فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی- پژوهشی)، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵
ص ۱۳۵-۱۴۲

بررسی فعالیت گسل‌ها در محل ساختگاه سد بهشت‌آباد به‌کمک نهشته‌های کواترنر

مرتضی صداقت؛ دانشجوی دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه اصفهان
کورش شیرانی*؛ استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
اکبر قاضی‌فرد؛ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۲۴

چکیده

ساختگاه سد بهشت‌آباد در پهنهٔ زاگرس مرتفع حدود ۶ کیلومتری جنوب گسل اردل و در ۷ کیلومتری شمال گسل دوپلان جای‌گرفته است. وجود گسل‌های بزرگ و جنبا در پهنهٔ زاگرس مرتفع نتیجهٔ فرایند زمین‌ساختی برخورد است و به‌دلیل تداوم نیروهای زمین‌ساختی فشارشی، گسل‌های شکل‌گرفته در این پهنه، فراوان، جنبا و بیشتر از نوع راندگی و معکوس است. محل ساختگاه سد بهشت‌آباد نیز مستثنی نیست و شکستگی‌های ساختاری مختلفی در پی آن قابل‌مشاهده است. امکان فعالیت تکتونیکی این خطواره‌ها تهدیدی برای بقای سازه محسوب می‌شود. بنابراین، با توجه به اهمیت فعالیت گسله‌های محل ساختگاه و وقوع مخاطرات لرزه‌ای ناشی از آن بر پایداری سازهٔ سد، امکان فعالیت این گسل‌ها بررسی شد. با توجه به شرایط خاص محل، عملیات سن‌سنجی به روش ترمولومینسانس (OSL) روی نهشته‌های کواترنر استقرار یافته روی این گسل‌ها انجام شد. بر این اساس، سن ۱۹۰ هزار سال به نهشته‌های کواترنر در محل ساختگاه نسبت داده شد. بنابراین، با توجه به نبود شواهد تکتونیکی روی این نهشته‌ها- همچون درزه، شکاف و ترک- بر اساس اصول لرزه‌زمین‌ساختی، عدم فعالیت گسل‌های محل ساختگاه و پوشیده‌شده با این نهشته‌ها تأیید می‌شود.

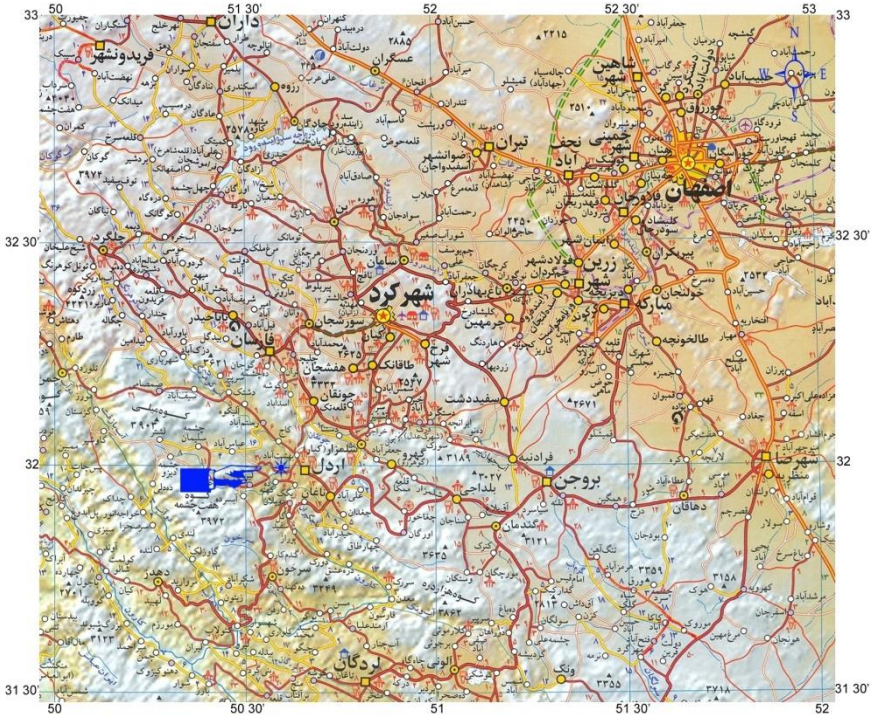
کلیدواژه‌ها: **ترمولومینسانس، سد بهشت‌آباد، سن‌سنجی، گسل فعال، نهشته‌های کواترنر.**

مقدمه

طرح سد بهشت‌آباد بخشی از طرح عظیم انتقال آب به فلات مرکزی ایران با هدف انتقال سالیانهٔ ۵۸۰ میلیون مترمکعب آب از سرشاخه‌های رودخانهٔ کارون به فلات مرکزی ایران مطالعه شده است. ساختگاه سد در فاصلهٔ ۸ کیلومتری غرب شهرستان اردل در استان چهارمحال و بختیاری و در ارتفاع ۱۶۰۷ متری از سطح آب‌های آزاد قرارگرفته است (شکل ۱). محدودهٔ طرح در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کارون و در ناحیهٔ زاگرس رورانده واقع شده که ناحیه‌ای کوهستانی با ستیغ‌های بلند و دره‌های ژرف و کم‌پهناست. رشته‌کوه‌های محدودهٔ طرح عمدتاً روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی دارد. عوامل تکتونیکی نظیر گسل‌های رانده، وجود چین‌خوردگی و تنوع لیتولوژیکی نقش اصلی را در شکل‌دهی منطقه داشته و باعث تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در توپوگرافی آن شده است. در این بین، وجود گسله‌ها و شکستگی‌های ساختاری در محل محور سد بهشت‌آباد و امکان فعالیت لرزه‌ای آن‌ها، تهدیدی بر ثبات و پایداری بدنهٔ سد به‌حساب می‌آید.

یکی از روش‌های رایج در تعیین فعالیت گسل‌ها، بررسی و مطالعهٔ رسوبات عهد حاضری است که روی مسیر گسل ته‌نشست شده است. با توجه به عدم مشاهدهٔ جابه‌جایی و تغییرشکل نهشته‌های واقع در محل ساختگاه سد بهشت‌آباد، ضروری است سن این نهشته‌ها ارزیابی شود. کهن‌بودن سن نهشته‌های کواترنر روی خط اثر گسل کلیدی مستند بر غیرفعال‌بودن آن گسل است.

* نویسندهٔ مسئول: k_sh424@yahoo.com



شکل ۱. نقشهٔ موقعیت طرح سد بهشت‌آباد و راه‌های دسترسی به آن

تا پیش از کشف روش‌های سن‌سنجی پرتوسنجی، در ارتباط با بررسی تکوین زمین‌ریخت‌ها، تمرکز اصلی بر روش‌های تعیین سن نسبی بود. امروزه، دامنهٔ بسیار گوناگونی از روش‌های سن‌سنجی مطلق وجود دارد. با استفاده از تعیین سن مطلق سنگ‌ها و نهشته‌های موجود در هر ناحیه و تجزیه‌وتحلیل نتایج می‌توان اطلاعاتی در ارتباط با سن تدفین، نرخ فرسایش، سن بیرون‌زدگی، میزان بالاآمدگی یا فرونشست و نظایر آن به‌دست آورد. در این تحقیق از روش ترمولومینسانس (Optically Stimulation Luminescence) برای سن‌سنجی آبرفت‌های کواترنر در محل ساختگاه استفاده شده است.

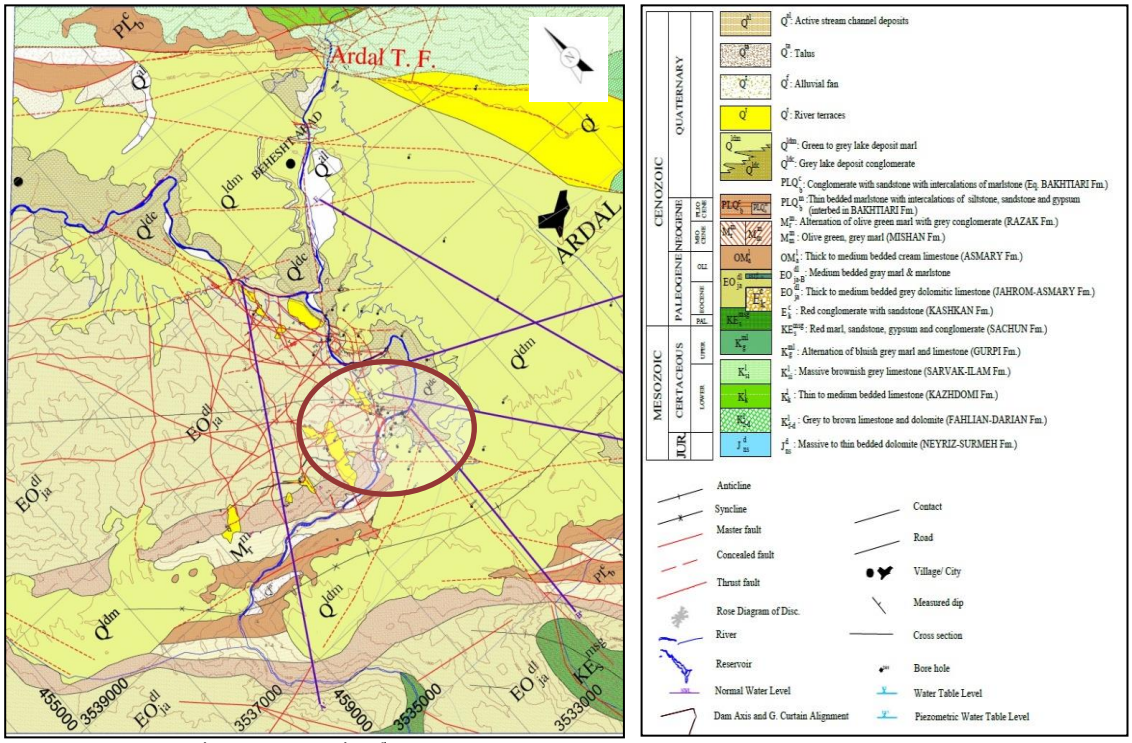
روش‌ها و مواد

شناسایی گسل‌های محل ساختگاه

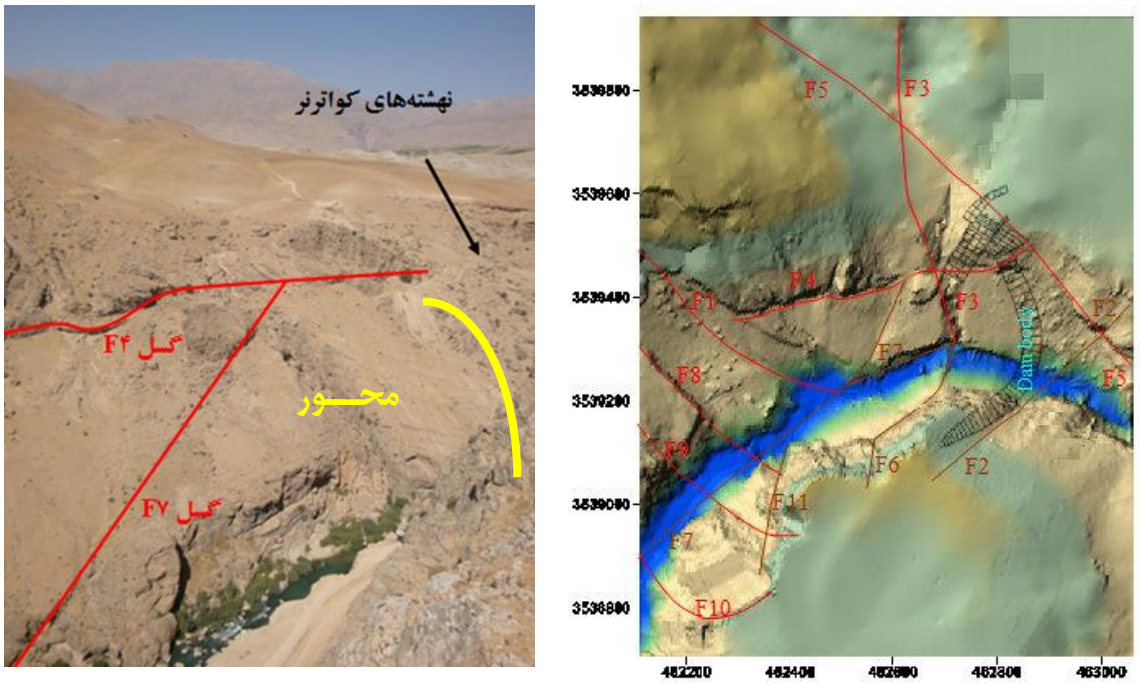
محدودهٔ طرح بهشت‌آباد در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ کارون و در ناحیهٔ زاگرس رورانده حدود ۶ کیلومتری جنوب گسل اردل و در ۷ کیلومتری شمال گسل دوپلان واقع شده و ناحیه‌ای کوهستانی با ستیغ‌های بلند و دره‌های ژرف و کم‌پهناست. رشته‌کوه‌های محدودهٔ طرح عمدتاً روند شمال‌غربی– جنوب‌شرقی دارد. عوامل تکتونیکی نظیر گسل‌های رانده، وجود چین‌خوردگی و تنوع لیتولوژیکی نقش اصلی را در شکل‌دهی منطقه دارد و باعث تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در توپوگرافی آن شده است. این عوامل باعث ایجاد کوه‌های بلند و نواحی فروافتاده شده است. در برخی نواحی فروافتاده پس از آخرین مرحلهٔ کوهزایی دریاچه‌هایی شکل گرفت که آثار رسوبات آن در دشت اردل، بند ناغان و منطقهٔ کوهرنگ قابل‌مشاهده است.

ریخت اصلی منطقه را کوه‌های مرتفع تشکیل داده که عمدتاً از جنس آهک، آهک دولومیتی و دولومیت است. سنگ‌ها و سازندهای مارنی دامنه و نقاط کم‌ارتفاع‌تر را تشکیل می‌دهد و مناطق دشت و رقوم پایین ارتفاعات را نیز رسوبات دریاچه‌ای عهد حاضر پوشانده است (شکل ۲).

در محل ساختگاه سد بهشت‌آباد چندین گسل مهم دیده می‌شود که نقش آن‌ها در شکل‌گیری هندسهٔ دره اهمیت دارد. تراکم این گسل‌ها در قسمت غربی دره (پایین دست) بیشتر و شکل هندسی بسیار نامنظمی به آن قسمت داده است. در قسمت‌های شرقی دره (محل ساختگاه)، شکل هندسی دره چندان تحت تأثیر گسل نبوده و عوامل دیگر از جمله لغزش و فرسایش فیزیکی نقش بیشتری داشته است. موقعیت گسل‌ها و تأثیر آن بر ریخت نهایی دره در شکل ۳ (راست) ارائه شده است.



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ ساختگاه و مخزن سد بهشت‌آباد (صداقت، ۱۳۹۵)



شکل ۳. راست: نقشهٔ موقعیت گسل‌ها و تأثیر آن بر ریخت نهایی دره، چپ: گسل F4 و نهشته‌های کواترنر روی آن (دید به سمت شمال)

بحرانی‌ترین گسل گسل F4 به درازای ۱۵۰۰ متر و از نوع گسل رانده است (شکل ۳، چپ). شیب اندازه‌گیری‌شده روی صفحهٔ این گسل، ۳۵ درجه در جهت شمال است. روند گسل مانند سایر گسل‌های شناسایی‌شده در بدنهٔ ساختگاه

شمال باختر– جنوب خاور و هم‌راستا با سایر ساختارهای زاگرس است. سایر گسل‌های موجود در پیرامون ساختگاه سد که گسل F4 را با زوایای گوناگون بریده است، دارای راستای عمومی شمالی– جنوبی و سازوکار آن بیشتر راستالغز است. اثر بریدگی این گسل‌ها در هر دو سوی راندگی (فرادیواره و فرودیواره) کم‌وبیش به شکل پیوسته دیده می‌شود. بنابراین، به‌نظر می‌رسد که این گسل‌ها هم‌زمان با شکل‌گیری راندگی پدید آمده یا اینکه جوان‌تر از گسل‌های راندگی است. اثر برشی این گسل‌ها تا بالاترین بخش سنگ‌آهک‌های میزبان دیده می‌شود، ولی ورود آن به درون نهشته‌های جوان آبرفتی قابل‌مشاهده نیست. با توجه به رخنمون آشکار نهشته‌های دریاچه‌ای در هر دو سوی ساختگاه سد بهشت‌آباد، دو ترانشه در جهت شمال خاور– جنوب باختر و نزدیک به خاوری– باختری (در جهت عمود بر امتداد گسل‌هایی که احتمال به سطح رسیدن آن‌ها وجود داشت) در مطالعهٔ آبرفت‌های کواترنر و عملیات سن‌سنجی حفاری شد.

کاربرد عملیات سن‌سنجی

به‌طور کلی، رویدادها و پدیده‌های زمین‌شناسی در طول تاریخ زمین‌شناسی به‌طور متناوب در حال تکرار است. «زمان حال کلید ادوار گذشته است» اصلی مهم در دانش زمین‌شناسی محسوب می‌شود که می‌توان بر پایهٔ آن گره از مجهول‌های این پدیده‌ها بازکرد. به کمک سن‌یابی می‌توان در راستای مطالعه و ارزیابی مخاطرات طبیعی و پیش‌بینی احتمال رویداد آن‌ها در آینده گامی مؤثر برداشت.

باید توجه داشت که قابلیت کاربرد بسیاری از روش‌های سن‌سنجی بیشتر با امکان دسترسی به مواد مناسب برای سن‌سنجی محدود می‌شود.

در رابطه با چگونگی انتخاب روش سن‌سنجی مناسب، پارامترهای زیر اهمیت دارد:

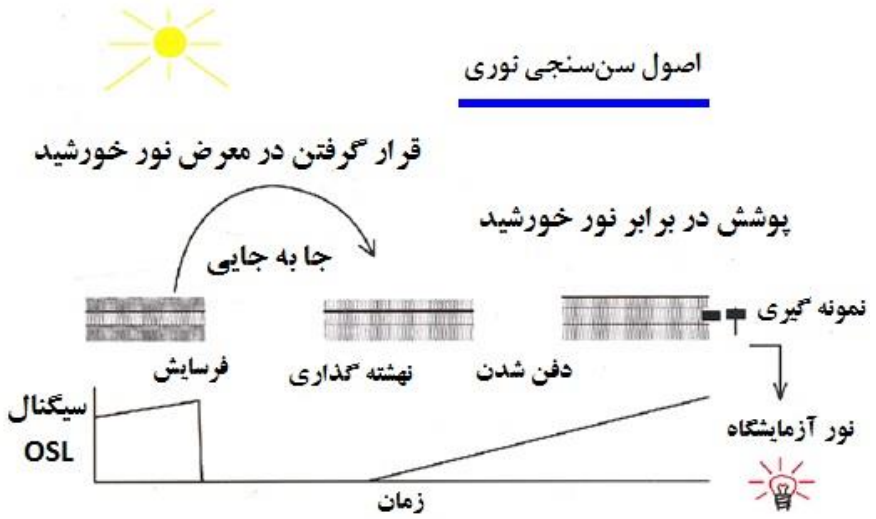
- نوع مطالعات و بازهٔ سنی (تکتونیک جوان، تکتونیک کهن و جزآن)
- وجود مواد مورد نیاز برای سن‌سنجی (وجود نهشته‌های مورد نظر و ستبرای مناسبی از نهشته‌ها، وجود کانی‌های مرتبط و جزآن).

در بیشتر موقعیت‌های موجود در سطح زمین ممکن است مواد مورد نیاز برای سن‌سنجی وجود نداشته باشد یا حتی ممکن است در جایی نهشته‌های مورد نیاز به‌صورت نگهداری‌شده یافت شود، ولی سن نهشتهٔ مورد نظر ممکن است از دامنهٔ عملی سن‌سنجی روش مورد استفاده بیشتر باشد. در این حالت انتخاب و استفاده از روش مناسب و جایگزین اهمیت بسیاری دارد که بتواند دامنهٔ سنی مورد نظر را با وجود این مشکلات پوشش دهد. روشی بر پایهٔ داده‌های موجود و مناسب برای محدودهٔ مورد مطالعه روش سن‌سنجی لومینسانس (OSL) است.

تا سال‌های آخر ۱۹۸۰ بیشترین پژوهش‌ها در سن‌سنجی لومینسانس بر مسائل بنیادی و کاربرد TL برای مواد داغ و انباشت‌های با منشأ آتشفشانی و نیز برخی کارهای بنیادی سن‌سنجی TL بر نهشته‌های رسوبی متمرکز بوده است (آیتکن، ۱۹۸۵). پیش از معرفی سن‌سنجی نوری (به‌کارگیری IR و نور مرئی)، بیشترین پژوهش‌ها بر سن‌سنجی نهشته‌ها، به‌ویژه در چارچوب تغییرات آب‌وهوای دیرینه، متمرکز بوده است. اولین تجربیات در این زمینه را آیتکن (۱۹۹۸)، پرکوت و روبرتسون (۱۹۹۷) و استوکس (۱۹۹۹) انجام داده‌اند.

عملیات سن‌سنجی در آبرفت‌های کواترنر به‌روش OSL

روش‌های سن‌یابی با لومینسانس مجموعه روش‌هایی است که بر پایهٔ افزایش بار در تله‌های درون مواد معدنی بلوری کارمی‌کند و در اثر تابش‌های رادیواکتیو ایجاد می‌شود. زمین‌شناسان و باستان‌شناسان از این روش در تعیین زمان گذشته از آخرین رویارویی کانی‌ها با نور خورشید استفاده می‌کنند. در این روش، زمان سپری‌شده از آخرین باری تعیین می‌شود که نمونه آفتاب خورده است. بنابراین، سن به‌دست‌آمده در واقع بیانگر زمان پوشیده‌شدن نهشته‌های کهن‌تر در بازهٔ زمانی ۱–۷۰۰ka است (شکل ۴). تعیین سن نوری در سال ۱۹۸۴ در بخش فیزیک دانشگاه Simon Fraser در British Columbia کانادا را دیوید هانتلی و همکارانش (۱۹۸۵) ابداع کردند. این روش بر پایهٔ جابه‌جایی الکترون‌ها از اتم‌های مادر به‌وسیلهٔ پرتوهای آلفا، بتا و گاما استوار است و برای نهشته‌های دارای دانه‌های کوارتز و فلدسپات قابل‌استفاده است.



شکل ۴. شمایی از اصول سن‌سنجی نوری

همهٔ نهشته‌ها دربردارندهٔ مقادیری از ایزوتوپ‌های رادیواکتیو (مانند اورانیم، توریم، روبیدیم و پتاسیم) است. این ایزوتوپ‌ها طی زمان به‌آرامی دچار واپاشی می‌شود و تابش یون‌ساز (تابش حاوی ذرات یون‌ساز مستقیم یا غیرمستقیم یا آمیزه‌ای از آن دو) حاصل از آن‌ها را سایر تشکیل‌دهنده‌های نهشته‌ها شامل کوارتز و فلدسپات جذب می‌کند. آسیب تابش به‌دست آمده (تغییرات زیان‌بخش در خواص فیزیکی یا شیمیایی ماده که ناشی از قرارگرفتن در معرض تابش یون‌ساز باشد) در داخل این کانی‌ها و به‌صورت تلهٔ ساختاری ناپایدار الکترون در داخل دانهٔ کانی‌ها باقی می‌ماند. در اثر تاباندن با نور آبی، سبز یا مادون قرمز بر این نمونه‌های تحریک و برانگیخته‌شده، سیگنال لومینسانسی ساطع و ذخیرهٔ انرژی الکترون ناپایدار رها می‌شود که شدت آن بسته به مقدار تابش جذب‌شده طی دفن متغیر خواهد بود. زمان و میزان تجمع آسیب تابش در نمونه بستگی به میزان عناصر رادیواکتیو در آن دارد.

با توجه به اینکه با در معرض نور خورشید قرارگرفتن نمونه‌ها، سیگنال لومینسانس در آن‌ها صفر می‌شود و به حال اولیه بازمی‌گردد، بنابراین مدت زمانی که از دفن آن نمونه می‌گذرد، قابل محاسبه خواهد بود. در حقیقت، در این روش کانی‌ها نقش دزیمتر طبیعی را ایفا می‌کند.

برای سن‌یابی نمونه در آزمایشگاه، نخست دانه‌های کوارتز یا فلدسپار نهشته‌ها جدامی‌شود. کوارتز را با عاملی، به‌طور مثال لیزر، با شدت و طول موج خاص تحریک می‌کنند تا تولید لومینسانس کند. سپس، با فتومولتی پلایر میزان این لومینسانس (طبیعی) اندازه‌گیری می‌شود. تعداد فوتون‌های حاصل معادل تعداد الکترون‌های جمع‌شده در تله طی زمان مدفون‌شدن است و الکترون‌ها رابطهٔ مستقیم با دز رادیواکتیو محیطی دارد که نمونهٔ رسوبی در آن قرار داشته است. لذا، سیگنال لومینسانس حاصل را سیگنال حاصل از دز طبیعی می‌نامند (Gy). با تقسیم میزان دز طبیعی (حاصل دورانی که نمونه تحت تابش اشعه‌های رادیواکتیو در طبیعت بوده است)، بر میزان دزی که نمونه هر سال دریافت کرده است (نرخ دز)، سن آخرین صفرشدگی سیگنال لومینسانس به‌دست می‌آید.

$$\text{سن نمونه (Ka)} = \frac{\text{دز معادل دز طبیعی (Gy)}}{\text{دز سالانه (Gy/Ka)}} \qquad (۱)$$

دز معادل دز طبیعی (Gy) دزی است که نمونه در زمان مدفون‌بودن و دز سالانه دز رادیواکتیوی است که نمونه از محیط طی یک سال دریافت کرده است. به‌عبارت دیگر،

سن= کل دز تابشی جذب‌شده/ نرخ دز تابش

Age (year) =equivalent dose (Gy)/dose rate (Gy/year) (Gy=J/kg)

کانی کوارتز را نور سبز یا آبی برمی‌انگیزد، در حالی‌که کانی فلدسپات را بیشتر پرتو مادون سرخ برمی‌انگیزد (وینتل، ۱۹۹۷). با توجه به موارد یادشده، هرچه نمونه قدیمی‌تر باشد، نور بیشتری ساطع خواهد کرد و نمونه‌هایی که کانی‌های آن حتی برای چند ثانیه در معرض نور خورشید قرارداشته باشد، سنی معادل صفر دارد.

یکی از روش‌هایی که به‌وسیلهٔ آن می‌توان زمان و شدت رخدادها و تغییرات پوستهٔ زمین را طی دوره‌های مختلف رخدادهای زمین‌شناسی محاسبه کرد، روش مطالعهٔ فرونشست یا فرایش زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی در زمان‌های گوناگون است. حوضهٔ دریاچه‌ای بهشت‌آباد حاوی ستبرا به نسبت زیاد و سفید رنگ از نهشته‌های دریاچه‌ای در منطقه‌ای است که پی سنگ آن را سنگ آهک‌های اولیگوسن– میوسن تشکیل داده است. نرخ بالای فرایندهای فرسایشی در این حوضه و از همه مهم‌تر ضرورت ایمن‌بودن این محدوده با توجه به کاربری آن مناسب‌ترین مکان برای ایجاد سد بهشت‌آباد است و با درنظرگرفتن اهمیت سن‌جنبایی گسل‌های محدودهٔ ساختگاه سد و کسب داده‌های مربوط به آخرین تکاپوی گسل‌های منطقه، مطالعات یادشده امکان تعیین و ارزیابی نرخ فرایندهای پرتکاپوی زمین‌ریخت‌شناسی (مانند فرسایش یا رسوب‌گذاری، آخرین فعالیت گسل‌ها) را فراهم می‌سازد که سبب تحول و تغییر زمین‌ریخت طی دگرشکلی پوستهٔ زاگرس است و با فرض تداوم و ثبات فرایندهای درگیر در آینده، موجب شناسایی تاریخچهٔ تکتونیکی محدودهٔ مورد مطالعه و پیش‌بینی مناسب و قابل‌قبول ویژگی‌های ساختاری آن در زمان‌های آتی و تا پایان عمر مفید سازه خواهد شد. برای سن‌سنجی نهشته‌های دریاچه‌ای گسترهٔ مطالعاتی از روش Post-IR IRSL استفاده شده است که بیشتر برای کانی‌های فلدسپات نهشته‌های پلئیستوسن پسین کاربرد دارد (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۴).

یافته‌ها

سه نمونهٔ برداشت‌شده از ترانشه‌های حفرشده در محدودهٔ ساختگاه سد بهشت‌آباد (شکل ۵) در عملیات سن‌سنجی به آزمایشگاه سن‌سنجی آکادمی علوم چین ارسال شد. همان‌طور که انتظار می‌رفت سن نهشته‌ها از بالا به سمت پایین به‌تدریج افزایش می‌یابد و با رسوب‌گذاری در محیط آرام دریاچه‌ای هم‌خوانی دارد. بر این اساس، منطقهٔ اردل و پیرامون آن را در حدود ۲۰۰ هزار سال پیش دریاچه‌ای کم‌ژرفا پوشانیده است که نهشته‌های رسی و مارنی به‌صورت پیوسته و آرام در آن رسوب‌گذاری شده است. آرامش این دریاچه گاه با تغییر محیط به رژیم سیلابی به‌هم‌خورده است که امروزه آثار آن به‌صورت لایه‌های کنگلومرایی و به‌صورت متناوب با مارن‌ها دیده می‌شود.

برای اندازه‌گیری سیگنال‌های IRSL و Post-IR IRSL، برانگیختگی مادون سرخ (IR) به مدت ۲۰۰ ثانیه و در دمای ۲۲۵ و ۲۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد انجام شد (جدول ۱).

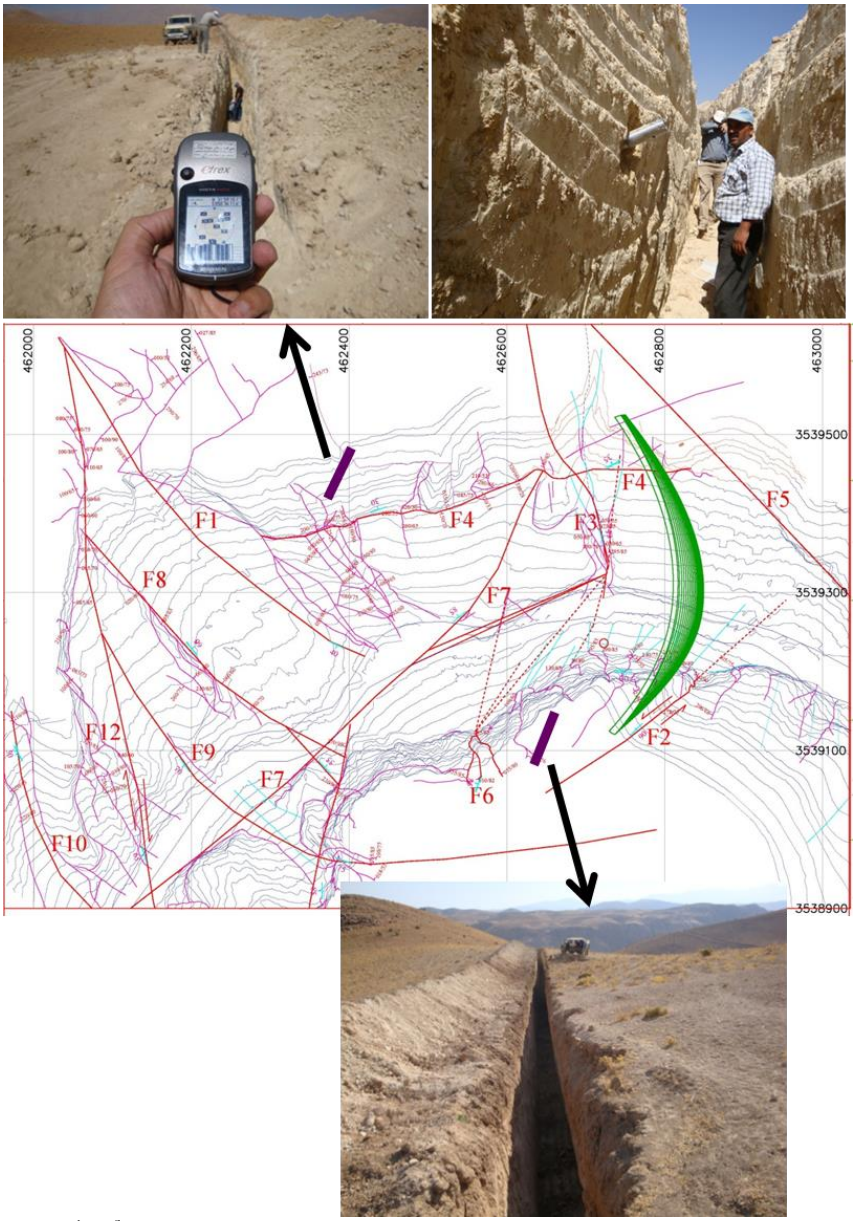
جدول ۱. شمایی از اصول سن‌سنجی نوری

شماره نمونه	عمق (متر)	دز طبیعی اشعه (Gy/Ka)	متوسط دز سالانه (Gy/Ka)	مقدار دز نمونه (Gy)	سن نوری نمونه (Ka)
T-L-۲	۱	۰/۲۵	۱/۲۱±۰/۰۵	۲۳۷/۵±۱۰/۵	۱۹۶/۲±۱۱/۹
T-L-۱	۱/۸	۰/۲۲	۱/۳±۰/۰۶	۲۴۶/۶±۱۴/۳	۱۸۹/۷±۱۴/۱
T-L-۳	۲/۹	۰/۱۹	۱/۱۹±۰/۰۶	۲۵۰/۷±۱۴/۴	۲۱۰/۷±۱۶/۱

جوان‌ترین نمونهٔ گرفته‌شده از ترانشه‌های حفرشده در محل ساختگاه، سن حدود ۱۹۰ هزار سال را نشان می‌دهد. این سن در محدودهٔ پلئیستوسن (یونین) قرارمی‌گیرد.

از دیدگاه مهندسی، گسله‌ای فعال در نظر گرفته می‌شود که در دورهٔ هولوسن پسین (ده‌هزار سال پیش تاکنون) جابه‌جایی داشته و در یکصد سال آینده امکان فعالیت داشته باشد (ICOLD, 2010). شواهد زیر نیز در شناسایی گسله‌ای فعال مفید است (بربریان و همکاران، ۱۳۶۴):

- رویداد زمین‌لرزه‌های تاریخی در بخشی از طول گسله



شکل ۵. موقعیت و تصویر ترانشه‌های حفرشده روی نهشته‌های دریاچه‌ای جناحین محور سد بهشت‌آباد (صداقت، ۱۳۹۵)

- گسلش در رسوبات کواترنر پسین
- وفور خردزمین‌لرزه‌ها بر گسله که در شبکه‌های کامل لرزه‌نگاری ثبت شود.
- همخوانی زمین‌ساختی یک گسله با گسله‌های فعال شناخته‌شده (گسل‌های هم‌درد).

با توجه به نبود سند معتبر برای اثبات شواهد اول، سوم و چهارم، تنها مدرک قضاوت در مورد فعالیت گسل‌های محدودهٔ ساختگاه، تأیید یا رد گسلش در رسوبات کواترنر پسین توسط گسل‌های محدودهٔ ساختگاه است.

از آنجا که گسله‌های راستالغز دیده‌شده در سنگ‌های کربناته زیر محل ترانشه‌ها جابه‌جایی قابل‌توجهی در نهشته‌های داخل ترانشه نشان نمی‌دهد و اینکه این نهشته‌ها سنی به مراتب کهن‌تر از ۱۰ هزار سال دارد، می‌توان نتیجه گرفت که این گسله‌ها جنبایی ندارد. در بازدیدهای صحرایی، گسله‌های راستالغز به‌طور پیوسته در دو سوی گسلهٔ راندگی F4 مشاهده شد. بنابراین، سن آن معادل گسلهٔ راندگی یا جوان‌تر از گسلهٔ راندگی F4 است. به‌عبارت دیگر، گسلهٔ راندگی F4 نسل قدیمی‌تر گسله‌های منطقه است. از این مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که گسلهٔ F4 نیز در ۲۰۰ هزار سال گذشته جنبشی نداشته است و در ردیف گسله‌های غیرفعال قرارمی‌گیرد.

همچنین، در بررسی ترانشه‌ها تنها در ترانشهٔ کولهٔ چپ درزه‌هایی دیده شد که مربوط به تکان‌های شدید منطقه یا قرارگیری در میدان تنش گسله‌های دورتر است. مشابه این درزه‌ها به تعداد بیشتر در نهشته‌های دانه‌درشت بین محل ساختگاه سد و شهر اردل دیده می‌شود. گسلهٔ اردل در شمال ساختگاه گسله‌ای جنبا و لرزه‌زاست (آوتمایو، ۲۰۰۶). این گسله در فاصلهٔ ۶ کیلومتری شمال ساختگاه قرارمی‌گیرد. بر اساس داده‌های لرزه‌شناسی و مدل‌سازی امواج درونی زمین‌لرزه‌ها، ژرفای قفل‌شدگی گسله‌ها در منطقهٔ مورد مطالعه حداقل در ژرفای حدود ۱۰ کیلومتری قرارمی‌گیرد (طالبیان و جکسون، ۲۰۰۴).

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت فعالیت گسله‌های محل ساختگاه و وقوع مخاطرات لرزه‌ای ناشی از آن بر پایداری سازهٔ سد، بررسی امکان فعالیت این گسل‌ها در امکان‌پذیری و روش اجرای طرح بسیار تعیین‌کننده است. عملیات سن‌سنجی به روش ترمولومینسانس (OSL) روی نهشته‌های کواترنر استقراریافته بر گسل‌ها، روشی مناسب در تأیید یا رد گسلش در رسوبات کواترنر پسین توسط گسل‌های محدودهٔ ساختگاه است. جوان‌ترین نمونهٔ گرفته‌شده از ترانشه‌های حفرشده در محل ساختگاه، سن حدود ۱۹۰ هزار سال را نشان می‌دهد. این سن در محدودهٔ پلئیستوسن (یونین) قرارمی‌گیرد. از آنجا که گسله‌های راستالغز دیده‌شده در سنگ‌های کربناته زیر محل ترانشه‌ها جابه‌جایی قابل‌توجهی در نهشته‌های داخل ترانشه نشان نمی‌دهد و اینکه این نهشته‌ها سنی به‌مراتب کهن‌تر از ۱۰ هزار سال دارد، می‌توان نتیجه گرفت که این گسله‌ها جنبایی ندارد و از نظر لرزه‌زمین‌ساختی غیرفعال محسوب می‌شود.

منابع

بربریان، م.، قرشی، م.، ارژنگ‌روش، ب.، مهاجر اشجعی، ا. (۱۳۶۴). پژوهش و بررسی ژرف نوزمین‌ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه، گسلش در گسترهٔ تهران و پیرامون، گزارش ۵۶، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

صداقت، م. (۱۳۹۵). گزارش میانکار زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه سد بهشت‌آباد، شرکت مهندسین مشاور زایندآب.

Aitken, M.J. (1998): An Introduction to Optical Dating. Oxford University Press, Oxford.

Aitken, M. J. (1985). Thermoluminescence Dating. Academic Press, New York, 259 p.

Authemayou, C., Dominique, C., Olivier, B., Malekzadeh, Z., Shabanian, E., Abbassi, M. R. (2006). Late Cenozoic partitioning of oblighue plate convergence in the Zagros fold and thrust belt (Iran), Tectonics, l.25, TC 3002.

Beberian, M., Ghoreishi, M., Arjang Ravesh, B., Ashjaee, A. (1985). Investigation on Deep Neotectonic, Seismotectonic and Earthquake-faulting Hazard around Tehran, Geological Survey of Iran, report no: 56. [in Persian]

Huntley, D.J., Godfrey-Smith, D.I., Thewalt, M.L.W. (1985). Optical dating of sediments. Nature, 313: 105-107.

ICOLD: International Commission on Large Dams (2010). Selecting Seismic Parameters for Large Dams, Guidelines, Bulletin 72.

Prescott, J.R., Robertson, G.B. (1997) Sediment dating by luminescence: A review, Radiation Measurements, 27: 893-922.

Sedaghat, M. (2016). Mid phase geological and engineering geological report on Beheshtabad dam site, Zayandab Consulting Engineers. [in Persian]

Stokes, S. (1999). Luminescence dating applications in geomorphological research. Geomorphology, 29: 153-171.

Talebian, M. and Jackson, J. (2004). A reappraisal earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros Mountains of Iran, Geophysics. J. Int., 156: 506-526.

Wintle, A.G. (1997). Luminescence dating: Laboratory procedures and protocols. Radiation Measurements, 27: 769-817.