

سن‌یابی به‌روش لومینسانس نوری نمونه‌های رسوبی برداشت‌شده از تراس‌هایی رودخانه‌ای کارون در خوزستان، جنوب غرب ایران

مرتضی فتاحی^{۱*}، کوین وودبریج^۲ و مارک دبیتمن^۳

۱. دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲. دانشجوی دکتری، انستیتو انرژی و محیط، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه هال، هال، انگلستان

۳. استاد، دانشکده جغرافی، دانشگاه شفیلد، شفیلد، انگلستان

(دریافت: ۹۷/۷/۲۵، پذیرش نهایی: ۹۸/۲/۲۴)

چکیده

تراس‌های آبرفتی اطراف رود کارون به‌صورت توأم تحت‌تأثیر آب‌وهوا و تکتونیک بوده و می‌باشند. سازندهای سطحی تراس‌های آبرفتی عموماً محیط‌های مناسبی برای تجمع انسان‌ها بوده‌اند، لذا تحت‌تأثیر انسان‌ها نیز قرار گرفته‌اند و بررسی آنها از دیدگاه‌های مختلف از جمله زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، دیرینه‌اقلیم‌شناسی و باستان‌شناسی ضروری است. در خوزستان -تراس‌های آبرفتی متعددی وجود دارد که مطالعه آنها اطلاعات مهمی را در اختیار می‌گذارد. یافتن سن رسوبات نقشی کلیدی در این مطالعات دارد. به‌عنوان مثال می‌توان به‌کمک آنها نرخ بالا آمادگی را تخمین زد.

این مقاله ارائه‌کننده تکنیک‌هایی است که جهت اندازه‌گیری سن هفت نمونه برداشت‌شده از تراس‌های رودخانه‌ای کارون انجام شده است. کوارتزهایی از این نمونه‌ها استخراج شد و با استفاده از روش دانه درشت و تک‌الیکوتی سن‌یابی شدند. به‌منظور اندازه‌گیری سن، نمونه‌ها به‌روش لومینسانس نوری تحریک شد و با دو پارامتر دز معادل، دز طبیعی و دز سالانه اندازه‌گیری شد. با تقسیم این دو پارامتر سن نمونه‌ها تخمین زده شد. دزهای معادل به‌دست آمده برای هر نمونه پراکندگی زیادی را نشان دادند که موجب شد تا سن‌های مختلف با توجه به مدل‌های مختلف برای هر نمونه به‌دست آید. اطلاعات کامل در مورد محل تراس‌ها و محل نمونه‌برداری ارائه شده است تا این سن‌ها بتواند جهت تحقیقات بیشتر مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سن‌یابی، لومینسانس نوری، تراس رودخانه‌ای، کارون.

۱. مقدمه

سختی کار آن بود که کوارتزهای استخراج‌شده از آن نمونه‌ها رفتار خوبی از بعد سن‌یابی به‌روش لومینسانس نداشتند. به‌رحال آزمایشات انجام و تنها برخی نتایج آن چاپ شد (وودبریج و فروستیک، ۲۰۱۴؛ وودبریج و همکاران، ۲۰۱۶). این مقاله اطلاعات تکنیکی شامل منحنی‌های اندازه‌گیری لومینسانس به‌همراه دزهای معادل دز طبیعی و کلیه سن‌های چاپ‌شده و چاپ‌نشده ارائه می‌دهد تا بتواند مورد استفاده پژوهشی خاصه جهت انجام پایان‌نامه‌ها قرار گیرد.

۲. منطقه مورد بررسی و نمونه‌ها

سازندهای سطحی تراس‌های آبرفتی رود کارون که در اثر تغییرات اقلیمی و یا تکتونیک و حتی تغییرات نسبی آب خلیج فارس ایجاد شده‌اند، عموماً محیط‌های مناسبی

با توجه به گران بودن سن‌یابی و محدودیت بسیار زیاد بودجه جهت سن‌یابی در ایران، نویسنده اول بر آن شد تا اطلاعات تکنیکی بیشتری همراه با کلیه سن‌های به‌دست آمده در مورد برخی نمونه‌های برداشت‌شده جهت سن‌یابی به‌روش لومینسانس در اختیار هموطنان قرار دهد تا متخصصین مختلف و خاصه دانشجویان بتوانند از آنها استفاده کنند. به‌عنوان مثال در حدود ده سال پیش کوین وودبریج جهت انجام تحقیقات خود تحت عنوان اثر حرکات سطح زمین و فعالیت‌های انسانی بر زمین‌های اطراف کارون و کرخه در جنوب غربی ایران (وودبریج، ۲۰۱۳)، چندین تراس رودخانه‌ای را در اطراف کارون و کرخه شناسایی و نام‌گذاری کرد و از آنها به‌منظور سن‌یابی به‌روش لومینسانس نوری نمونه‌برداری کرد. آن نمونه‌ها در دانشگاه شفیلد به سختی سن‌یابی شد. دلیل

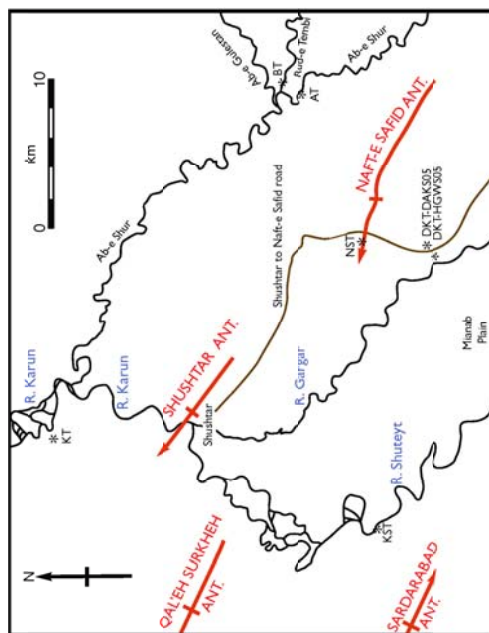
چهار تراس رودخانه‌ای درخزینه، بتوند، نفت سفید و آبگاه مرتبط با آنتی کلاین نفت سفید است. یک تراس رودخانه‌ای کبوتر خان سولفا مرتبط با آنتی کلاین صدر آباد است. یک تراس رودخانه‌ای کوشکک مرتبط با آنتی کلاین شوشتر است. ریخت‌شناسی برخی از این تراس‌های رودخانه‌ای و رسوبات آنها که در معرض دید قرار گرفته است در شکل ۲ نشان داده شده است.

از لایه‌های یکنواخت و هموژن این رسوبات برای سن‌یابی به‌روش لومینسانس نمونه‌گیری انجام شد (شکل ۲). مشخصات جغرافیایی محل این نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. نمونه‌ها در داخل لایه‌های ضد نور به آزمایشگاه سن‌یابی لومینسانس دانشگاه شفیلد منتقل شد.

برای تجمع انسان‌ها بوده‌اند، لذا بررسی آنها از دیدگاه‌های مختلف از جمله زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، دیرینه اقلیم‌شناسی و باستان‌شناسی ضروری است. تراس‌های آبرفتی رود کارون در اثر برخورد رود کارون با تپه‌ها و کوه‌ها ایجاد شده است. تراس‌های رودخانه‌ای سیستم رود کارون مرتبط با چین‌خوردگی‌های فعال (با جهت شمال غرب-جنوب شرق) است. یافتن سن رسوبات تراس‌های آبرفتی نقشی کلیدی در این مطالعات دارد (بلانک و همکاران، ۲۰۰۳). لذا می‌توان به کمک آنها نرخ متوسط بالا آمدگی تکتونیک را در بازه‌های هزار و ده‌ها هزار ساله تخمین زد (بال، ۱۹۹۱؛ بارینک و اندرسون، ۲۰۱۲). در دشت بالای خوزستان شش تراس رودخانه‌ای در اطراف رود کارون شناسایی شد (شکل ۱). این‌ها شامل

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی و عمق نسبت به سطح لایه نمونه‌های برداشت‌شده جهت سن‌یابی به‌روش لومینسانس.

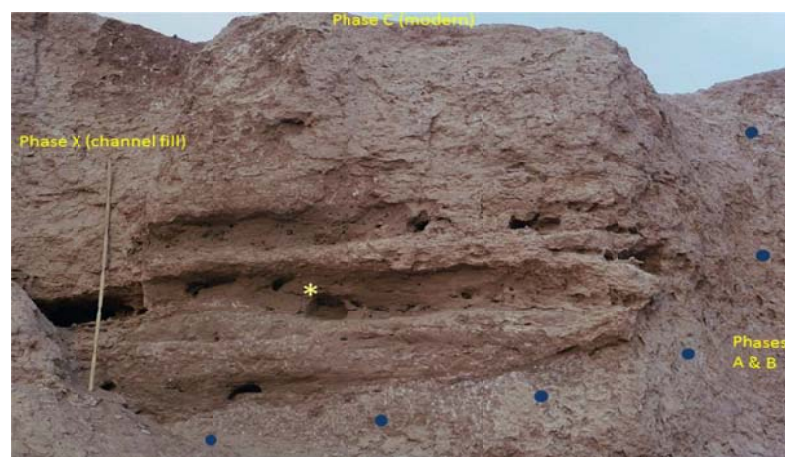
Lab No.	Field Reference	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Altitude (m)	Sampling Depth
Shfd08202	Sample #11 right	32° 52'	48° 59'	31	245
Shfd08204	Sample #1	32° 01'	49° 06'	100	460
Shfd08205	Sample #2 left	32° 00'	49° 06'	98	590
Shfd08206	Sample #3 right	31° 54'	48° 59'	30	190
Shfd08207	Sample #4 right	31° 54'	48° 59'	28	300
Shfd08209	Sample #7 right	31° 59'	49° 06'	115	710
Shfd08210	Sample #10	32° 08'	48° 50'	60	1250



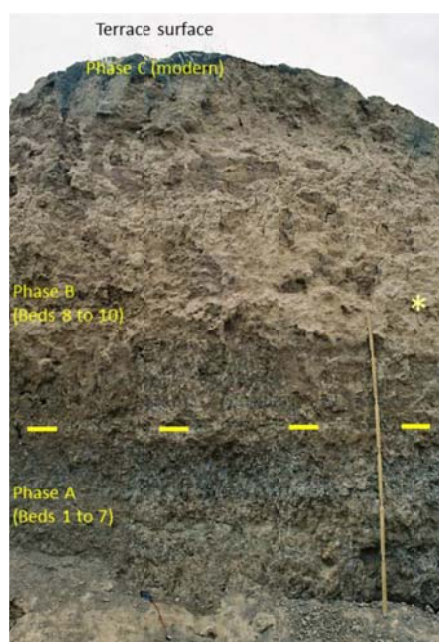
شکل ۱. تراس‌های رودخانه‌ای اطراف رود کارون در ناحیه شمالی خوزستان (وودبریج، ۲۰۱۳): AT: تراس آبگاه، BT: تراس بتوند، DKT-DAKS05: تراس درخزینه (در شرق جاده)، DKT-HGWS05: تراس درخزینه (در غرب جاده)، KST: تراس کبوتر خان سولفا، KT: تراس کوشکک، NST: تراس نفت سفید.



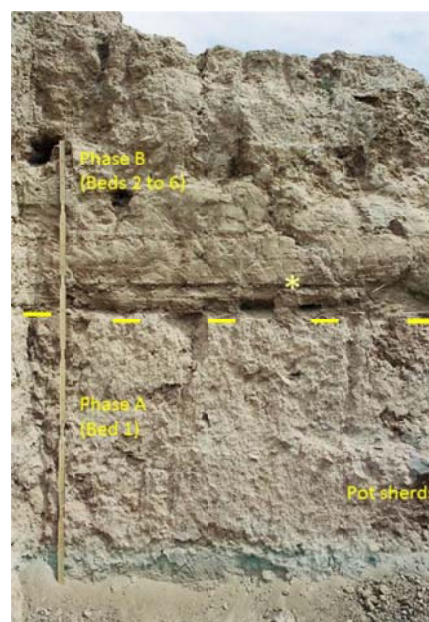
(الف)



(ب)



(د)



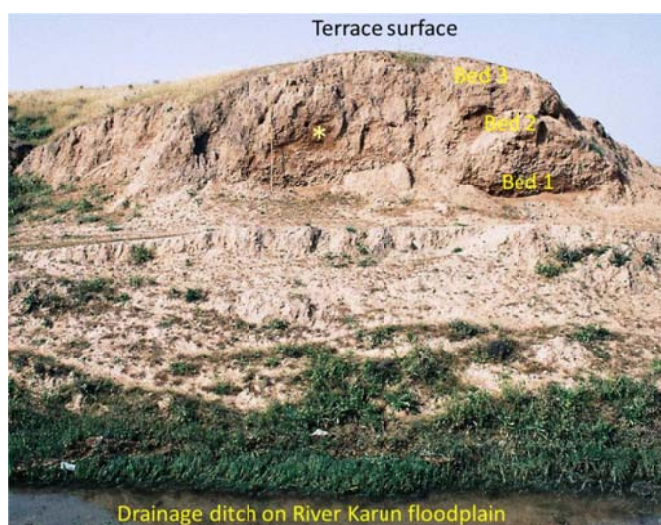
(ج)



(ش)



(س)



(ع)

شکل ۲. تراس‌های رودخانه‌ای کارون (وودبریج، ۲۰۱۳). الف) تراس در خزینه که مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. نگاه کلی از شمال شرق به منطقه تراس در $31^{\circ}54'35''N$ $48^{\circ}59'E$ (ب) تراس در خزینه که مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. نمایی از کانال وادی. نگاه از شرق-شمال شرق نزدیک $31^{\circ}54'35''N$ $48^{\circ}59'09''E$ طول چوب در سمت چپ تصویر ۲ متر است. دایره‌های آبی نمایانگر قسمت پایینی کانال است. ستاره زرد رنگ محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08207 را نشان می‌دهد. ج) تراس در خزینه که مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. نمایی از رسوبات تراس در نزدیک $31^{\circ}54'47''N$ $48^{\circ}59'29''E$ با نگاه از شرق. ستاره زرد رنگ محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08206 را نشان می‌دهد. د) تراس در خزینه که مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. نمایی از رسوبات تراس در نزدیک $31^{\circ}54'46''N$ $48^{\circ}59'23''E$ با نگاه از جنوب-جنوب غربی. ستاره زرد رنگ محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08202 را نشان می‌دهد. س) تراس آبگاه که مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. نمایی کلی به رسوبات تراس با نگاه از جنوب غربی به $31^{\circ}59'32''N$ $49^{\circ}05'43''E$ با نگاه از جنب-جنوب غربی. ستاره زرد رنگ محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08209 را نشان می‌دهد. ش) تراس بتوند که مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. نمایی کلی به رسوبات تراس با نگاه از جنوب-جنوب غربی به $32^{\circ}00'08''N$ $49^{\circ}06'06''E$ طول خط‌کش نیم‌متر است. ستاره صورتی رنگ بالا محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08204 و ستاره زرد رنگ پایین ترتیب محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08205 را می‌دهد. ع) تراس کوشک که مرتبط با آنتی‌کلاین شوستر است. نمایی کلی به رسوبات تراس با نگاه از جنوب غرب به $32^{\circ}08'07''N$ $48^{\circ}50'34''E$. ستاره زرد رنگ محل نمونه‌برداری نمونه Shfd08210 را نشان می‌دهد. طول خط‌کش ۲ متر است.

تعداد الکترون‌های داخل تله را اندازه‌گیری کنیم و بر تعداد الکترون‌هایی که طی یک سال در تله می‌افتد تقسیم کنیم، سن نمونه از زمان آخرین رسوب‌گذاری به دست می‌آید.

در عمل برای سن‌یابی هر نمونه برداشت‌شده از طبیعت، در آزمایشگاه ذرات کوارتز و فلدسپار داخل آن نمونه، جدا می‌شوند. سپس این کانی‌ها با استفاده از نور با شدت و طول موج خاص تحریک می‌شوند تا تولید رخشانی کنند. سپس با استفاده از یک فتومولتی-پلایر میزان این رخشانی (طبیعی) اندازه‌گیری می‌شوند. تعداد فوتون‌های اندازه‌گیری شده، معادل تعداد الکترون‌های جمع شده در تله طی زمان مدفون بودن در طبیعت است. تعداد الکترون‌های داخل تله رابطه مستقیمی با دُز پرتوزای محیطی که نمونه رسوبی در آن قرار داشته‌اند، دارد. با مقایسه سیگنال طبیعی و سیگنال حاصل از دزهای مصنوعی داده شده در آزمایشگاه، دز معادل دز طبیعی به دست می‌آید.

به‌منظور اندازه‌گیری دُز معادل دز طبیعی روش‌های متفاوتی وجود دارد. یکی از این روش‌ها پروتکل تولید مجدد تک-الیکوتی (SAR, Single Aliquot) (Regeneration) است که ماری و وینتل در سال ۲۰۰۰ معرفی کردند. در این پروتکل ضروری است پس از اندازه‌گیری سیگنال رخشانی طبیعی، نمونه را تحت دزهای مشخص آزمایشگاهی قرار داده و سپس سیگنال رخشانی ناشی از آنها را اندازه‌گیری کرد. با استفاده از دُزهای داده شده و سیگنال اندازه‌گیری شده ناشی از آن دُزها، منحنی استاندارد را ساخت و به کمک آن دُز معادل دُز طبیعی را به دست آورد. اگر بتوانیم میزان دُز طبیعی حاصل، طی دورانی که نمونه تحت تابش پرتوهای پرتوزا در طبیعت بوده است را به دست آوریم و بر میزان دُزی که نمونه در هر سال دریافت کرده است (نرخ دُز) تقسیم کنیم، می‌توانیم سن آخرین صفرشدگی سیگنال رخشانی را به دست آوریم.

۳. سن‌یابی نمونه‌ها به روش لومینسانس

لومینسانس برانگیخته با نور یکی از روش‌های مهم سن‌یابی مطلق در عصر حاضر است. این روش در بررسی فعالیت‌های زمین‌ساختی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش کلیدی دارد. با استفاده از این روش آخرین حادثه نورخوردگی رسوبات سن‌یابی می‌شود. سن‌یابی به روش رخشانی نوری به علت خشک و نیمه‌خشک بودن ایران با شدت نور آفتاب زیاد، روشی مناسب برای سن‌یابی رسوبات است، زیرا اولاً به‌طور مستقیم رسوبات را سن‌یابی می‌کند و ثانیاً محدوده سنی آن می‌تواند دوره کواترنری را پوشاند.

در این روش، زمان سپری شده از آخرین باری که نمونه در معرض آفتاب بوده است و کلیه الکترون‌های داخل تله در اثر نور خارج شده است، تعیین می‌شود. یعنی فرض می‌شود که در زمان دفن شدن کوارتز و فلدسپار، هیچ الکترونی در تله آنها وجود نداشته است و در هنگام رسوب‌گذاری نیز هیچ تغییر و تحولی در لایه مورد سن‌یابی صورت نگرفته است. بنابراین سن به دست آمده از تراس‌های رودخانه‌ای می‌تواند در واقع بیانگر زمان رسوب‌گذاری در تراس رودخانه‌ای باشد.

۳-۱. اصول روش سن‌یابی لومینسانس

در طبیعت مواد معدنی داخل رسوبات از جمله کوارتز و فلدسپار تحت تأثیر اشعه‌های ناشی از مواد رادیواکتیو هستند. لذا کوارتز و فلدسپار درحکم دُزیمتر عمل می‌کنند، به‌طوری‌که می‌توانند مقدار تابشی که از پرتوزایی ایزوتوپ‌های پرتوزای عنصرهایی چون اورانیم، توریم، روبیدیم و پتاسیم ساطع می‌شود را در خود ثبت کنند. پرتوها باعث یونیزاسیون اتم‌ها می‌شوند و الکترون‌ها از اتم جدا شده و در داخل نقایص موجود در ساختارهای بلوری این کانی‌ها ذخیره می‌شود که به آن، در تله افتادن الکترون‌ها گفته می‌شود. با گذشت زمان تعداد الکترون‌های در تله اضافه می‌شود. چنان‌چه ما بتوانیم

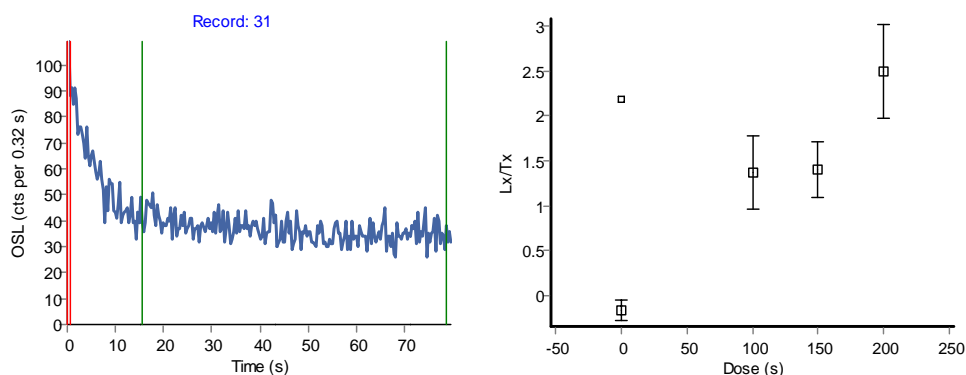
۳-۲. شرح آزمایش‌ها

نمونه‌های استخراج شده از منطقه نمونه‌برداری به آزمایشگاه لومینسانس دانشگاه شفیلد منتقل شد. به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها و اندازه‌گیری دُرمعادل دز طبیعی فرآیند توصیه شده بیتمن و کت (۱۹۹۶) مورد استفاده قرار گرفت. در تاریکی و تحت نور بسیار ضعیف سرخ دانه‌های هر نمونه با الکترون به صورت خشک به اندازه‌های متفاوت تقسیم شد. دانه‌های با اندازه بین ۲۵۰-۹۰ میکرون در اسید کلریدریک قرار گرفت تا مواد آهکی آن از بین برود. سپس نمونه شستشو داده شد و در کوره قرار گرفت. پس از خشک شدن، نمونه در آب اکسیژنه قرار گرفت تا مواد آلی آن از بین برود. سپس شستشو داده شد و در کوره قرار گرفت. آنگاه دانه‌ها با کمک مایع سنگین پلی‌تنگستیت به وزن‌های متفاوت تقسیم شدند و وزن بین ۲/۵۸ تا ۲/۷۲ که حاوی کوارتز است جدا شد و با آب مقطر شسته شد و در کوره قرار گرفت. به منظور از بین بردن همه ناخالصی‌ها از جمله انواع فلدسپار، نمونه به مدت ۵۰ دقیقه در اسید فلوریدریک ۴۸٪ قرار گرفت. پس از شستشو با آب مقطر به مدت یک روز در اسید کلریدریک ۱۰٪ قرار گرفت. مجدداً با آب مقطر شستشو داده شد و در داخل کوره قرار گرفت. به این طریق، کوارتز خالص حاصل شد. دانه‌های کوارتز بر روی دیسک‌هایی از جنس استینلس استیل با کمک چسب سیلیکان چسبانده شد که در دنیای لومینسانس به این مجموعه الیکوت گفته می‌شود.

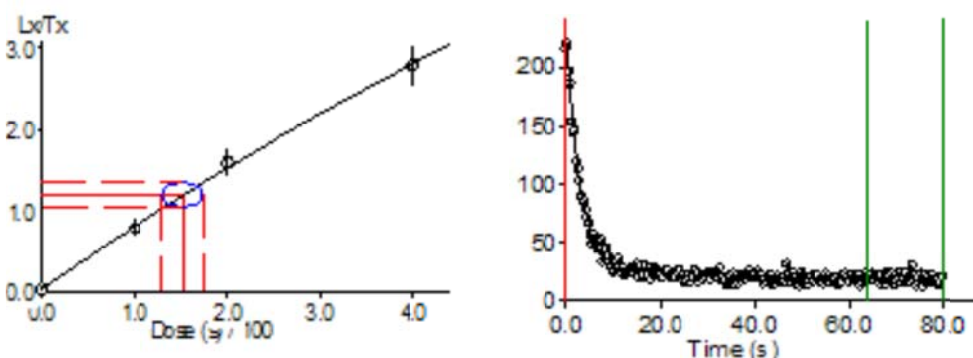
برای تمام اندازه‌گیری‌های لومینسانس از دو دستگاه ریزو استفاده شد. یکی مجهز به دیود سبز-آبی بود (DA-20

Risø luminescence reader) دیگری مجهز به لامپ هالوژن با فیلتر سبز برای تحریک نمونه جهت تولید لومینسانس بود (upgraded DA-12 Risø). لومینسانس تحریک شده یا نور توسط عدسی (Hoya 340) هویا ۳۴۰ میکرون فیلتر شد. دزهای مصنوعی توسط منبع بتای استرنتیوم ۹۰ تأمین شد. از لومینسانس تحریک شده با نور مادون قرمز جهت بررسی احتمال وجود ناخالصی یا آلودگی کوارتز به فلدسپار استفاده شد.

الیکوت‌ها در داخل دستگاه‌های ریزو قرار گرفت و سیگنال لومینسانس نزولی آنها برای ۸۰ ثانیه اندازه‌گیری شد. تمام نمونه‌ها سیگنال لومینسانس نزولی طبیعی ضعیفی از خود نشان دادند. اما بسیاری از الیکوت‌ها تولید سیگنال مناسب نکردند و لذا حذف شدند. در هنگام اندازه‌گیری دز معادل دز طبیعی و یا آزمایشگاهی بسیاری از الیکوت‌هایی که تولید سیگنال کردند قادر به فراهم کردن منحنی رشد استاندارد مناسب نبودند (شکل ۳) لذا حذف شدند. بقیه الیکوت‌ها که تولید سیگنال و منحنی رشد استاندارد مناسب کرده بودند مورد نظر قرار گرفت (شکل ۴). برای تعیین دُرمعادل دُرمعادل طبیعی از پروتکل تولید مجدد تک‌الیکوتی ماری و وینتل (۲۰۰۰) استفاده شد. ابتدا پیش‌گرمای مختلف به الیکوت داده شد (الیکوت به مدت ۱۰ ثانیه در دما نگه داشته شد) و توانایی بازیابی دُرمعادل مشخصی که در آزمایشگاه به نمونه داده شده است همراه با تصحیح تغییر حساسیت در اثر دُرمعادل و گرما و نور بررسی شد. سپس پروتکل تولید مجدد تک‌الیکوتی با اعمال دزهای مختلف آزمایشگاهی اجرا شد. با توجه به آن که این روش یکی از روش‌های قابل اجرا در نرم‌افزار آنالیز است؛ داده‌های اندازه‌گیری شده حاصل از ذرات کوارتز، وارد برنامه آنالیز شد.



شکل ۳. نمونه‌ای از عدم توانایی (الیکوتی که تولید سیگنال لومینسانس کرد) در ایجاد منحنی رشد مناسب.



شکل ۴. مثالی از الیکوت‌هایی از نمونه ۲۰۴ که تولید سیگنال لومینسانس طبیعی قابل قبول (اما نه ایده‌آل) کرد، زیرا مؤلفه کند دارد (تصویر سمت راست)، و تولید منحنی رشد خوب کرد (تصویر سمت چپ).

اصلی تا دمای خاصی گرم می‌شود. این دمای خاص به نمونه وابسته است و در برخی از کوارتزها، بعضی از این بارهای آزاد شده در اثر گرما دوباره در تله‌های دیگر به دام می‌افتند (مری و اولی، ۲۰۰۲). برای مثال الکترون‌های موجود در تله‌های TL 320°C ، در دمای محیط پایدار هستند. اما اگر این الکترون‌ها در معرض نور خورشید، یا معادل آن به مدت بیش از حدود یک دقیقه در دمای مناسبی قرار گیرند، از تله خارج می‌شوند. لذا این تله حساس به نور است اما در دمای کم حساس به گرما نیست. متأسفانه یکی از پیامدهای پیش‌گرمایی نمونه، انتقال الکترون‌ها از تله‌های حساس به گرما به تله‌های حساس به نور است (آیتکن، ۱۹۹۸؛ رودز، ۲۰۰۰؛ فتاحی

۳-۳. بررسی اثر گرمایی بر بازیابی دُر مشخص

اعمال شده در آزمایشگاه

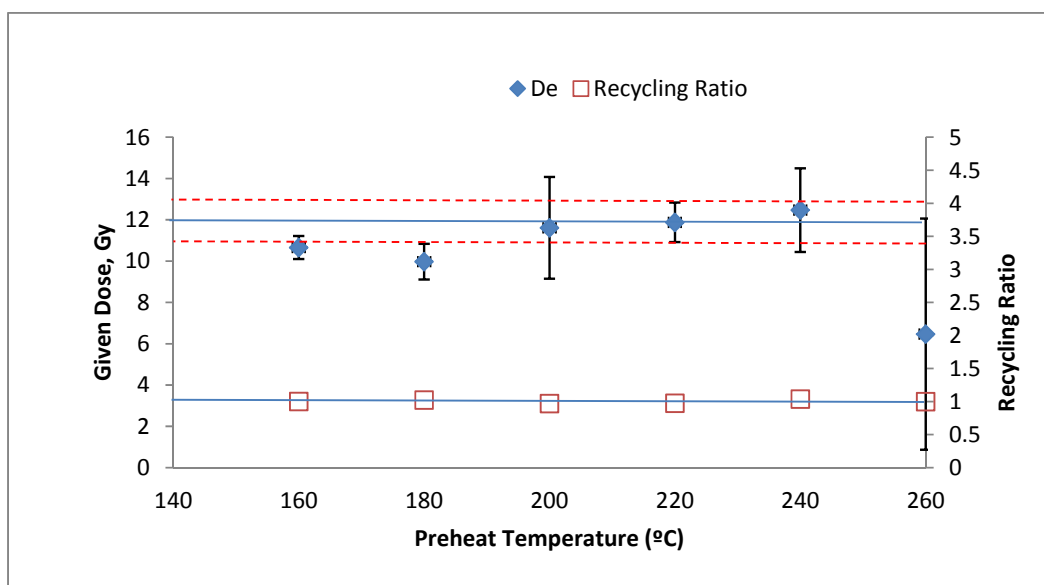
در ساختار بلوری ذرات کوارتز تله‌هایی با انرژی‌های متفاوت وجود دارد. الکترون‌های موجود در این تله‌ها در صورت دریافت انرژی مناسب، از داخل تله خارج می‌شوند. برای مثال الکترون‌های به دام افتاده در مدت زمان رسوب‌گذاری موجود در تله TL، 110°C کوارتز، چنانچه بیش از ۸ ساعت در دمای محیط تهران قرار گیرند، به اندازه کافی انرژی کسب می‌کنند، از تله خارج می‌شوند و تولید رخشانی می‌کنند. برای حذف اثر سیگنال ناپایدار ناشی از این تله‌های کم‌عمق که توسط دز آزمایشگاهی ایجاد شده‌اند، نمونه قبل از اندازه‌گیری

شکل ۵ نشان داده شده است بهترین دما که دز ۱۲ گری را بازیابی کرد ۲۲۰ درجه است، لذا این دما به عنوان پیش گرما جهت اندازه گیری دز معادل دز طبیعی استفاده شد.

۳-۴. اندازه گیری دز معادل دز طبیعی

برای هر نمونه ۴۸ الیکوت تهیه شد. اما بسیاری از الیکوت‌ها تولید سیگنال مناسب نکردند و لذا حذف شدند. در هنگام اندازه گیری دز معادل دز طبیعی بسیاری از الیکوت‌هایی که تولید سیگنال کردند قادر به فراهم کردن منحنی رشد استاندارد مناسب نبودند و در نتیجه قادر به تولید دز معادل دز طبیعی نبودند (شکل ۳)؛ لذا حذف شدند. بقیه الیکوت‌ها که تولید سیگنال و منحنی رشد استاندارد مناسب کرده بودند مورد نظر قرار گرفت (شکل ۴) و دز معادل دز طبیعی آن الیکوت‌ها جهت محاسبه متوسط دز معادل دز طبیعی برای سه روش وزنی، بافت‌نگار و شعاعی مورد استفاده قرار گرفت.

و واگر، ۲۰۰۷). چنانچه این انتقال صورت گیرد خطا تولید می‌شود. لذا باید نمونه تا حدی گرم شود که تولید خطا نکند. از این رو برای بررسی و جلوگیری از اثرات منفی پیش گرمایی، در آزمایشگاه، یکی از راه‌ها این است که ابتدا سیگنال طبیعی رخشانی نمونه پاک و سپس دُز مشخصی به نمونه داده می‌شود. آنگاه با اِعمال دماهای پیش گرمایی (Preheat) (دمای اِعمال شده پیش از دُز مجدد)؛ Cutheat (دمای اِعمال شده پیش از دُز آزمایشی)) متفاوت دُز مشخص اِعمال شده بازیابی می‌شود. دماهای پیش گرمایی که موفق به بازیابی صحیح دُز شوند مناسب‌ترین دما برای سن‌یابی آن نمونه هستند. نمونه به مدت یک هفته تحت نور طبیعی قرار گرفت تا سیگنال لومینسانس طبیعی آن حذف شود. پس از حذف سیگنال طبیعی، ۱۲ گری دز به نمونه داده شد و دمای Cutheat ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد ثابت بود اما پیش گرماهای مختلفی در دماهای بین ۱۶۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفت. همان‌طور که در



شکل ۵. تعیین بهترین دمای پیش گرما.

۳-۵. اندازه‌گیری دز سالانه و سن

به‌منظور اندازه‌گیری دز سالانه، میزان اورانیم، توریم، پتاسیم، روبیدیم طبیعی نمونه‌ها توسط ICP در آزمایشگاه SGS اونتاریو کانادا اندازه‌گیری شد. این میزان‌های تمرکز مواد رادیواکتیو در هر نمونه طبق روش‌های ارائه شده توسط آدامیک و آیتکن (۱۹۹۸) و مارش و همکاران (۲۰۰۲) و آیتکن (۱۹۹۸) تبدیل به نرخ دز سالانه شد. در این روش‌ها فاکتورهای مختلف از جمله اندازه دانه‌ها، وزن مخصوص، رطوبت دیرینه در نظر گرفته شد. رطوبت نمونه‌ها در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد و خطای ۳٪ برای آنها در نظر گرفته شد تا تغییرات فصلی رطوبت و تغییرات رطوبت از زمان دفن تاکنون را در بر گیرد. فرض شد که نمونه‌ها از لایه‌های ضخیم با محیط یکنواخت برداشت شده است و تحت تأثیر اشعه گاما ناشی از سایر نمونه‌های برداشت‌شده قرار نشده است. اثر اشعه کیهانی بر نرخ دز با استفاده از موقعیت جغرافیایی و عمق و سایر پرامترهای نمونه توسط معادلات پیشنهادی پرسکات و هاتن (۱۹۹۴) محاسبه شد. نرخ دز بر اساس نتایج آنالیز نمونه امروزه (یعنی زمان محاسبه سن) محاسبه شد. یعنی فرض شد که هیچ تغییری در میزان اورانیم، توریم، پتاسیم، روبیدیم طبیعی نمونه‌ها از زمان دفن نمونه تا اندازه‌گیری سن آنها صورت نگرفته است و نرخ دز آنها در این دوران ثابت بوده است. آنالیزهای بیشتری مورد نیاز است تا فرض فوق تأیید شود و اثبات گردد که نرخ دز از زمان دفن نمونه تاکنون ثابت بوده است.

با تقسیم دز معادل دز طبیعی هر نمونه به دز سالانه آن نمونه، سن نمونه‌ها به‌دست آمد و نتایج در جدول ۲ آمده است.

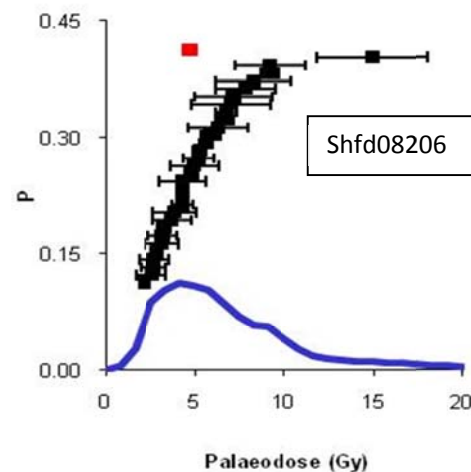
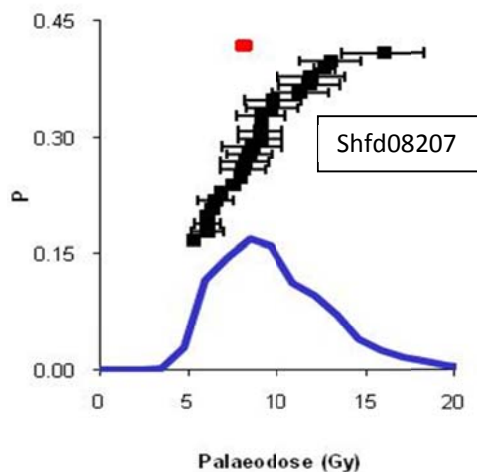
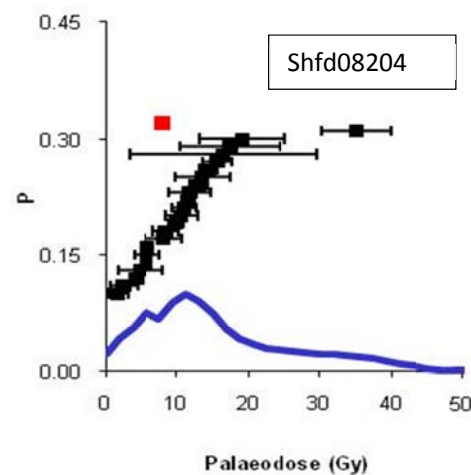
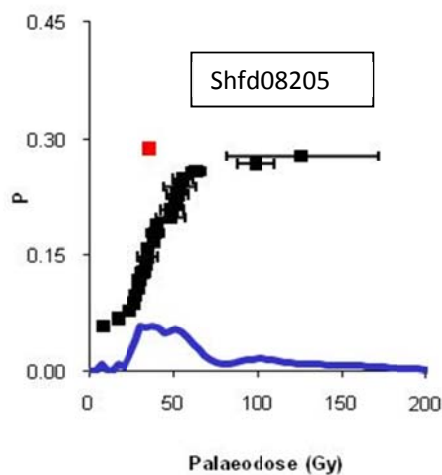
۴. نتایج و بحث

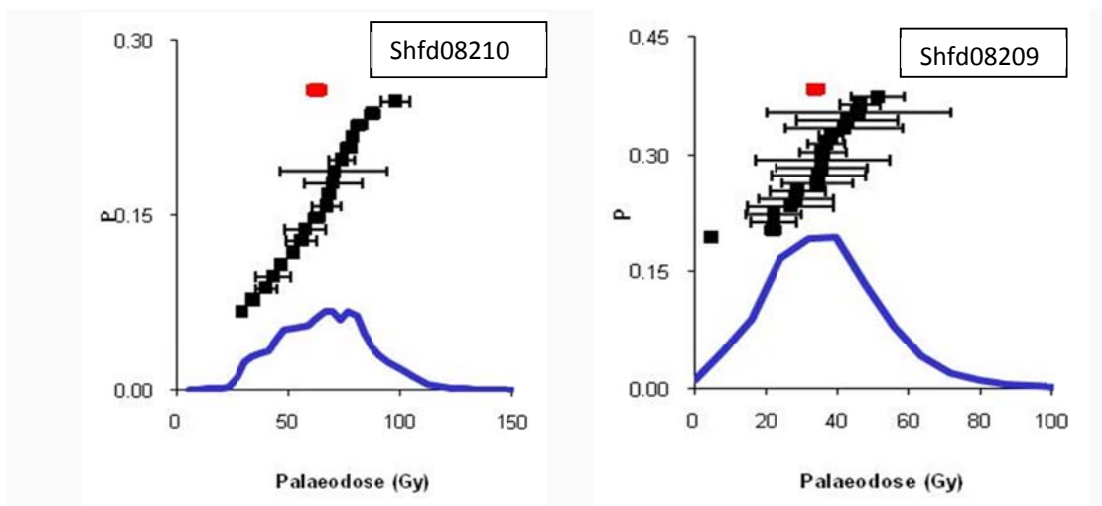
در سن‌یابی به‌روش لومینسانس نوری فرض بر این است که تمام دانه‌های کوارتز قبل از رسوب‌گذاری سیگنال لومینسانس نوری خود را از دست داده‌اند. اما همواره احتمال ناقص بودن صفر شدگی دانه‌های کوارتز در

هنگام رسوب‌گذاری وجود دارد. اگر در هنگام رسوب‌گذاری تمام دانه‌های کوارتز در نمونه نور کافی نخورده باشد، سیگنال لومینسانس جمع شده در آنها قبل از رسوب‌گذاری باقی مانده و به سیگنال لومینسانس در دوران رسوب‌گذاری اضافه می‌شود. در نتیجه هنگامی که آن دانه کوارتز در آزمایشگاه سن‌یابی می‌شود سن بیش از سن رسوب‌گذاری را به‌دست می‌دهد. البته نمی‌توان صرفاً بر اساس داده‌های سیگنال لومینسانس نوری و با قاطعیت این مهم را اعلام کرد. بهترین راه استراتیگرافی است. یعنی با استفاده از سن‌یابی لایه‌های بالایی و پایینی حدوداً قابل اثبات است. زیرا این احتمال وجود دارد که نمونه‌های بالا و پایین هم دچار صفر شدگی ناقص شده باشند. در اصول اگر سیگنال لومینسانس دانه‌های یک نمونه در هنگام رسوب‌گذاری کاملاً صفر شده باشد، تولید توزیع نرمال گوسی دز معادل دز طبیعی می‌کند و در صورت اندازه‌گیری مجدد، همان دز معادل دز طبیعی متوسط را تولید می‌کند (شکل ۳ بتمن و همکاران، ۲۰۰۳). لذا با رسم دز معادل دز طبیعی به‌صورت تابع توزیع احتمال (شکل ۶) می‌توان حضور دانه‌های با سن‌های مختلف را بررسی کرد. اما نکته بسیار مهم و قابل تأمل آن است که وقتی یک الیکوت می‌سازیم که در آن حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ دانه روی یک دیسک آلومینیمی یا استیل قرار دارد، عملاً تفکیک دز معادل دز طبیعی هر دانه غیر ممکن می‌شود. البته این مشکل با ساخت الیکوت‌های یا سایز کوچک که تعداد دانه‌ها کم شود و در حالت ایده‌آل به یک دانه محدود شود قابل حل است. به‌هرحال علی‌رغم تلاش فراوان، به دلیل سیگنال لومینسانس بسیار ضعیف، متأسفانه امکان به‌دست آوردن دز معادل دز طبیعی برای تک دانه و یا الیکوت با سایز کم برای این نمونه‌ها فراهم نشد. با مشاهده توزیع دز معادل دز طبیعی (شکل ۶) ملاحظه می‌کنیم که کلیه دزها دارای توزیع نامتقارن و بسیار پراکنده هستند که ناحیه وسیعی از دزها را در بر می‌گیرد. اگر فرض کنیم پیک غالب نمایانگر دز معادل دز طبیعی واقعی است در آن صورت (skew)

کامل است در آن صورت ترکیب با کمترین دز معادل دز طبیعی نمایانگر دز معادل دز طبیعی حقیقی است. لذا نمی‌توان با اطمینان اعلام کرد که کدام ترکیب دز معادل دز طبیعی صحیح است. به همین دلیل در این‌گونه موارد است بهتر است کلیه ترکیب‌های مختلف دز معادل دز طبیعی در اختیار گذاشته شود تا متخصصین و دانشجویان بتوانند با استفاده از آنها سناریوهای مختلف را با توجه به تخصص خود در دیرینه اقلیم و یا باستان‌شناسی یا زمین‌شناسی یا مورفولوژی بررسی نمایند. البته در حالت ایده‌آل بهتر است نمونه‌برداری از لایه‌های بالاتر و پایین‌تر انجام و سعی شود با برداشت نمونه زیاد، تک دانه‌های با توانایی سیگنال لومینسانس کافی با منحنی رشد خوب را جدا کرد تا سن واقعی نمونه دقیق‌تر اندازه‌گیری شود.

انحراف ناشی از حضور دانه‌های با دز بسیار بالا است که می‌تواند به دلیل صفرشدگی کامل و یا انتقال دانه از لایه پایین به بالا باشد. البته این امکان هم هست که دانه‌های با دز کمتر نیز از لایه بالاتر به نمونه منتقل شده باشد. به‌رحال با توجه به توزیع دز معادل دز طبیعی نمونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که این نمونه‌ها یا دچار عدم صفرشدگی کامل در هنگام رسوب‌گذاری بوده‌اند و یا اینکه دانه‌هایی با سن‌های بالاتر و یا کمتر در آنها آمده است. به‌منظور حل این مشکل و برای حدس توزیع حقیقی دزهای معادل دز طبیعی روش آماری مدل ترکیبی محدود (the finite mixture model)، (گلیبریت و گرین، ۱۹۹۰) نیز مورد استفاده قرار گرفت. این مدل دزهایی را که در داخل پیک‌های مختلف قرار می‌گیرد از هم جدا می‌کند. اگر فرض کنیم که توزیع غیر گوسی ناشی از صفرشدگی





شکل ۶. منحنی آبی رنگ مثالی از تابع توزیع احتمال برای الیکوت‌های استاندارد که نمایانگر پراکندگی دز بین الیکوت‌های یک نمونه است. مربع‌های سیاه نمایانگر دز معادل دز طبیعی الیکوت‌های نمونه است. مربع قرمز نمایانگر متوسط غیر وزنی است.

نتایج مربوط به دزهای معادل دز طبیعی ناشی از کلیه الیکوت‌هایی که شرایط روش تک‌الیکوتی تولید مجدد را داشتند به همراه منحنی‌های مربوطه و متوسط دزهای معادل دز طبیعی محاسبه شده توسط مدل‌های مختلف در شکل ۶ نشان داده شده است. با تقسیم دزهای معادل دز طبیعی محاسبه شده توسط مدل‌های مختلف، بر نرخ دز سالانه هر نمونه، سن‌ها به دست آمد که در جدول ۲ تا ۴ ارائه شده است.

جدول ۲. نام نمونه‌ها، کمیت مواد رادیواکتیو، داده‌های دزیمتری و رطوبت نمونه‌ها.

Lab Code	Radioactivity Data			Dosimetry Data		
	U (PPM)	Th (PPM)	Rb (PPM)	K (%)	Dcosmic* ($\mu\text{Gy/a}^{-1}$)	Moisture (%)
Shfd08202	1.75	3.8	34	0.92	146 ± 7	2.4 ± 3
Shfd08204	0.71	0.9	6.2	0.18	112 ± 6	1.2 ± 3
Shfd08205	1.21	2.8	24	0.60	96 ± 5	1.9 ± 3
Shfd08206	1.51	2.0	15.2	0.43	156 ± 8	1.7 ± 3
Shfd08207	1.60	2.2	19.3	0.53	135 ± 7	1.5 ± 3
Shfd08209	1.41	3.2	21.3	0.60	84 ± 4	9.9 ± 3
Shfd08210	2.52	3.5	28.7	0.77	173 ± 9	10.2 ± 3

* Cosmic dose is calculated as a linear decay curve at depths below 50 cm. Above this depth, errors in calculation may lead to an overestimation of palaeodose value.

جدول ۳. نام نمونه‌ها، عمق، تعداد الیکوت‌های مورد قبول برای هر نمونه که در محاسبه دزهای معادل دز طبیعی به کار رفته است، دز سالانه، دز معادل دز طبیعی و سن.

Lab Code	Field Ref.	Depth (cm)	Total N°. Aliquots Measured	Dose rate* ($\mu\text{Gy/a}^{-1}$)	De** (Gy)	Age** (ka)
Shfd08202	Sample #11 right	245	15	1706 ± 72	4.82 ± 0.32	2.83 ± 0.22
Shfd08204	Sample #1	460	22	535 ± 20	5.61 ± 0.39	10.49 ± 0.83
Shfd08205	Sample #2 left	590	24	1249 ± 52	32.32 ± 1.72	25.87 ± 1.75
Shfd08206	Sample #3 right	190	24	1090 ± 43	2.72 ± 0.18	2.49 ± 0.19
Shfd08207	Sample #4 right	300	25	1205 ± 49	6.84 ± 0.33	5.68 ± 0.36
Shfd08209	Sample #7 right	710	24	1131 ± 47	20.60 ± 3.13	20.60 ± 3.13
Shfd08210	Sample #10	1250	19	1624 ± 66	32.44 ± 2.97	19.98 ± 2.00

* Total Dose is attenuated for grain size, density and moisture. ** Estimated from Finite Mixture Modelling of SAR.

جدول ۴. نام نمونه‌ها، سن‌های به‌دست آمده توسط روش‌های آماری مختلف.

Lab Code	De* (Gy)	Age* (ka)	De** (Gy)	Age** (ka)	De*** (Gy)	Age*** (ka)
Shfd08202	6.25 ± 0.65	3.62 ± 0.41	4.4 ± 1.6	2.55 ± 0.93	6.84 ± 2.58	3.96 ± 1.5
Shfd08204	10.06 ± 1.21	18.79 ± 2.37	6.06 ± 1.64	11.32 ± 3.09	11.28 ± 7.24	21.07 ± 13.55
Shfd08205	37.86 ± 4.14	32.16 ± 3.77	17.39 ± 11.72	14.77 ± 9.98	42.63 ± 26.57	36.21 ± 22.62
Shfd08206	4.95 ± 0.46	4.54 ± 0.46	3.12 ± 1.32	2.86 ± 1.22	5.49 ± 2.8	5.03 ± 2.57
Shfd08207	8.54 ± 0.48	7.09 ± 0.49	6.96 ± 1.49	5.77 ± 1.26	9 ± 2.61	7.47 ± 2.19
Shfd08209	29.71 ± 4.23	26.27 ± 3.9	5.26 ± 4.49	4.65 ± 3.98	26.43 ± 16.91	23.37 ± 14.98
Shfd08210	59.79 ± 4.56	39.88 ± 3.51	57.87 ± 17.35	38.6 ± 11.69	62.62 ± 18.53	41.76 ± 12.49

*Estimated from Central Age Model (CAM) of SAR. **Estimated from Weighted mean Modelling of SAR. ***Estimated from Unweighted mean Modeling of SAR.

لومینسانس دانشگاه شفیلد منتقل شد و کوارتز آن نمونه‌ها جدا شد. دز معادل دز طبیعی آنها اندازه‌گیری شد. با تقسیم دز معادل دز طبیعی هر نمونه به دز سالانه آن نمونه، سن نمونه‌ها به‌دست آمد. اطلاعات کامل در مورد محل تراس‌ها و محل نمونه‌برداری ارائه شده است تا این سن‌ها بتواند جهت تحقیقات بیشتر از دیدگاه‌های مختلف از جمله زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، دیرینه اقلیم‌شناسی و باستان‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- Adamiec, G. and Aitken M. J., 1998, Dose-rate conversion factors update. *Ancient TL* 16, 37-50.
- Aitken, M. J., 1998, *An Introduction to Optical Dating: The dating of Quaternary sediments by the use of Photo-Stimulated Luminescence*. Oxford Science Publication.
- Bateman, M. D. and Catt, J. A., 1996, An absolute chronology for the raised beach deposits at Sewerby, E. Yorkshire, UK. *Journal of Quaternary Science*, 11, 389-395.
- Bateman, M. D., Frederick, C. D., Jaiswal, M. K. and Singhvi, A. K., 2003, Investigations into the potential effects of pedoturbation on luminescence dating. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1169-1176.
- Blanc, E. J.-P., Allen, M. B., Inger, S. and Hassani, H., 2003, Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *Journal of the Geological Society of London*, 160, 401-412.
- Bull, W. B., 1991, *Geomorphic responses to climatic change*. Oxford University Press, London, U.K.
- Burbank, D. W. and Anderson, R. S., 2012, *Tectonic geomorphology*. Second edition. Wiley-Blackwell, Chichester, U.K.
- Fattahi, M. and Walker, R., 2007, Luminescence dating of the last earthquake of the sabzevar thrust fault, NE IRAN, *Quaternary Geochronology*, 2, 284-289.
- Galbraith, R. and Green, P., 1990, Estimating the component ages in a finite mixture. *International Journal of Radiation Applications and Instrumentation. Part D. Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, 17 (3), pp. 197-206. doi:10.1016/1359-0189(90)90035-V.
- Marsh, R. E., Prestwich W. V., Rink W. J. and Brennan B. J., 2002, Monte Carlo determinations of the beta dose rate to tooth enamel. *Radiation Measurements* 35: 609-616.
- 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.
- Murray, A. S. and Olley, J. M., 2002, Precision and accuracy in the optically stimulated luminescence dating sedimentary quartz, A statue review, *Geochronometria*, 21, 1-16.

۵. نتیجه گیری

در دشت بالایی خوزستان شش تراس رودخانه‌ای در اطراف رود کارون شناسایی شد که چهار تراس رودخانه‌ای درخزینه، بتوند، نفت سفید و آبگاه مرتبط با آنتی‌کلاین نفت سفید است. یک تراس رودخانه‌ای کبوترخان سولفا مرتبط با آنتی‌کلاین صدر آباد است. یک تراس رودخانه‌ای کوشکک مرتبط با آنتی‌کلاین شوشتر است. از لایه‌های یکنواخت و هموزن این رسوبات نمونه‌گیری برای سن‌یابی به روش لومینسانس انجام شد. نمونه‌ها در داخل لایه‌های ضد نور به آزمایشگاه سن‌یابی

- Murray, A. S. and Wintle, A. G., 2003, The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements* 37: 377-381.
- Prescott, J. R. and Hutton, J. T., 1994, Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variations. *Radiation Measurements*, 2/3, 497-500.
- Rhodes, E. J., 2000, Observation of thermal transfer OSL signals in glacial quartz, *Radiation Measurements*, 32, 595-602.
- Woodbridge, K. P., 2013, The influence of Earth surface movements and human activities on the River Karun in lowland south-west Iran. Unpublished Ph.D. thesis, University of Hull, U.K. Available online: <https://hydra.hull.ac.uk/resources/hull:8454>.
- Woodbridge, K. P. and Frostick, L. E., 2014, OSL dating of Karun river terrace sediments and rates of tectonic uplift in lowland south-west Iran. *Quaternary Newsletter*, 134, 44-52.
- Woodbridge, K. P., Parsons, D. R., Heyvaert, V. M. A., Walstra, J. and Frostick, L. E., 2016, Characteristics of direct human impacts on the rivers Karun and Dez in lowland south-west Iran and their interactions with earth surface movements. *Quaternary International*, 392, 315-334.

OSL dating of sediments samples from Karun river traces in Khuzestan, SW Iran

Fattahi, M.^{1*}, Woodbridge, K. P.² and Bateman, M. D.³

1. Associate Professor, Department of Earth Physics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Ph.D. Student, Energy and Environment Institute, Faculty of Science and Engineering, University of Hull, Hull, UK
3. Professor, Faculty of Geography, University of Sheffield, Sheffield, UK

(Received: 17 Oct 2018, Accepted: 14 May 2019)

Summary

The River Karun in lowland Khuzestan, SW Iran is influenced by various factors including tectonics, human activities, climate, and relative sea-level changes. Therefore, it is necessary to study these features from different aspects such as geology, geomorphology, paleoclimatology and Archeology. Disentangling these influences can be improved by investigating where river channels incise across active folds to produce river terraces. Determining the age of river terrace deposits has a fundamental role in these studies; especially since average rates of river incision since the time of terrace deposition can be a guide to average rates of tectonic uplift, particularly over longer timescales of thousands or tens of thousands of years where the influences of changes in aggradation and incision due to changes in sediment supply tend to be evened out (Bull, 1991; Burbank and Anderson 2012).

River terraces of the Karun river system were found associated with active folds in the Upper Khuzestan Plains. These folds were mostly asymmetric detachment folds and fault bend folds trending approximately NW-SE, with a more steeply dipping fore-limb to the south-west and a more gently dipping back-limb to the north-east (Blanc et al., 2003).

Woodbridge (2013) described these river terraces, and assigned each terrace a new name (from a nearby village or fold). As shown in Figure 1, four river terraces were associated with the Naft-e Safid Anticline: the 'Dar Khazineh terrace', the 'Batvand terrace', the 'Naft-e Safid terrace' and the 'Abgah terrace', on the fold fore-limb and back-limb. One river terrace was associated with the Sardarabad Anticline: the 'Kabutarkhan-e Sufila terrace', and one river terrace was associated with the Shushtar Anticline: the 'Kushkak terrace'; both on the fold back-limb. Sediment samples were collected from the river terrace deposits and subjected to Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating (Woodbridge and Frostick, 2014; Woodbridge et al., 2016). OSL dating was performed in the luminescence laboratory at the University of Sheffield, U.K. Both the palaeodose (De) and the dose rate was determined to derive an OSL age.

For De Determination the procedure outlined in Bateman and Catt (1996) was employed. The single aliquot regenerative (SAR) approach (Murray and Wintle 2000), was used for De determination.

All the samples showed a weak naturally OSL decay curves. Many aliquots failed to show good growth curves. All aliquots where the recycling ratio exceeded 10% of unity were excluded from further analysis. Thus, only around 10-20 percent of measured aliquots for each sample passed the criteria of the SAR protocol and their De are reported. The most appropriate preheat temperature for each sample was selected using a dose recovery preheat plateau test. This resulted in selection of preheat temperatures of 220 °C for 10 seconds and cutheat of 200 °C for 10 seconds, which were applied to each sample prior to OSL measurement to remove unstable signal generated by laboratory irradiation.

Analyst software was used for De determination. All samples demonstrated a high amount of replicate scatter with a large range of De values. Some of the distribution shape may reflect the limited population size of replicates but it also may reflect incomplete bleaching. Typically, poorly bleached sediments retain a significant level of residual signal from previous phases of sedimentary cycling, leading to inherent inaccuracies in the calculation of a palaeodose value. This is difficult to establish with any certainty from OSL data and should be taken in consideration with the site stratigraphy. In principle a well bleached unpost-depositionally disturbed sample should have replicate palaeodose (De) data which is normally distributed (See Bateman et al. 2003, Fig 3). By plotting the replicate data for each sample as a probability density function, some assessment of where older or younger material has been included in the sample measurements can be made. However, by determining the De of aliquots that contains 1000-2000 grains any heterogeneity in De that individual grains have may still be masked. We tried to overcome this problem by using smaller aliquots or at the single grain level. However, for these particular samples the weak OSL signal and low sensitivity to laboratory dose prevented such analysis.

In order to calculate an age, different models can be used. Woodbridge and Frostick (2014) and Woodbridge et al. (2016) published the age for each sample based on the mean De value determined by Finite Mixture Modelling or the Central Age Model. This paper provide the technical information behind dating these samples and provide all ages based on different models and without any judgement about partial bleaching, bioturbation or cryoturbation. Ages are quoted in years from the present day (2010) and are presented with one sigma confidence intervals which incorporate systematic uncertainties with the dosimetry data, uncertainties with the palaeomoisture content and errors associated with the De determination.

Keywords: Dating, Optically stimulated luminescence, river traces, Karun.

* Corresponding author:

mfattahi@ut.ac.ir