

استفاده از ترمولومینسانس قرمز در سن‌یابی رسوبات بادی (loess)

مرتضی فتاحی*

*مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵

(دریافت: ۱۴۴۲/۸، پذیرش نهایی: ۱۵/۶/۲۸)

چکیده

رسوبات بادی (loess) در آسیای مرکزی، چین، اروپا و امریکا اهمیت زیادی در مطالعه آب و هوای گذشته کره زمین دارند. سن‌یابی به روش لومینسانس، تاکنون در تحقیقات مربوط به سن‌یابی رسوبات بادی، نقش مهمی داشته است. اما همچنان نیاز به گسترش روش‌های لومینسانس برای تعیین سن رسوبات بادی است.

تابش آبی-فرابنفش ترکیبات چند ماده معدنی و فلدسپارها از نشت سیگنال رنج می‌برند. در حالی که تابش آبی-فرابنفش لومینسانس کوآرتز در ماکزیمم ۵۰۰ Gy اشباع می‌شود، تابش قرمز لومینسانس گرمایی (RTL) دارای ظرفیت ۵۰ KGY بوده و لذا توانایی سن‌یابی آتشفشانی تا ۲ میلیون سال را دارد.

این مقاله امکان سن‌یابی رسوبات بادی با استفاده از SAR-RTL ناشی از کوآرتز را به این طریق بررسی کرده است: الف) وجود ترمولومینسانس قرمز در رسوبات بادی مشاهده شد. ب) ترمولومینسانس قرمز ناشی از این رسوبات زیر نور خورشید مؤلفه نوری خود را از دست داد. پ) SAR-RTL توانست دز مشخص را در آزمایشگاه بازیابی کند. ت) به کمک SAR-RTL می‌توان دز معادل دز طبیعی را تا حدود Gy ۱۰۰۰ به دست آورد. این اطلاعات نشان می‌دهد که RTL کوآرتز می‌تواند ناحیه سنی روش‌های لومینسانس را در اندازه‌گیری سن رسوبات بادی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: ترمولومینسانس قرمز، رسوبات بادی، سن‌یابی، روش تولید مجدد سیگنال با دیسک (SAR-RTL)، کوآرتز

۱ مقدمه

به راحتی با باد جابه‌جا می‌شوند و معمولاً زمان زیادی را در حال حرکت می‌گذرانند، شرایط مناسبی برای صفر شدن ساعت لومینسانس‌شان با نور خورشید دارند. معمولاً ۸۰-۹۰ درصد دانه‌های رسوبات بادی کمتر از ۵۰ μm و ۱۰-۱۵ درصد کمتر از ۱۰ μm هستند (وینتل، ۱۹۹۰). این ناحیه از اندازه دانه‌ای، مناسب استفاده از روش‌های (دانه‌ریز) fine-grain است. به همین دلیل در گذشته اغلب سن‌یابی‌های صورت گرفته با بهره‌گیری از سائز ۱۱-۴ μm بوده است (پرسکات و روبرتسون، ۱۹۹۷). اما در این روش‌ها ترکیبی از مواد معدنی (polymineral) از جمله فلدسپار مورد استفاده قرار می‌گیرد که به دلیل (نشت سیگنال) anomalous fading (فتاحی و استوکرز، ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴) ممکن است سن را کمتر از واقعیت نشان دهد. با استخراج کوآرتز از رسوبات بادی (loess) این

رسوبات بادی داده‌های ثبت شده جامعی از وضعیت آب و هوای کره زمین در گذشته را فراهم کرده، که به درک دیرینه اقلیم‌شناسی جهانی کمک می‌نمایند. کوکا و ان (۱۹۸۹) با استفاده از رسوبات کف اقیانوس‌ها به رابطه موجود در ردیف‌های رسوب‌گذاری بادی در چین، اروپا و امریکا پرداخت.

از اولین کاربرد لومینسانس برای سن‌یابی رسوبات بادی (وینتل، ۱۹۸۱) تاکنون، روش‌های سن‌یابی با استفاده از لومینسانس رشد روز افزونی داشته است. همگام با معرفی روش‌های جدید، استفاده از آنها در سن‌یابی رسوبات بادی بخش مهمی از تحقیقات را تشکیل داده است (وینتل، ۱۹۹۰؛ سنگوی و همکاران، ۲۰۰۱؛ فرچن و همکاران، ۲۰۰۳).

با توجه به اینکه رسوبات بادی مواد بسیار ریزی‌اند که

مشکلات کاهش یافت، اما به هر حال سن یابی به رسوبات جوان تر از محدوده ۱۰۰-۱۵۰ هزار سال پیش محدود شده است. لذا، به فن ها و روش های جدید لومینسانس برای افزایش طول زمانی سن یابی رسوبات بادی نیاز است.

"با توجه به نبود متن فارسی برای توضیح سن یابی رسوبات به روش لومینسانس، به تاریخچه سن یابی رسوبات با این روش به اختصار اشاره می شود"

روش ترمولومینسانس (TL) برای سن یابی نمونه های باستان شناسی در سال های ۱۹۶۰-۱۹۷۰ با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت (آیتکن، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰). وینتل و هانتلی (۱۹۸۰) روش های جدیدی را برای استفاده از شیوه سن یابی TL رسوبات مطرح کردند. پس از کاربرد موفقیت آمیز ترمولومینسانس (TL) در دزیمتری، این روش برای سن یابی نمونه های باستان شناسی در سال های ۱۹۶۰-۱۹۷۰ با موفقیت مورد استفاده قرار گرفت (آیتکن، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰). امروزه لومینسانس کاربردهای وسیعی در تخمین خطرات طبیعی، دیرینه اقلیم شناسی، دیرینه زلزله شناسی، باستان شناسی، زمین شناسی، جغرافیا، فیزیک، پزشکی و غیره را دارد. از جمله وینتل و هانتلی (۱۹۸۰) روش های جدیدی را برای استفاده از روش TL جهت سن یابی رسوبات مطرح کردند و براساس آزمایش ها و مطالعات تجربی اعلام کردند که TL در زمان رسوب گذاری رسوب هایی که گرم نشده اند دارای دو دسته اند:

۱. مؤلفه ای که به آسانی با نور خورشید از بین می رود.
۲. مؤلفه ای که باقی می ماند، یا نسبت به نور حساس نیست.

آنان برای جداسازی سیگنال TL مربوط به قبل از رسوب گذاری و دورانی که نمونه رسوبی در زیر خاک دفن بوده است، روش R-gamma partial-bleach را عرضه کردند. وینتل و پروسنکا (۱۹۸۲) روش تولید مجدد و سنگوی و همکاران (۱۹۸۲) روش total-bleach را

عرضه کرده اند. هدف هر سه روش جداسازی مؤلفه ترمولومینسانس غیر صفر (باقی مانده) در دوران دفن نمونه، از سیگنال لومینسانس نوری بود. اختلاف اصلی در صفر شدن سیگنال لومینسانس گرمایی و نوری، فرایند آزاد شدن الکترون ها از تله های موجود در نمونه است. پس از آنکه نمونه در معرض نور قرار می گیرد، برخی الکترون ها در تله باقی می مانند (باقی مانده ها)، در حالی که پس از گرم شدن تا حدود 500°C ، تمام الکترون ها از تله خارج می شوند و هیچ الکترونی در تله باقی نمی ماند. (برای اطلاع بیشتر از اصول کار سن یابی به روش لومینسانس، به فتاحی ۲۰۰۳ b مراجعه شود). تعداد الکترون های باقی مانده به عوامل مختلفی چون: ۱- زمانی که نمونه تحت تأثیر نور قرار گرفته، ۲- انرژی فوتون تابشی یا طول موج آن، ۳- انرژی فعالیت گرمایی تله ها و ۴- نوع ماده معدنی که سیگنال لومینسانس تولید می کند، وابسته است. به هر حال، این پیچیدگی ها باعث شد تا استفاده از روش ترمولومینسانس برای سن یابی رسوبات داغ نشده با دقت صورت نگیرد (برگر، ۱۹۸۶).

اما در کاربردهای زمین شناسی، معمولاً سن آخرین نور دیدگی رسوبات مد نظر است. با توجه به اینکه نور خورشید، سیگنال نوری لومینسانس را در طبیعت صفر می کند، هانتلی و همکاران (۱۹۸۵) روش لومینسانس نوری یا optically stimulate luminescence را که به اختصار OSL نام گرفته، پیشنهاد کرد، که در آن از نور لیزر برای سنجش لومینسانس نوری کوارتز استفاده می شد. روش های متفاوتی برای برآورد دز معادل دز طبیعی که در اصطلاح D_e نامیده می شود، وجود دارد که به طور کلی از جنبه نظری نیازمند حداقل دو دیسک است (وینتل، ۱۹۹۳). در عمل، معمولاً ده ها دیسک با مشخصات خاص برای اندازه گیری D_e به کار می رود. این روش ها در اصطلاح چند دیسک نامیده می شود. روش های استفاده از چند دیسک اولاً، نیاز به یکنواخت شدن سیگنال دیسک ها

(۱۹۹۴b) نمونه‌های آتشفشانی تا نیم میلیون سال را اندازه‌گیری کردند. اما در سن‌یابی‌ها با مشکل برای اندازه‌گیری RTL بیش از 350°C با مشکل فنی مواجه بودند.

فتاحی (۲۰۰۱) مشکل فناوری را حل کرد. فتاحی و استوکز (۲۰۰۰ a,b) با ترکیب روش‌های ترمولومینسانس قرمز و SAR که در اصطلاح SAR-RTL نامیده می‌شود، موفق شدند، نه تنها با روش سن‌یابی لومینسانس را مواد آتشفشانی و آتشفشان‌ها را به راحتی سن‌یابی کنند، بلکه گستره سنی روش لومینسانس را به بیش از ۲۰۰۰ سال افزایش دادند (برای اطلاعات بیشتر به فتاحی و استوکز ۲۰۰۳C مراجعه شود).

سپس فتاحی و استوکز (۲۰۰۵) برای افزایش دوره سنی لومینسانس کوارتز، روش SAR-RTL را مورد استفاده قرار دادند و روشی جدید برای سن‌یابی رسوبات ارائه کردند، که در آن، آخرین زمانی که رسوب تحت تأثیر نور خورشید (مستقیم یا غیرمستقیم) قرار گرفته است را اندازه‌گیری می‌کنند.

به‌هرحال، در این مقاله توانایی ترمولومینسانس قرمز و خاصه SAR-RTL برای سن‌یابی رسوبات بادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور عملی ساختن این امر مهم اولاً: توانایی دستگاه برای اندازه‌گیری ترمولومینسانس قرمز، ثانیاً: قابلیت صفرشدگی لومینسانس قرمز (که به اصطلاح bleaching نامیده می‌شود) با نور، ثالثاً: توانایی یک آزمون دز جهت نمایش و تصحیح تغییرات حساسیت نمونه در حین عملیات دزدهی و گرما مطالعه می‌شود. در خاتمه توانایی فرایند SAR برای تولید یک دز شناخته شده برآورد می‌شود.

۲ شرایط آزمایشی

نمونه‌ها از چین و امارات متحده عربی جمع‌آوری و در داخل پلاستیک‌های سیاه بسته‌بندی شده و به آزمایشگاه

دارد، که نرمال‌سازی نامیده می‌شود و در ثانی، حجم نمونه نسبتاً زیادی از نمونه مورد نیاز است. دالر (۱۹۹۱) روش تک‌دیسک را برای اندازه‌گیری D_e ناشی از فلدسپار با استفاده از تابش IR ارائه داد. گالوی (۱۹۹۶) تلاش کرد تا روش تک‌دیسک را برای کوارتز با استفاده از نور سبز و روش تولید مجدد به کار برد. همگام استوکز (۱۹۹۴) این روش را با استفاده از نور سبز تولید مجدد به کار بست. هر دو اعلام کردند که نمونه در حین اندازه‌گیری D_e تغییر حساسیت پیدا می‌کند و باعث می‌شود تا اندازه‌گیری D_e کوارتز با خطای زیاد صورت گیرد. مجاهه و باترجسن (۱۹۹۴ و ۱۹۹۷) روشی ترکیبی از تولید مجدد و دز اضافی به نام SARA را برای مواد گرم شده به کار گرفتند. ماری (۱۹۹۶) این روش را برای رسوبات گرم نشده به کار برد. اما همه روش‌های تاکنون ذکر شده، در عمل، از دو دیسک برای یافتن D_e استفاده می‌کرد. ماری و همکارانش (۱۹۹۷) با استفاده از یک دیسک، در عمل موفق شدند D_e کوارتز را اندازه‌گیری کنند. ماری و وینتل (۲۰۰۰) روش مهم تولید مجدد تک‌دیسک را که SAR خوانده می‌شود ارائه دادند که ظرف چند سال گذشته به صورت وسیعی در سن‌یابی به روش لومینسانس (نوری) مورد استفاده قرار گرفته است روش‌های لومینسانس گرمایی و لومینسانس نوری با وجود کارآیی‌هایشان، دو نقطه ضعف داشتند:

اولاً، در سن‌یابی مواد آتشفشانی و آتشفشانها ناتوان بودند. در ثانی، محدوده سنی آنها محدود بود.

لازم به ذکر است که در عرصه لومینسانس معمولاً به دلیل سادگی فناوری، از تابش لومینسانس فرابنفش و آبی برای سن‌یابی استفاده شده است. هاشیموتو و همکاران (۱۹۸۶-۱۹۹۸) و میالیر و همکاران (۱۹۹۴-۱۹۹۱) ضمن بررسی خواص لومینسانس قرمز، توانایی بالقوه آن را برای سن‌یابی مواد آتشفشانی اعلام کردند.

پی‌لیر و همکاران (۱۹۹۲) و میالیر و همکاران

۳ صفر شدن مؤلفه نوری ترمولومینسانس قرمز با نور (red TL bleachability)

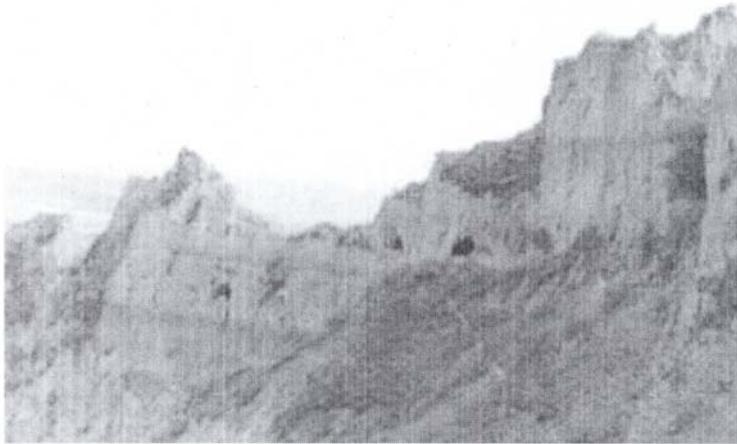
فتاحی (۲۰۰۱) نشان داده است که سامانه ساخته شده وی توانایی آشکارسازی ترمولومینسانس قرمز حاصل از آتشفشان‌ها را دارد. این مهم در مورد رسوبات بادی در شکل ۳ نشان داده شده است.

و اما صفر شدن مؤلفه نوری سیگنال ترمولومینسانس قرمز در اثر نور، مهم‌ترین اصل در قابلیت استفاده از ترمولومینسانس قرمز در سن‌یابی رسوباتی همچون رسوبات بادی است. شولفیلد و پرسکات (۱۹۹۹) اثر صفر شدن مؤلفه نوری سیگنال طبیعی لومینسانس کوارتزهای رسوبی (عمدتاً کوارتزهای استرالیایی) را مورد بررسی قرار داده و دریافتند که پیک $360^\circ\text{C}/2/0.5\text{ev}/60.5\text{ nm}$ و پیک RTL به کندی و پیک $(2\text{ ev}/620\text{ nm})$ و 305°C و 270°C به سرعت در برخی نمونه‌ها در اثر نور کاهش یافتند. آنها گزارش کردند که پیک قرمز 305°C ، بسیار آهسته‌تر از پیک مشابه آبی صفر می‌شود. فرانکلین و همکاران (۲۰۰۰) دریافتند که اگر نمونه را به مدت ۲۰ دقیقه زیر نور زرد ($>570\text{ nm}$) قرار دهیم، همه پیک 325°C در هر دو باند قرمز و آبی صفر می‌شود، لیکن اثر تعیین کننده‌ای روی پیک 375°C ندارد. استوکز و همکاران (۲۰۰۰) اطلاعات اولیه‌ای را در مورد یک نمونه نوین یعنی نمونه ماسه بادی‌های روان که از صحرای افریقا جمع‌آوری شده بود گزارش کردند که طی آن D_e حدود صفر اندازه‌گیری شد (شکل ۴) که نمایانگر صفر شدن مؤلفه طبیعی نوری نمونه dune است. در این جا صفر شدن مؤلفه نوری RTL حاصل از کوارتز استخراج شده از رسوبات بادی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۸ دیسک (aliquot) از نمونه SA آماده و ۴ تای آنها به مدت سه هفته زیر نور خورشید (مستقیم و غیر مستقیم) قرار گرفت. برای جلوگیری از آلودگی دیسک‌ها به گرد و غبار محیط، دیسک‌ها با یک پلاستیک نازک و شفاف

انتقال یافت (شکل ۱). در داخل آزمایشگاه و زیر نور قرمز، لایه خارجی نمونه‌ها تراشیده شد. قسمت باقی‌مانده داخل بطری‌های پلاستیکی ریخته و به آن اسید کلریدریک (HCl) اضافه شد و پس از قطع واکنش شیمیایی با آب شسته و سپس به آن H_2O_2 افزوده شد و مجدداً پس از آنکه واکنش شیمیایی به پایان رسید با آب شسته شد. آن‌گاه با سرند دانه‌بندی‌های مختلف از هم جدا شدند و دانه‌بندی فیما بین $38-63\ \mu\text{m}$ انتخاب شد. روی دانه‌های انتخاب شده اسید HF پانزده درصد افزوده و به مدت یک ساعت با دستگاه آن را تکان دادند تا فلدسپارهای داخل نمونه از بین برود. خلوص کوارتز باقی‌مانده با تابش IR آزمون شد. با توجه به وجود سیگنال IRSL، روی نمونه اسید فلور و سیلیسیک 35% (H_2SiF_6) افزوده و به مدت دو هفته با دستگاه آن را تکان دادند. مجدداً خلوص کوارتز با IR آزمون شد. کوارتزهای حاصل را با افشانه روغن مخصوص، روی دیسک‌های فولادی چسبانند (شکل ۱-ج). سپس دیسک‌های آماده شده داخل دستگاه استاندارد Riso TL/OSL شد که فتاحی (۲۰۰۱) آن را به سامانه اندازه‌گیری لومینسانس قرمز، در دانشگاه آکسفورد مجهز کرده بود (شکل ۲). فیلتر نوری omega 625 DF50 (با پنجره عبوری $575-675\text{ nm}$) برای کنترل تابش قرمز لومینسانس بین فوتومولتی پلایر و نمونه قرار گرفت.

برای اندازه‌گیری میزان اورانیم، توریم و پتاسیم از روش (ICP-MS) استفاده شد. میزان رطوبت با قرار دادن نمونه‌ها در داخل کوره به مدت ۲۴ ساعت و در دمای 50°C اندازه‌گیری شد. میزان دز کیهانی برای هر نمونه به صورت تابعی از عمق، طول و عرض جغرافیایی محاسبه شد (پرسکات و همکاران، ۱۹۹۴). مقدار α در حدود 0.04 ± 0.00^2 برآورد شد (ریز-جونز، ۱۹۹۵) با کمک این اطلاعات دز محیطی سالانه محاسبه شد.



(الف)



(ب)

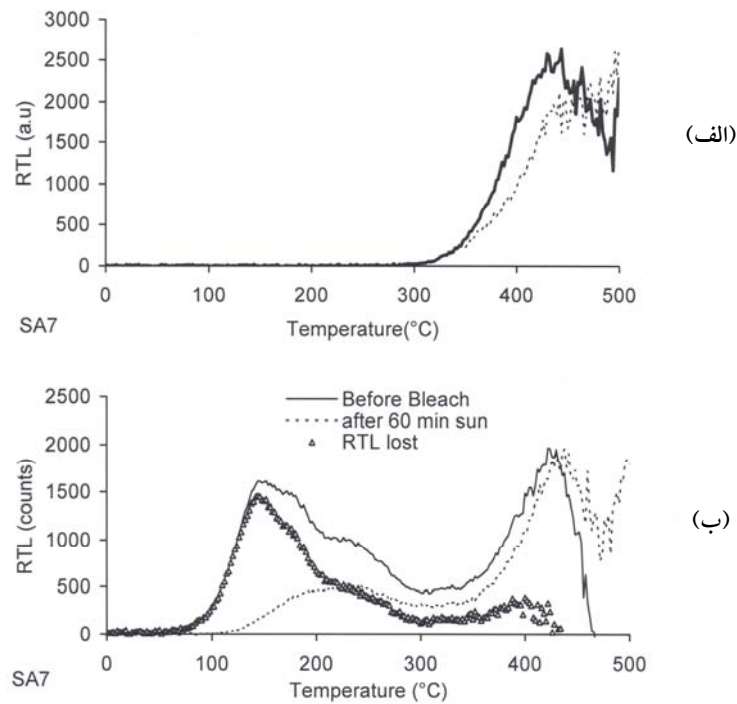


(ج)

شکل ۱. الف: یکی از مناطق نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. ب: نمونه داخل پلاستیک‌های سیاه و ضد نور در داخل آزمایشگاه زیر نور قرمز باز شده و سپس کوارتز خالص آن جداسازی می‌شود. ج: کوارتز روی دیسک‌های فولادی چسبانده می‌شود.



شکل ۲. دستگاه Riso TL/OSL مجهز شده به سامانه سرد کننده‌ای که قادر است لومینسانس قرمز را اندازه‌گیری کند.



شکل ۳. الف: ترمولومینسانس قرمز (طبیعی) نمونه (خط پیوسته)، ترمولومینسانس قرمز طبیعی پس از اینکه نمونه یک ساعت در معرض نور خورشید قرار گرفت (خط چین)، ب: ترمولومینسانس قرمز نمونه، پس از دزدهی مجدد در آزمایشگاه (خط پیوسته)؛ نمونه مجدداً دزدهی شده و یک ساعت در معرض نور خورشید قرار گرفته است (خط چین)؛ تفاوت دو منحنی ترمولومینسانس که نمایانگر ترمولومینسانس پاک شده (bleach) در اثر نور خورشید است.

نمونه، حساسیت نمونه افزایش یابد و رابطه مستقیمی بین تغییر حساسیت سیگنال پس از دزهای تولید مجدد و سیگنال پس از تست دز موجود باشد، (شکل ۶ نمایانگر چنین رابطه مستقیمی است)، می‌توان با تقسیم سیگنال ناشی از هر تولید مجدد به سیگنال آزمون دز پس از آن، تغییر حساسیت را کنترل و تصحیح کرد. اگر این عمل بتواند تغییر حساسیت را تصحیح کند، در آن صورت بایستی بتواند دز مصنوعی را بازیابی کند.

لذا به نمونه 180 Gy دز تاییده شد و سپس مراحل جدول ۱ صورت گرفت و آزمون دز معادل 60 Gy و $\beta_1 = 125$ ، $\beta_2 = 240$ ، $\beta_3 = 0$ ، $\beta_4 = 125 \text{ Gy}$ انتخاب شد. سپس این روش در مورد سه دیسک از نمونه SA7 به انجام رسید. و متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده $180 \pm 6 \text{ Gy}$ را به دست داد. به عبارت دیگر این روش با خطای کمتر از سه درصد توانست دز مصنوعی را بازیابی کند (شکل ۷).

اگرچه تفاوت‌هایی بین دز طبیعی و دز مصنوعی و تغییر حساسیت نمونه وجود دارد و هدف از گرم کردن اولیه نمونه قبل از اندازه‌گیری سیگنال TL حذف یا کم کردن این تفاوت‌ها است. لیکن بازیابی دز در آزمایشگاه، در حال حاضر، یکی از مهم‌ترین ابزارها برای آزمون روش‌های لومینسانس است.

روش دیگر آن است که دز طبیعی نمونه‌ها را به دست آوریم و با تقسیم دز معادل طبیعی بر دز محیطی (سالانه) سن نمونه را محاسبه و با سن‌های قابل انتظار مقایسه می‌کنیم. این امر مهم در مورد تعدادی نمونه رسوبات بادی که از ناحیه لینگتای در فلات رسوبات بادی چین جمع‌آوری شده و دارای سن‌های مستقل بود، صورت گرفت و نتایج حاصل از سن‌یابی از روش SAR-RTL با سن‌های مستقل مقایسه، که در شکل ۸ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که برای اندازه‌گیری دز معادل دز طبیعی نمونه‌ها در حالی که نمونه

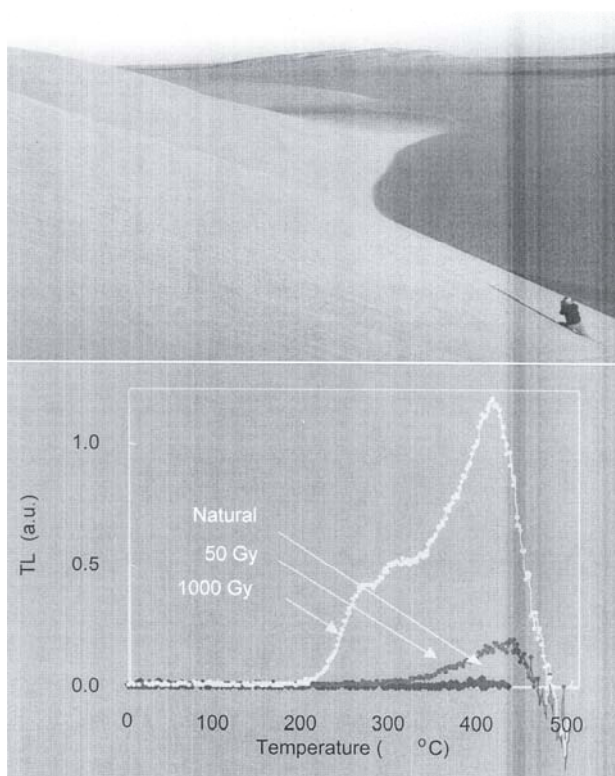
پوشانده شد. پس از سه هفته، ترمولومینسانس هر ۸ دیسک اندازه‌گیری شده و پس از نرمال‌سازی دیسک‌ها (آیتکن، ۱۹۸۵)، قابلیت صفر شدن مؤلفه نوری بررسی شد. پیک قالب $420-390^\circ \text{C}$ با نور خورشید کاهش یافت (شکل ۳).

۴ سنجش توانایی روش SAR-RTL

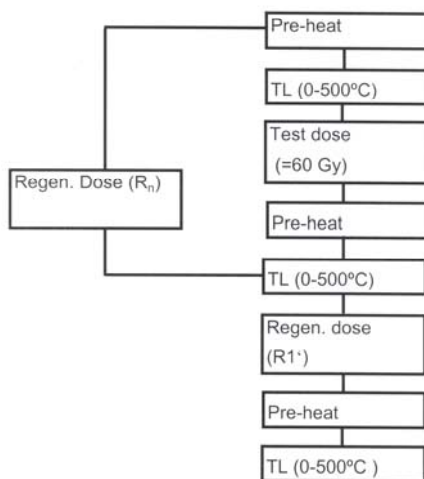
مراحل روش SAR-RTL در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این روش ابتدا نمونه طبیعی تا 330°C (پیش گرم شده و در آن دما به مدت ۱۰ ثانیه باقی می‌ماند. سپس نمونه تا دمای محیط سرد می‌شود و مجدداً تا 500°C گرم و طی آن سیگنال ترمولومینسانس اندازه‌گیری می‌شود. سپس نمونه سرد شده و مورد آزمون دز (مثلاً معادل 60 Gy) قرار می‌گیرد (مرحله ۳). و عملیات فوق مجدداً تکرار می‌شود (مراحل ۴ و ۵). آن‌گاه اولین دز اصلی (R_1) آزمون می‌شود (مرحله ۶ جدول). سپس مراحل ۵-۱ تکرار می‌شود و نمونه تحت دومین دز اصلی (R_2) قرار می‌گیرد. این عمل چندین بار تکرار می‌شود. در آخرین مرحله مجدداً نمونه تحت دز R_1 قرار می‌گیرد پیش گرم می‌شود و ترمولومینسانس آن را اندازه‌گیری می‌کنند.

۴-۱ بازیابی دز مصنوعی

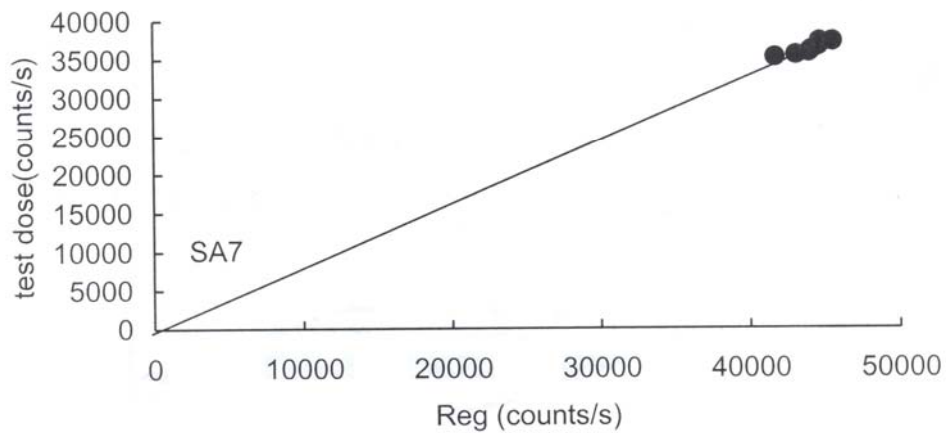
برای امتحان درستی روش SAR-RTL، سیگنال طبیعی ترمولومینسانس نمونه رسوبات بادی با گرم کردن نمونه تا 500°C اندازه‌گیری شده سپس نمونه در آزمایشگاه، تحت 180 Gy دز بتا قرار گرفت. و این دز به عنوان دز طبیعی تلقی شد. هدف آزمایش‌های آن است که ببینیم آیا روش SAR-RTL می‌تواند چنین دزی را به دست دهد یا خیر. در گام اول توانایی روش در تصحیح تغییر حساسیت بررسی شد. بدین منظور مراحل جدول ۱ صورت گرفت و آزمون دز معادل 60 Gy و $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ همگی مساوی انتخاب شدند. اگر در اثر دزدهی و گرم کردن



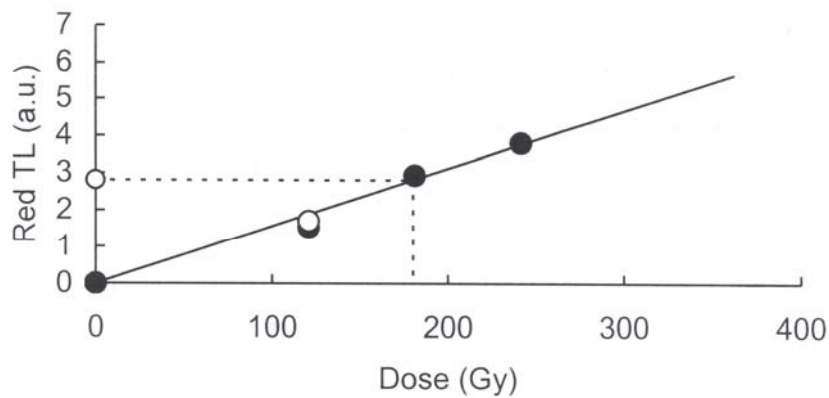
شکل ۴. نمونه از لایه‌ای که در معرض نور بوده است برداشته و لومینسانس طبیعی آن (Natural) اندازه‌گیری شد. سپس در آزمایشگاه ۵۰ Gy دز بتا تابیده شده و لومینسانس آن اندازه‌گیری شد. آن‌گاه در آزمایشگاه به نمونه ۱۰۰۰ Gy دز بتا تابیده شد و لومینسانس آن را اندازه‌گیری کردند.



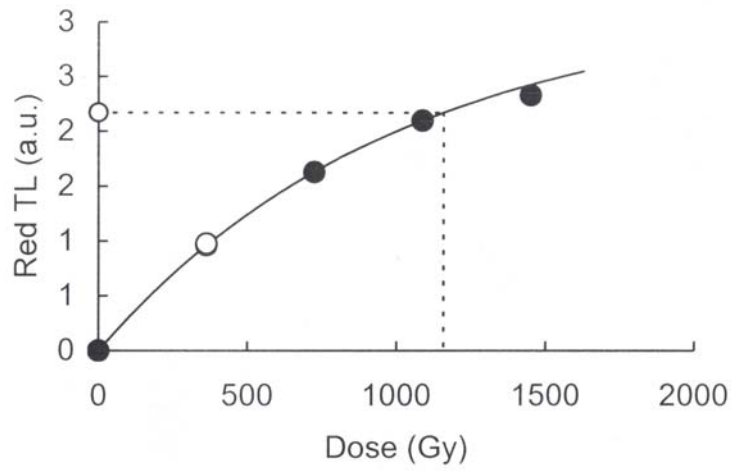
شکل ۵. روش SAR-RTL: ابتدا نمونه گرم می‌شود تا دمای مثلاً 330°C و برای مدت معینی مثلاً ۱۰ ثانیه در آن باقی می‌ماند (Pre-heat). سپس نمونه سرد و آن‌گاه مجدداً تا 500°C گرم و ترمولومینسانس آن اندازه‌گیری می‌شود. سپس اولین دز اصلی که در حدود دز طبیعی است به آن تابیده شد و مراحل قبلی تکرار می‌شود. این عمل n بار با دزهای اصلی مختلف که سیر صعودی دارد و دز طبیعی در میان آن قرار می‌گیرد تکرار می‌شود. در خاتمه برای آزمودن توانایی پروتکل، مجدداً اولین دز اصلی تابیده شده و عملیات Pre-heat و اندازه‌گیری ترمولومینسانس تکرار می‌شود و در نهایت بدون دادن دز کل مراحل فوق صورت می‌گیرد تا سیگنال صفر به دست آید.



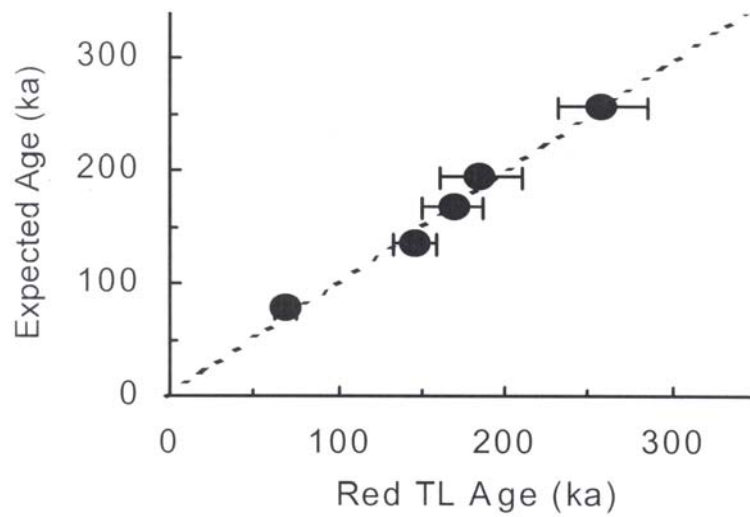
شکل ۶. با دادن دز مصنوعی به نمونه، ترمولومینسانس آن اندازه‌گیری شد. سپس آزمون دزی معادل ۶۰ Gy به آن تابیده و مجدداً ترمولومینسانس اندازه‌گیری شد. این عمل ۵ بار تکرار شد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رابطه خطی بین سیگنال پس از دز اصلی مصنوعی (Reg) و آزمون دز وجود دارد. این امر مهم نشان می‌دهد که می‌توان با تقسیم سیگنال Reg بر سیگنال test dose، حساسیت ایجاد شده در نمونه را تصحیح کرد.



شکل ۷. به نمونه‌ای که سیگنال طبیعی آن صفر شده است، ۱۸۰ Gy دز بتا داده شد و سیگنال ترمولومینسانس آن اندازه‌گیری شد و سپس ۶۰ Gy داده شد و سیگنال ترمولومینسانس آن اندازه‌گیری شد. مراحل شکل ۵ کاملاً صورت گرفت و دزهای Reg به ترتیب ۱۲۵، ۲۴۰، ۱۲۵ Gy انتخاب شدند. به کمک منحنی خطی دز معادل دز داده شده (۱۸۰ Gy) تخمین زده شد. دایره‌های سیاه نمایانگر Reg و دایره‌های سفید روی محور y و روی خط، به ترتیب سیگنال دز مورد بازیافت، و سیگنال دز دوم ۱۲۵ Gy است.



شکل ۸. منحنی استاندارد (Growth curve). دایره‌های سیاه (پر) مربوط به دزهای Reg، دایره‌های سفید (توخالی) روی محور Y، سیگنال طبیعی و دایره سفید (توخالی) روی منحنی، تکرار Reg است.



شکل ۹. رابطه خطی بین سن‌های حاصل از ترمولومینسانس قرمز با سن‌های مستقل (مغناطیسی، لومینسانس نوری و ترتیب تاریخی) را نشان می‌دهد.

رسوبات بادی تا دزهای بیش از ۱۰۰۰ Gy اشباع نمی‌شوند و لذا پتانسیل افزایش توان سن‌یابی رسوبات بادی با روش لومینسانس تا ۳۰۰/۰۰۰ سال را دارند که دو برابر لومینسانس آبی و فرابنفش است. روش SAR-RTL با موفقیت توانست سن‌هایی را ایجاد کند که با سن‌های مستقل تطابق داشتند.

تشکر و قدردانی

نمونه‌ها را استیفن استوکز، ایی استون و هلن بری جمع‌آوری کردند و با همکاری آنها آماده‌سازی و اندازه‌گیری‌ها صورت گرفت. امکانات آزمایشگاه لومینسانس دانشگاه اکسفورد به سرپرستی دکتر استیفن استوکز به صورت مجانی در اختیارم قرار گرفت. بدون این امکانات عملی ساختن این پروژه میسر نبود. این کار بخشی از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تهران با عنوان "استفاده از SAR ترمولومینسانس قرمز برای سن‌یابی کوارتزهای با منشأ غیر آتشفشانی" به شماره ۶۵۲/۳/۱۰۳۷ است.

منابع

- Aitken, M. J., 1985, Thermoluminescence Dating: Academic Press, London, 359.
- Aitken, M. J., 1990, Science-based Dating in Archaeology: Longman, London, 274.
- Berger, G. W., 1986, Dating Quaternary deposits by luminescence-recent advances: Geosci. Can, **13**, 15-21.
- Duller, G. A. T., 1991, Equivalent dose determination using single aliquots: Nucl. Tracks Rad. Meas. **18**, 371-378.
- Fattahi, M., 2001, Studies on red thermoluminescence and infrared stimulated red luminescence: Unpublished D. Phil. thesis, Oxford University, Oxford.
- Fattahi, M., 2003b, Recent developments in Luminescence dating: Iranian Int. J. Sci. **4**(1), 57-72.
- Fattahi, M., and Stokes, S., 2000a, Red thermoluminescence (RTL) in volcanic quartz: development of a high sensitive detection system and some preliminary findings. Ancient TL., **18**, 35-44.

دفن بوده است، از هر نمونه هشت دیسک تهیه، چهارتای آنها به مدت سه هفته در معرض نور خورشید قرار گرفت، چهارتای دیگر در تاریکی نگه داشته شد. D_e حاصل از کلیه دیسک‌ها اندازه‌گیری و پس از نرمال‌سازی، D_e حاصل از دیسک‌هایی که سه هفته آفتاب خورده بودند (لومینسانس غیرنوری باقی‌مانده) از D_e حاصل از دیسک‌هایی که در تاریکی نگه داشته شده بود (لومینسانس کل شامل نوری و غیرنوری) کم شد. D_e باقی‌مانده نمایانگر دزی است که از آخرین آفتاب‌خوردگی قبل از دفن تا زمان نمونه‌برداری تحت تابش پرتوهای محیطی در نمونه انباشته شده است.

سپس برای بررسی میزان اشباع‌شدگی سیگنال ترمولومینسانس قرمز، D_e نمونه‌های عربی اندازه‌گیری و ملاحظه شد که سیگنال آنها تا ۱۰۰۰ Gy اشباع نشده‌اند (شکل ۹-ج). بدین منظور پس از پاک کردن سیگنال طبیعی یک دیسک، به آن دز داده شده و لومینسانس آن اندازه‌گیری شد و سپس روش SAR-RTL اعمال و طی آن میزان دز تا ۱۵۰۰ Gy افزایش یافت. شکل ۹ سیگنال ترمولومینسانس قرمز، منحنی استاندارد و تغییرات حساسیت را نشان می‌دهد. دز محیطی معمولاً بین نیم تا سه Gy بر ۱۰۰۰ سال است. با تقسیم $D_e = 1000$ Gy بر دز محیطی معادل سه Gy، سن حدود ۳۰۰۰۰۰ سال به دست می‌آید.

۵ نتیجه‌گیری

کوارتزهای استخراج شده از رسوبات بادی سیگنال ترمولومینسانس قرمز تولید می‌کنند. سیگنال ترمولومینسانس قرمز با نور خورشید پاک (bleach) می‌شود و مؤلفه نوری آن ممکن است کاملاً صفر شود. روش SAR-RTL می‌تواند با موفقیت دز مصنوعی که توسط پرتو β در آزمایشگاه به نمونه داده شده است، بازیابی کند. سیگنال ترمولومینسانس قرمز کوارتزهای

- Japanese twin quartz: *Radiat. Meas.* **29(5)**, 493-502.
- Hashimoto, T., Yokosaka, K., and Habuki, H., 1987, Emission properties of thermoluminescence from natural quartz- blue and red TL response to absorbed dose: *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **13**, 57-66.
- Huntley, D. J., Godfrey-Smith, D. I., and Thewalt, M. L. W., 1985, Optical dating of sediments: *Nature*, **313(5998)**, 105-107.
- Kuka, G., and An, Z., 1989, Loess stratigraphy in central China, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **72**, 203-225.
- Mejdahl, V., and Botter-Jensen, L., 1994, Luminescence dating of archeological sediment using a new technique based on single aliquot measurements: *Quaternary Geochron.* **7**, 551-554.
- Mejdahl, V., and Bøtter-Jensen, L., 1997, Experience with the SARA OSL method: *Radiat. Meas.* **27(2)**, 291-294.
- Miallier, D., Fain, J., Montret, M., Pilleyre, T., Sanzells, S., and Soumana, S., 1991, Properties of the red TL peak of quartz relevant to thermoluminescence dating: *Nucl. Tracks Radiat. Meas.* **18(1/2)**, 89-94.
- Miallier, D., Fain, J., Montret, M., Pilleyre, T., Sanzells, S., and Soumana, S., 1994a, Sun bleaching of the red TL of quartz: preliminary observations. *Ancient TL.*, **12(1)**, 1-4.
- Miallier, D., Fain, J., Sanzells, S., Pilleyre, T., Montret, M., Soumana, S., and Falgueres, C., 1994b, Attempts at dating pumice deposits around 580 ka by use of red TL and ESR of xenolithic quartz inclusions: *Radiat. Meas.* **23**, 399-404.
- Miallier, D., Sanzelle, S., Falgueres, C., Fain, J., Montret, M., Pilleyre, T., Soumana, S., Laurent, M., and Camus, G., 1994c, Intercomparisons of red TL and ESR signals from heated quartz grains: *Radiat. Meas.* **23**, 143-154.
- Murray, A. S., 1996, Developments in optically stimulated luminescence and photo-transferred thermoluminescence dating of young sediments: application to a 2000 year sequence of flood deposits: *Geochem. Cosmochim. Ac.* **60**, 565-576.
- Murray, A. S., Roberts, R. G., and Wintle, A.G., 1997, Equivalent dose measurement using a single aliquot of quartz: *Radiation Meas.* **27**, 171-184.
- Murray, A. S., and Wintle, A.G., 2000, Luminescence dating of quartz using an
- Fattahi, M., and Stokes, S., 2000b, Extending the time range of luminescence dating using red TL (RTL) from volcanic quartz: *Radiat. Meas.* **32**, 479-485.
- Fattahi, M., and Stokes, S., 2003a, Red luminescence from potassium feldspar for dating applications: a study of some properties relevant for dating. *Radiat. Meas.* **37(6)**, 647-660.
- Fattahi, M., and Stokes, S., 2003c, Dating volcanic and related sediments by luminescence methods: a review: *Earth Sci. Rev.* **62(3-4)**, 229-264.
- Fattahi, M., and Stokes, S., 2004, Absorbed dose evaluation in feldspar using a single-aliquot regenerative-dose (SAR) infrared-stimulated red luminescence protocol: *Radiat. Meas.* **38(1)**, 127-134.
- Fattahi, M., and Stokes, S., 2005, Dating unheated quartz using a single-aliquot regenerative-dose red thermoluminescence protocol: *J. lumen.* **115**, 19-31.
- Franklin, A. D., Prescott, J. R., and Robertson, G. B., 2000, Comparison of blue and red TL from quartz. *Radiat. Meas.* **32**, 633-639.
- Frechen, M., Oches, N., and Kohfed, E., 2003, Loess in Europe mass accumulation rates during the last period: *Quaternary Science Rev.* **22**, 1835-1857.
- Galloway, R. B., 1996, Equivalent dose determination using only one sample: alternative analysis of data obtained from infrared stimulation of feldspar: *Radiation Meas.* **26**, 103-106.
- Hashimoto, T., Hayashi, Y., Koyanagi, A., Yokosaka, K., and Kimura, K., 1986, Red and blue colouration of thermoluminescence from natural quartz sands: *Nuclear Tracks and Radiat. Meas.* **11**, 229-235.
- Hashimoto, T., Kojima, M., and Sakai, T., 1991, Age determination of prehistorical sites in Japan using red thermoluminescence measurements from quartz grains: *Arch. Natural Sci.* **23**, 13-25.
- Hashimoto, T., Notoya, S., Komura, K., and Shiral, N., 1996, Red thermoluminescence dating of some volcanic-ash and pyroclastic-flow layers related to Takamori pre-historical sites using quartz inclusion method: *Arch. Natural Sci.* **33**, 1-15.
- Hashimoto, T., Yasuda, K., Sato, H., Sakaue, H. and Katayama, H., 1998, Radiation-induced luminescence images and TL-property changes with thermal annealing treatment on

- quartz single aliquot De determination procedures. *Radiat. Meas.* **32**, 585-594.
- Singhvi, A. K., Bluszcz, M. D., and Bateman, M. S. Rao., 2001, Luminescence dating of loess-palaeosol sequences and coversands: methodological aspects and palaeoclimatic implications, *Earth-Sci. Rev.* **54**, 193-211.
- Singhvi, A. K., Sharma, Y. P., and Agrawal, D. P., 1982, Thermoluminescence dating of sand dunes in Rajasthan, India. *Nature*, **295**, 313-315.
- Wintle, A. G., 1981, Thermoluminescence dating of the Devensian loesses in southern England, *Nature*, **289**, 479-480.
- Wintle, A. G., 1990, A review of current research on TL dating of loess, *Quaternary Sci. Rev.* **9**, 385-397.
- Wintle, A. G., 1993, Recent developments in optical dating of sediments: *Radiation Prot. Dosim.* **47(1-4)**, 627-635.
- Wintle, A. G., and Huntley, D. J., 1980, *Canadian J. Earth Sci.* **17**, 348-360.
- Wintle, A. G., and Proszynska, H., 1982, TL-dating of loess in Germany and Poland, *PACT Rixensart Belg.*, **9**, 547-554.
- improved single-aliquot regenerative-dose protocol: *Radiat. Meas.* **32(1)**, 57-73.
- Pilleyre, T., Montret, M., Fain, J., Miallier, D., and Sanzelle, S., 1992, Attempts at dating ancient volcanoes using the red TL of quartz: *Quaternary Sci. Rev.* **11**, 13-17.
- Prescott, J. R., Fox, P. J., Robertson, G. B., and Hutton, J. T., 1994, Three-dimensional spectral studies of the bleaching of the thermoluminescence of feldspars: *Radiat. Meas.* **23(2-3)**, 367-375.
- Prescott, J. R., and Robertson, G. B., 1997, Sediment dating by luminescence: a review: *Radiat. Meas.* **27(5/6)**, 893-922.
- Rees-Jones, J., 1995, Optical dating of young sediments using fine grain quartz, *Ancient TL*, **13 (2)**, 9-14.
- Scholefield, R. B., and Prescott, J. R., 1999, The red thermoluminescence of quartz: 3-D spectral measurements: *Radiat. Meas.* **30**, 83-95.
- Stokes, S., 1994, The timing of OSL sensitivity changes in a natural quartz: *Radiat. Meas.* **23**, 601-605.
- Stokes, S., Colls, E., Fattahi M., and Rich, J., 2000, Investigation of the performance of