزمون دُز همان مرحله تقسیم شد. به‌کمک منحنی خطی، دُز معادل دُز آزمایشگاهی (که طبیعی فرض می‌شود)  $26\text{ Gy}$  برآورد شد. شکل ۲-الف و ۲-ب مقدار دُز بازیابی شده و شکل‌های ۲-ج و ۲-د مقادیر نرمال‌سازی شده دُز بازیابی شده و تغییر حساسیت را نشان می‌دهد.





شکل ۳. مشابه شکل ۲ اما برای دماهای پیش‌گرماهای یکسان برای اندازه‌گیری سیگنال ناشی از تولید مجدد و آزمون دُز.

جدول ۲. مراحل طراحی شده برای بررسی توانایی روش سار برای مشاهده تغییر حساسیت و اصلاح آن، که با تقسیم هر سیگنال تولید مجدد بر سیگنال آزمایش پس از آن، حاصل می‌شود. برای بررسی این موضوع آزمایشی برای الیکوت‌های ۱ تا ۴ طراحی و اجرا شد، که طی آن یک مرحله از روش سار پنج بار برای هر الیکوت تکرار شد.

Give dose, $D=12$ Gy	
TL [206+n*(n=0)]°C (hold for 10s); 5°C/s	
IRSL( 50°C,5°C/s, measure for 40 s)	Lx
OSL(125°C,5°C/s, measure for 80 s)	
Give test dose, $D_t=11$ Gy	
TL 226 °C (hold for 10s); 5°C/s	
IRSL( 50°C,5°C/s, measure for 40 s)	Tx
OSL(125°C,5°C/s, measure for 80 s)	
*	
n= 0 for aliquots 1-3	TL 206
n=20 for aliquots 4	TL 226

شرح جدول ۲ برای الیکوت‌های ۱ تا ۴ صورت گرفت، که طی آن یک مرحله از روش سار پنج بار برای هر الیکوت تکرار شد.

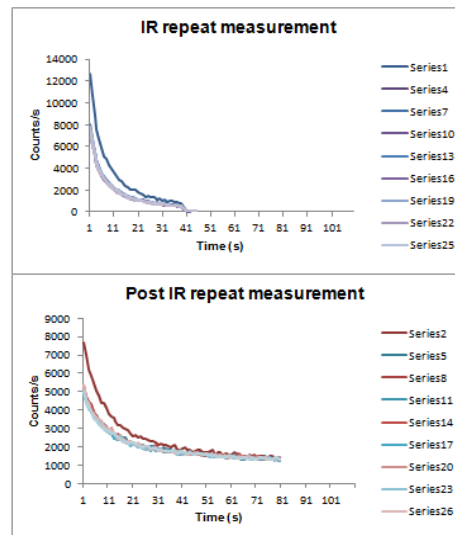
در نهایت تعجب، سیگنال رخشانی به دست آمده برای اندازه‌گیری اول هر الیکوت، دارای فوتون بیشتری نسبت به سایر سیگنال‌های همان الیکوت است و

• بررسی تکرارپذیری سیگنال رخشانی ناشی از دُز ثابت بر الیکوت‌های کناری

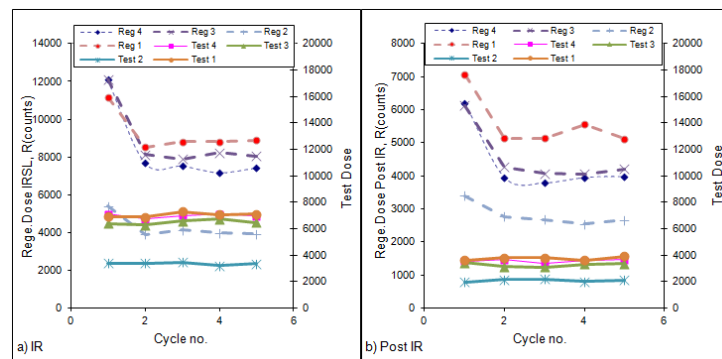
یکی از مزایای روش سار، توانایی آن در نشان دادن تغییر حساسیت و اصلاح آن است که با تقسیم هر سیگنال تولید مجدد بر سیگنال آزمایش پس از آن، حاصل می‌شود. برای بررسی این موضوع، آزمایشی به

منحنی نمایانگر سیگنال اصلی تولید مجدد (Regeneration) و منحنی دوم نمایانگر سیگنال آزمون (Test) برای هر الیکوت است. شکل ۵ شامل منحنی‌های الیکوت‌های ۱ تا ۴ است. براساس این شکل، اولین نقطه از منحنی سیگنال‌های تولید مجدد برای همه الیکوت‌ها، بسیار بیش از سایر نقاط است. در شکل ۶-الف نرمال‌سازی سیگنال برای روش فروسرخ و در شکل ۶-ب نرمال‌سازی سیگنال برای روش پس از فروسرخ نشان داده شده است. که هر دو شکل گویای عدم موفقیت روش سار در اصلاح حساسیت مرحله اول است.

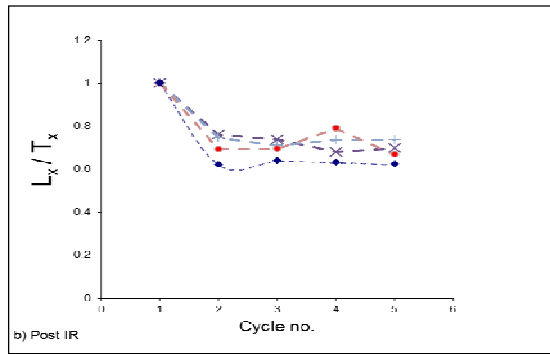
سیگنال‌های بعدی تقریباً مشابه هستند. این امر در مورد هر دو سیگنال IRSL و Post-IR مشاهده می‌شود (شکل ۴). لازم به ذکر است که سیگنال‌های آزمون برای هر الیکوت بر یکدیگر منطبق هستند. به منظور مشاهده بهتر این موضوع، برای هر سیگنال، متوسط تعداد فوتون‌های شمرده شده در ده ثانیه آخر (سیگنال زمینه)، از تعداد فوتون‌های شمرده شده در یک ثانیه اول، کم شد، تا سیگنال خالص برای هر چرخه اندازه‌گیری به دست آید. سپس منحنی سیگنال خالص برحسب چرخه اندازه‌گیری برای هر الیکوت به صورت دو سری منحنی رسم شد. یک



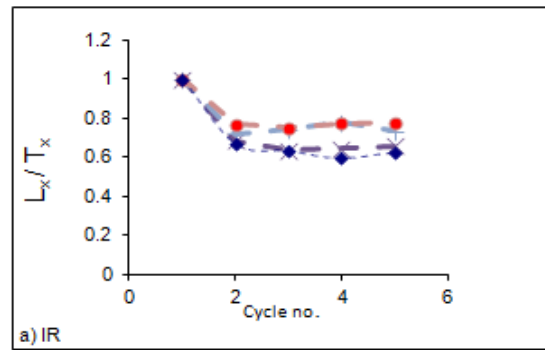
شکل ۴. هر الیکوت پنج بار برای یک مرحله از روش سار اندازه‌گیری شد. سیگنال رخشانی ناشی از فروسرخ IR و Post IR به دست آمد. برای هر الیکوت سیگنال اندازه‌گیری اول دارای فوتون بیشتر نسبت به سیگنال‌های اندازه‌گیری شده همان الیکوت است اما سیگنال‌های بعدی تقریباً مشابه هستند. این امر در مورد هر دو سیگنال IRSL و Post-IR مشاهده می‌شود.



شکل ۵. منحنی‌های تولید مجدد و آزمون مربوط به پنج مرحله اندازه‌گیری مشابه برای هر یک از الیکوت‌های ۱ تا ۴، براساس این شکل اولین نقطه از منحنی سیگنال‌های تولید مجدد برای همه الیکوت‌ها، بسیار بیش از سایر نقاط است.



(ب)



(الف)

شکل ۶. سیگنال تولید مجدد بر سیگنال آزمون پس از آن تقسیم و سپس نرمال‌سازی شد. (الف) برای روش فروسرخ و (ب) برای روش پس از فروسرخ. شکل گویای موفق نبودن روش سار در اصلاح حساسیت برای مرحله اول است.

### ۳ بحث و بررسی

علت این برآورد بیش از واقعیت چیست؟

• انتقال الکترون در اثر پیش‌گرما از ترازهای حساس به گرما به ترازهای حساس به نور

با توجه به اینکه در ابتدای آزمایش پس از اندازه‌گیری سیگنال طبیعی، ۱۰ ساعت فرصت داده شد و سپس سیگنال رخشانی اندازه‌گیری شد اما میزان آن تقریباً صفر بود، این مورد نمی‌تواند علت این برآورد باشد (شکل ۱).

• انتقال الکترون در اثر نور لیزر از ترازهای حساس به نور به ترازهای حساس به گرما و سپس بازگشت آن در اثر پیش‌گرما از ترازهای حساس به گرما به ترازهای حساس به نور

این مورد نیز نمی‌تواند علت این برآورد باشد، زیرا پس از سه بار دُزدهی و گرم‌کردن الیکوت‌ها از دماهای  $206^{\circ}\text{C}$  تا  $286^{\circ}\text{C}$  و اندازه‌گیری رخشانی آنها، و سپس با اعمال دُز صفر گریه الیکوت‌ها سیگنال محسوس ایجاد نشد، بنابراین منحنی‌های رشد استاندارد از مبدا مختصات عبور کردند (شکل ۷).

• ناکافی بودن شدت و زمان نور لیزر برای تخلیه کامل الکترون‌ها

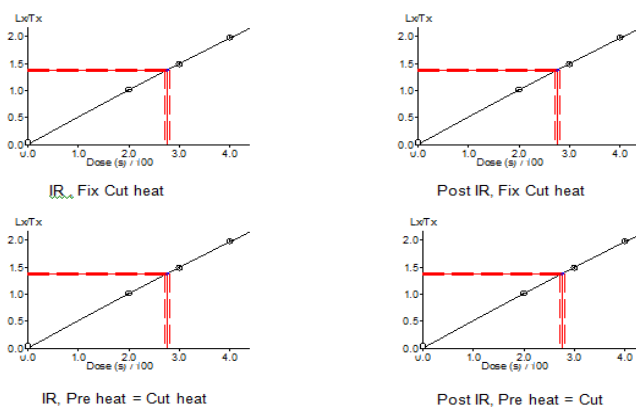
اعمال لیزر فروسرخ و سپس نور آبی، سیگنال رخشانی IRSL و Post-IR را به ترتیب از میزان  $30000$  و  $12000$  فوتون به‌طور تقریبی به حد سیگنال زمینه یعنی  $200$  فوتون برای IRSL و  $2000$  فوتون برای Post-IR کاهش داده است (شکل ۱). لازم به ذکر است که اگر پس از هر اندازه‌گیری، سیگنالی باقی می‌ماند، باقی‌ماندن سیگنال باعث افزایش سیگنال‌های تولید مجدد نسبت به دُز طبیعی و بنابراین کاهش دُز محاسبه شده می‌شد و نه افزایش آن، به همین علت، ناکافی بودن شدت و زمان نور تحریک کننده نمی‌تواند عامل افزایش سیگنال در اولین مرحله و افزایش دُز برآورد شده مشخص باشد.

• توانا نبودن روش سار در تصحیح حساسیت نمونه ناشی از گرما، دُز و نور

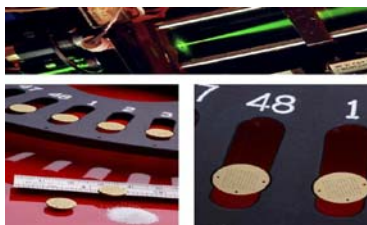
آزمایش صورت گرفته به شرح جدول ۲ برای الیکوت‌های ۱ تا ۴، که طی آن یک مرحله از روش سار پنج بار برای هر الیکوت تکرار شد، نشان داد که سیگنال رخشانی نخستین مرحله برای هر الیکوت (در مورد هر دو سیگنال IRSL و Post-IR) دارای فوتون بیشتر ( $20-40\%$ )

غیر عادی سیگنال در مرحله اول است. با توجه به اینکه روش شناسی و فیزیک نمی‌تواند پاسخگوی برآورد بیش از واقع دُز به میزان ۲۰٪ و زیاد بودن غیر عادی تا ۴۰٪ سیگنال مرحله اول نسبت به سایر مراحل بررسی تغییر حساسیت باشد، این امر ممکن است در اثر ضعف فناوری، مثلاً اثر دُز و نور بر الیکوت‌های کناری باشد. اما شرکت سازنده این دستگاه‌ها ادعا می‌کند که سامانه‌ها بی‌نقص‌اند و طوری طراحی شده‌اند که اعمال دُز و نور بر یک الیکوت، اثری بر الیکوت کناری ندارد. از این رو این ادعا مورد بررسی قرار گرفت.

نسبت به سیگنال‌های سایر مراحل همان الیکوت است و سیگنال‌های بعدی تقریباً مشابه هستند (شکل‌های ۴ و ۵). با توجه به اینکه این روش هنگام پنج بار تکرار یک مرحله از آزمایش، تغییر حساسیت در مرحله اول را به وضوح نشان داد، بنابراین توانایی خود را در یافتن و نشان دادن تغییر حساسیت اثبات کرده است. از آنجا که، سیگنال‌های آزمون ( $T_x$ ) تقریباً مساوی در همه مراحل ایجاد کرد، می‌توان نتیجه گرفت که نمونه GB3 تغییر حساسیتی در این مراحل نشان نداده است. پس عامل دیگری غیر از موارد معمول، مثل خطاهای سامان‌مند، مسئول زیاد بودن



**شکل ۷.** منحنی‌های استاندارد برای اندازه‌گیری با فروسرخ و آبی پس از فروسرخ با دو رژیم گرمایی متفاوت طبق جدول ۱. برای رسم یک منحنی استاندارد، در سه مرحله، سه تابش بتا با اندازه‌های متفاوت، به الیکوت خالی از انرژی داده می‌شود و هر بار مقدار سیگنال رخشانی (تولید مجدد) آن اندازه‌گیری می‌شود (جدول ۱). پس از هر اندازه‌گیری، مقدار ثابت آزمون دُز آزمایشگاهی به الیکوت‌ها داده می‌شود مقدار سیگنال ناشی از آزمون دُز اندازه‌گیری می‌شود. آن‌گاه، برای نرمال‌سازی داده‌ها، در هر مرحله مقدار سیگنال رخشانی تولید مجدد به‌دست آمده به مقدار سیگنال رخشانی ناشی از دُز آزمایشگاهی به‌دست آمده پس از آن تقسیم می‌شود ( $Lx/T_x$ ). مقادیر اندازه‌گیری شده به‌صورت یک منحنی، که محور قائم آن مقدار نسبت ( $Lx/T_x$ ) و محور افقی آن مقدار دُز داده شده بتا را نشان می‌دهد، رسم می‌شود که به آن منحنی رشد می‌گویند. در شکل، سیگنال مفروض طبیعی بتا یک خط افقی سرخ، منحنی رشد را قطع کرده و بدین ترتیب دُز معادل دُز مفروض طبیعی آن، قابل محاسبه است. همه منحنی‌های نشان داده شده، از مبدا مختصات گذشته‌اند.



**شکل ۸.** دیسک گردان که می‌تواند حاوی ۴۸ الیکوت باشد. الیکوت‌ها ممکن است به‌صورت دیسک‌های آلومینیومی یا استیل بدون حفره باشند که می‌توان از یک تا ۲۰۰۰ دانه را روی آن چسباند و یا دارای ۱۰۰ سوراخ باشند که قادر است ۱۰۰ دانه کوآرتز ریزدانه را برای برانگیختگی انفرادی با لیزر کانونی در خود نگه دارد. شکل از آزمایشگاه بین‌المللی ریزو، دانمارک است که دیسک گردان با دیسک‌های مخصوص اندازه‌گیری تک‌دانه را نشان می‌دهد (ویتل، ۲۰۰۸).

## ۴ بررسی عامل فنی

به‌منظور اندازه‌گیری دُز معادل، شرکت ریزو (Riso) دستگاه‌های متعددی را به بازار عرضه کرده است که اصول اولیه همه آنها مشابه است. نسل اول دستگاه‌ها قادر به اندازه‌گیری خودکار ۲۴ الیکوت (Aliquot) بود. نسل دوم دستگاه‌ها قادر به اندازه‌گیری خودکار ۴۸ الیکوت است که تقریباً در فضایی مشابه عمل می‌کند (شکل ۸). با توجه به فاصله کم دانه‌های موجود در هر الیکوت و همچنین نزدیک بودن الیکوت‌های موجود در هر دیسک، امکان داشت اثرات نامطلوبی در هنگام دُزدهی و نوردهی بر الیکوت‌های کناری گذاشته شود، که به‌منظور جلوگیری از اثر پرتو و نور تابش شده به الیکوت‌های کناری، از شیوه‌هایی آزمایش شده که نتایج آن منتشر شده است (باتر - جنسون و همکاران، ۲۰۰۰؛ بری و همکاران، ۲۰۰۲؛ دالر و همکاران، ۲۰۱۲) بهره بردیم. آزمایشگاه‌های رخشانی در سطح جهانی از این سامانه استفاده کرده‌اند. البته گزارش‌هایی نیز در زمینه اثر پرتو و یا نور بر الیکوت‌های کناری داده شده است. هلن بری (Helen Bray) در هنگام اندازه‌گیری دُز معادل دُز طبیعی نمونه‌های برداشت شده از امارات عربی متحده متوجه این موضوع شد و با بررسی‌هایی که صورت داد روشن ساخت که برای نمونه‌های مورد آزمایش، نور آبی و پرتو اعمال شده بر یک الیکوت بر الیکوت‌های کنار آن اثر می‌گذارد. به‌هرحال از آنجا که این موضوع عمومیت نداشت، استفاده از دیسک‌های دارای ۴۸ الیکوت با قرار دادن ۴۸ الیکوت به‌صورت هم‌زمان ادامه یافت. اما اثر لیزر و پرتو بردانه‌ها یا الیکوت‌های کناری از ذهن‌ها خارج نشد، به‌طوری‌که با گسترش فناوری و امکان سن‌یابی یک تک‌دانه به اندازه حدود ۳۰۰ میکرون، این مهم مورد نگرانی بود. پس از وارد شدن سامانه‌جدید ریزو به بازار که قابلیت سن‌یابی ۱۰۰ دانه منفرد به‌صورت خودکار

را داشت، اثر نور لیزر و پرتو ناشی از اندازه‌گیری دانه کناری به‌صورت سامان‌مند مورد بررسی قرار گرفت و دالر (۲۰۱۲) با انتشار نتایج، اثر قابل توجهی برای دُز و نور در هنگام اندازه‌گیری رخشانی و سن یک دانه را بر دانه مجاور گزارش نکرد. ما نیز در هنگام بررسی‌های اولیه برای سن‌یابی به روش رخشانی، نمونه‌های برداشت شده از گلباف با پدیده‌های غیرعادی مواجه شدیم که بررسی‌های زیر نشان داد که این پدیده‌ها ناشی از اثرات تابش دُز و نور لیزر بر الیکوت‌های کناری است.

• سامانه‌های اندازه‌گیر رخشانی (OSL reader) و تداخل ناشی از الیکوت‌های کناری

سامانه خودکار ریز و TL/OSL DA-15 در کاربری‌های سن‌یابی رخشانی مورد استفاده وسیعی قرار گرفته است. این دستگاه طوری طراحی شده است که از فضای موجود به شکل کاملاً بهینه‌ای استفاده می‌کند و با چیدمان نزدیک به هم دیسک‌های موجود، اندازه‌گیری‌ها را عملی می‌سازد. دیسک گردان ممکن است حاوی ۲۴، ۳۶ و یا ۴۸ الیکوت باشد. سامانه ریز و مجهز به ترکیب واحد تابشی آبی - فرسوخ و واحد تابشی بتا  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$  است. دیودهای آبی برای برانگیختگی از فاصله ۲۵ میلی‌متری روی نمونه کانونی و چشمه بتا نیز از فاصله ۵ میلی‌متری نمونه حین تابش کانونی می‌شود (باتر - جنسون و همکاران، ۲۰۰۰). شرکت ریز و معتقد است که دیسک گردان ۴۸ الیکوتی و ۲۴ الیکوتی به‌لحاظ تداخل ناشی از الیکوت کناری هر دو مشابه و مطمئن هستند. تحریک الیکوت موردنظر با توان کامل لیزر فرسوخ و یا دیود، فقط ۰/۰۰۶٪ روی الیکوت کناری اثر می‌گذارد که برای عملیات سن‌یابی کاملاً مناسب است (باتر - جنسون و همکاران، ۲۰۰۰).

کناری دشوار است، اما می‌توان با محاسبه شدت بازتابش، شدت سیگنال برانگیختگی الیکوت کناری را تعیین کرد (دالر، ۲۰۱۲).

با این حال از آنجا که هدف ما بهره‌گیری از دستگاه موجود بود و نه اثبات خطای دستگاه، لذا تصمیم گرفتیم تا چیدمان الیکوت‌ها را به روشی اجرا کنیم که امکان اثر دُز و نور الیکوت‌های کناری حذف شود.

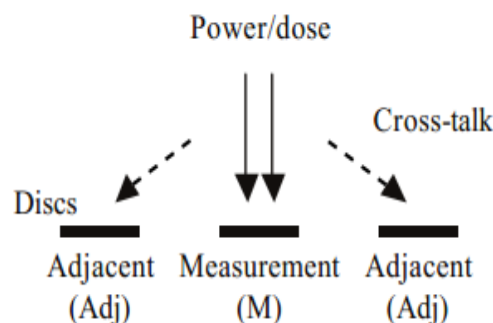
$$(۱) \text{ تابش داخلی} = \frac{\text{شدت ارسالی به الیکوت‌های کناری (mW.cm}^{-2}\text{)}}{۱۰۰ \times \text{شدت ارسالی به الیکوت اندازه‌گیری (mW.cm}^{-2}\text{)}}$$

#### • اثر دُز و نور بر الیکوت‌های کناری

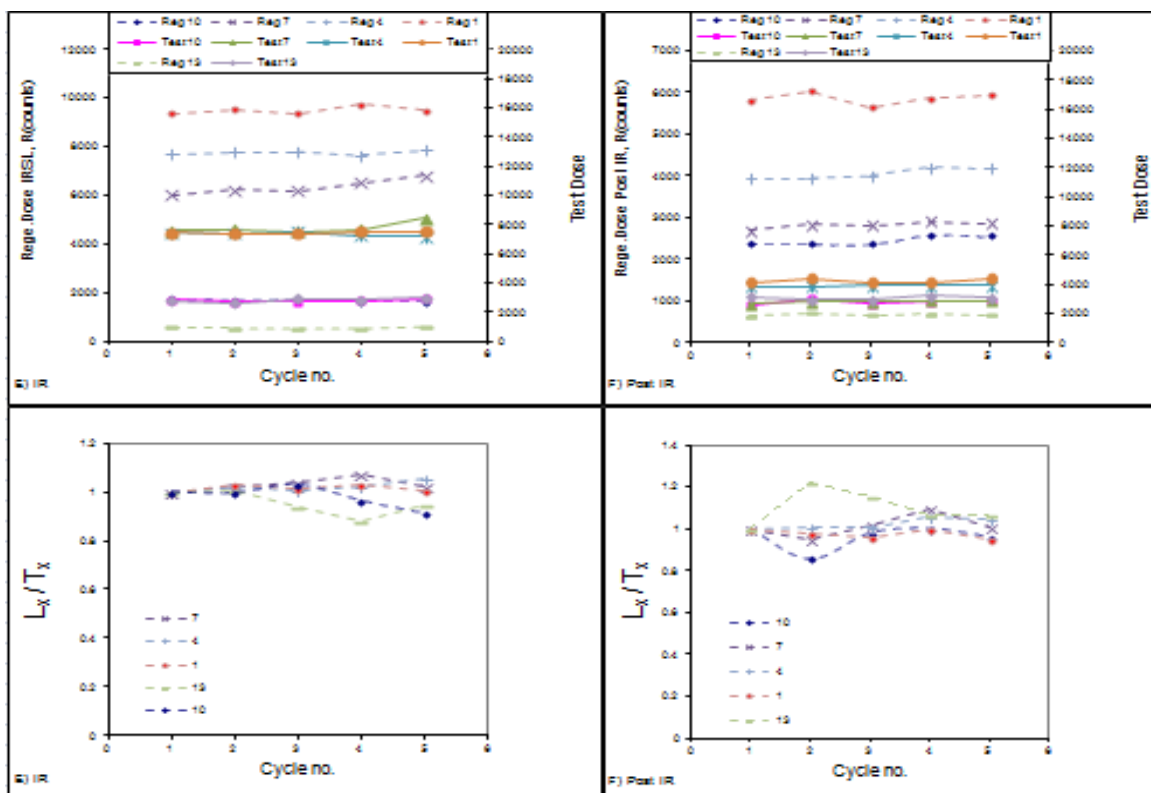
به‌منظور حذف اثرات ناشی از اندازه‌گیری یک الیکوت بر الیکوت‌های کناری و توانایی مقایسه نتایج، بدون جابه‌جا کردن الیکوت‌ها، آزمایش‌های یاد شده طبق جداول ۱ و ۲ در مورد الیکوت‌های ۱ و ۴ و ۷ و ۱۰ و ۱۳ تکرار شد. شکل ۱۰ نتایج حاصل از تکرار یک مرحله را برای بررسی تغییر حساسیت نشان می‌دهد که بر پایه آن، نمونه تغییر حساسیت زیادی نداشته و در همه مراحل نسبت  $L_x/T_x$  تقریباً برابر است. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که سار توانسته است با موفقیت در دماهای متفاوت دُز معین آزمایشگاهی را بازایی کند و دماهای  $240^\circ\text{C}$  و  $280^\circ\text{C}$  از همه مناسب‌تر بوده‌اند.

با این حال بری و همکاران، ۲۰۰۲ در هنگام اندازه‌گیری نمونه‌هایی از امارات متحده عربی متوجه اثر تا ۲۰٪ شدند. آنها گزارش کردند که پیامد این‌گونه چیدمان نزدیک به هم برای نمونه‌های آنها این بوده است که دُز پرتوزا تابشی (Cross-irradiation) و تابش نور (Cross-bleaching) در هنگام اندازه‌گیری دُز معادل الیکوت کناری، می‌توانستند ناخواسته روی الیکوت‌های کناری اثر گذارد، با این حال اثر نور می‌توانست به مراتب قوی‌تر از اثر تداخل تابشی باشد (تا ۲۰٪ سیگنال الیکوت‌های کناری (بریوهمکاران، ۲۰۰۲). شرکت ریزو معتقد است که تداخل نوری به‌صورت درصدی از زمان برانگیختگی مشابه روی الیکوت کناری بیان می‌شود و گرچه این اثر برای نمونه‌های بسیار حساس قابل توجه است اما در صورتی که در طراحی مراحل اندازه‌گیری دقت شود و نور لیزر تاجای ممکن کانونی باشد، این اثر قابل چشم‌پوشی است.

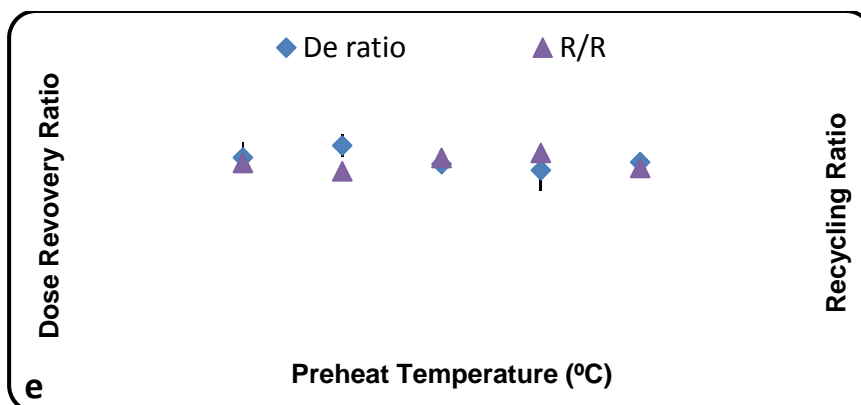
به منظور بررسی میزان تداخل می‌توان اقدام به اجرای آزمایش‌هایی کرد و مطابق شکل ۹ اثر نور و دُز پرتوزا دیسک‌های اندازه‌گیری را بر دیسک‌های کناری اندازه گرفت. میزان این تداخل با استفاده از شدت نوری که تصادفاً به موقعیت کناری ذره هدف می‌رسد اندازه‌گیری، و به‌صورت درصدی از شدت برانگیختگی بیان می‌شود (رابطه ۱). اندازه‌گیری مستقیم شدت برانگیختگی الیکوت



شکل ۹. طرحواره‌ای از دیسک‌های کناری و اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. تداخل حاصل از هر دو دیسک‌های کناری اندازه‌گیری شده و در نهایت میانگین‌گیری می‌شود تا اثر تداخل بررسی شود (بری و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۱۰. نتایج حاصل از تکرار یک مرحله را نشان می‌دهد. برخلاف آنکه گراف‌های بالایی تغییر حساسیت کمی را نشان می‌دهد، با تقسیم سیگنال تولید مجدد بر سیگنال آزمون پس از آن، روش سار نه فقط تغییر حساسیت الیکوت‌های ۱۰ و ۱۳ را بهتر نکرده، بلکه بر میزان آنها افزوده است.



شکل ۱۱. مشابه شکل ۲ اما با تکرار آزمایش‌ها در مورد الیکوت‌های ۱ و ۴ و ۷ و ۱۰ و ۱۳. شکل نشان می‌دهد که تقریباً در همه دماها، ذرات مشخص آزمایشگاهی با خطای قابل قبول بازایی شده‌اند اما دماهای ۲۴۰ و ۲۸۰ درجه سلسیوس از همه مناسب‌تر هستند.

اثر دژ پرتوزا و نور اعمال شده به الیکوت کناری بوده است. بنابراین با تغییر چیدمان الیکوت‌ها به صورت دو در میان، این موضوع حل شد. لذا اگرچه به جای ۴۸ الیکوت از ۱۶ الیکوت در هر مجموعه اندازه‌گیری استفاده می‌شود

### ۵ نتیجه‌گیری

برآورد بیست درصد بیش از واقع دژ مشخص آزمایشگاهی و بالا بودن تا چهل درصدی اولین سیگنال رخشانی در هنگام تکرار یک چرخه اندازه‌گیری ناشی از

- Murray, A.S., 2000, Advance in luminescence instrument systems, *Radiation Measurement*, **32**, 523-528.
- Bray, H.E., Bailey, R.M. and Stokes, S., 2002, Quantification of cross-irradiation and cross-illumination using a Riso TL/OSL DA-15 reader, *Radiation Measurement*, **32**, 275-280.
- Duller, G.A.T., 2012, Cross-talk during single grain optically simulated luminescence measurement of quartz and feldspar, *Radiation Measurement*, **47**, 219-24.
- Fattahi, M. and Walker, R., 2007, Luminescence dating of the last earthquake of the Sabzevar thrust fault, NE Iran Quaternary Geochronology, **2**, 284-289.
- Fattahi, M., Walker, R., Khatib, M.M., Dolati, A. and Bahroudi, J., 2006, Slip-rate estimates and past earthquakes on the Doruneh fault, eastern Iran, *Geophysical Journal International*, **168**, 691-709.
- Murray, A.S. and Wintle, A.G., 2000, Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol, *Radiation Measurement*, **32**, 57-73.
- Richter, D., Tostevin, G., Skrdla, P. and Davies, W., 2009, New radiometric ages for the Early Upper Palaeolithic type locality of Brno-Bohunice (Czech Republic): comparison of OSL, IRSL, TL and  $^{14}\text{C}$  dating results, *Journal of Archaeological Science*, **36**, 708-720.
- Wallinga, J., Murray, A. and Duller, G., 2000, Underestimation of equivalent dose in single-aliquot optical dating of feldspars caused by preheating, *Radiation Measurement*, **32**, 691-695.
- Wintle, A. G., 2008, Fifty years of luminescence dating, *Archaeometry*, **50**(2), 276-312.
- Wintle, A.G., 2008, Luminescence dating: where it has been and where it is going, *BOREAS: An International Journal of Quaternary Research*, **37**, 471-482.

اما این اطمینان وجود دارد که اثر الیکوت‌های کناری حذف شود و عملیات اندازه‌گیری دُز معادل با دقت صورت گیرد. بر این اساس با چیدمان جدید، الیکوت‌های طبیعی ساخته شده از نمونه‌های برداشت شده از گلباف مورد آزمایش قرار گرفت و سن نمونه GB3، ۴۱۰۰ سال به‌دست آمد. لازم به ذکر است که این آزمایش‌ها با چیدمان یک در میان الیکوت‌ها نیز صورت گرفت و عیناً همین نتایج حاصل شد. جزئیات سنیابی و نتایج آن، در مقاله اندازه‌گیری نرخ لغزش گسل گوک (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۲) که هم‌زمان با این مقاله به مجله ارائه شده است، آمده است.

#### تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر مرتضی طالبیان و دکتر ریچارد واکر به‌خاطر همکاری‌های تحقیقاتی و برداشت نمونه سپاسگزاریم.

#### مراجع

- فتاحی، م.، کریمی موید، ن.، واکر، ر. و طالبیان، م.، ۱۳۹۲، استفاده از رخشانی نوری پس از فرسوخ به‌منظور اندازه‌گیری نرخ لغزش گسل گوک، م. فیزیک زمین و فضا، **۳۹**(۲)، ۱۳-۲۸.
- Botter-Jensen, L., Buller, B., Duller, G.A.T. and