تاریخ چاپ: بهار ۱۳۹۰

سن‌سنجی توده‌های گرانیتوییدی اراک- بروجرد در زون سنندج- سیرجان شمالی به روش اورانیم - سرب

فریبرز مسعودی: دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی
شهریار محمودی: گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم
محمد محجل: گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس
بهزاد مهرابی: گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت معلم

چکیده

توده‌های نفوذی حد فاصل شهرستان اراک تا بروجرد در بخش شمالی زون سنندج سیرجان از نظر صحرایی و سنگ شناسی متنوع هستند. این توده‌ها به سه گروه ۱) توده نفوذی آستانه، ۲) کمپلکس بروجرد و ۳) توده‌های توان‌دشت- گوشه قابل تقسیم هستند. اولین بار سنگ‌های این توده‌ها بر اساس تعیین سن‌های انجام شده به روش K-Ar در توده‌های مجاور مانند الوند همدان حدود ۶۰ Ma در نظر گرفته شد. سن سنجی‌های بعدی بر اساس روش Rb-Sr سن‌های قدیمی‌تری را نیز معرفی و تشکیل توده‌های بروجرد را در دو فاز حدود ۶۰Ma و ۱۲۰Ma و تودهٔ آستانه را در زمان ۱۰۰ Ma نشان داد. در پی آن بر اساس پژوهش‌های سن‌سنجی بر روی زیرکن فازهای مختلف موجود به حدود ۱۷۰ میلیون سال پیش نسبت داده شد. در این تحقیق به منظور تکمیل داده‌های سن سنجی، کانی زیرکن توده‌های گرانیتوییدی با استفاده از روش (ID-Mass spectrometry) تعیین سن شد. داده‌های به‌دست آمده، وجود توده‌های نفوذی گرانیتوییدی با سن حدود ۱۷۰ Ma را در تودهٔ آستانه و کمپلکس بروجرد تأیید کرد. اما توده‌های نفوذی جوانی نیز برای اولین بار با سن ۳۴/۸ Ma در منطقهٔ توان‌دشت شناخته شد. بدین ترتیب اولین فعالیت‌های پلوتونیسم در این بخش از زون سنندج- سیرجان در ژوراسیک میانی (اشکوب باتونین)، شروع شده و آخرین فاز آن در زمان اواخر ائوسن (پریابونین) بوده است. با وجود تفاوت‌های صحرایی و شیمیایی بین توده‌های نفوذی منطقه برای تعیین دقیق فازهای میانی این دو زمان نیاز به پژوهش‌های بیش‌تری است. از آن‌جا که تشکیل این توده‌های کالک آلکالن با فرورانش ورقه عربی به زیر خرده قاره ایران مرکزی در ارتباط است، سن‌های به‌دست آمده می‌تواند زمان مناسب تری را برای وقوع فرورانش و الگوهای تکتونیکی ارائه شده، مشخص کند.

مقدمه

زون سنندج- سیرجان عمدتاً از مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی و توده‌های نفوذی تشکیل شده است. طول زون سنندج- سیرجان حدود ۱۵۰۰ و پهنای آن ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر است که از باختر دریاچهٔ ارومیه آغاز

واژه‌های کلیدی: سنندج- سیرجان، تعیین سن، گرانیتوئید، بروجرد
دریافت ۸۸/۳/۱۹ پذیرش ۸۸/۱۱/۲۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

می‌شود و در راستای شمال باختری- جنوب خاوری تا گسل میناب، در شمال بندرعباس، ادامه می‌یابد (شکل ۱). این زون در شرق با زون آتشفشانی ارومیه دختر و در غرب با مجموعه نادگرگونه و چین‌خوردهٔ زاگرس محدود می‌شود. ماهیت کالک الکالن گرانیتوییدهای زون سنندج- سیرجان با الگوی فرورانش پوستهٔ اقیانوسی نئوتتیس و ایجاد کمان ماگمایی در حاشیهٔ خرده قاره ایران مرکزی در سنگ‌های ولکانیکی و دگرگونی هماهنگی دارد[۱]، [۲]، [۳]. با توجه به بررسی‌های به عمل آمدهٔ تعدادی از محققان [۱]، [۴]، [۵]، [۶]، در پی بسته شده اقیانوس پالئوتتیس در تریاس میانی در حاشیهٔ جنوبی اوراسیا و برخورد خرده قاره ایران مرکزی به اوراسیا، اقیانوس نئوتتیس در جنوب و غرب خرده قاره ایران مرکزی گشوده شده و در ژوراسیک میانی تا پایانی فرورانش پوستهٔ اقیانوسی نئوتتیس باعث ایجاد فرآیندهای تکتونیکی مؤثر در تشکیل گرانیتوییدهای موجود در زون سنندج- سیرجان شده است. به عقیدهٔ برخی پژوهندگان در تریاس پایانی فرورانش خاتمه یافته و برخورد خرده قارهٔ عربی و خرده قارهٔ ایران مرکزی و شروع پدیده چین‌خوردگی زاگرس، فعالیت‌های ماگمایی و دگرگونی بعد از برخورد قاره‌ای (post collision) در شمال و مرکز زون سنندج- سیرجان است [۲]، [۷]. برخی از پژوهندگان برخورد سپر عربستان و ایران مرکزی را کرتاسه بالایی تا پالئوسن دانسته‌اند [۸]. بررسی‌های سن‌سنجی با ارزشی تاکنون بر روی توده‌های سنندج سیرجان شمالی انجام شده است. اما توده‌های نفوذی در حد فاصل اراک تا بروجرد و مناطق اطراف، دارای فازهای متنوع و متعددی است که داده‌های ایزوتوپی جمع‌آوری شده [۹]-[۱۴] تا آن حد نیست که بتواند به‌طور کامل زمان توالی وقایع یاد شده در منطقه را تأیید و مشخص کند. به علت تنوع زیاد و محدودیت سن‌سنجی در کشور، ممکن است برخی از فعالیت‌های ماگمایی حتی تعیین سن نشده باشند. از طرفی سن‌های به‌دست آمده از روش‌های مختلف سن‌سنجی K-Ar، Rb-Sr و U-Pb نیز در مواردی یکسان و مشابه نیستند. در این مقاله سعی شده است با اضافه کردن نکاتی به اطلاعات قبلی، داده‌های سن‌سنجی موجود، که با استفاده از روش‌های متفاوت سن‌سنجی انجام شده است بررسی و با تعیین سن نمونه‌های جدید، محدودهٔ زمانی تشکیل فازهای مختلف گرانیتوییدی در منطقهٔ اراک تا بروجرد مشخص‌تر شود.

زمین‌شناسی عمومی

گرانیتوییدهای حد فاصل اراک تا بروجرد به سه گروه اصلی قابل تقسیم هستند: ۱) تودهٔ گرانیتوییدی آستانه؛ ۲) کمپلکس گرانیتوییدی بروجرد؛ و ۳) توده‌های منفرد و کوچک توان‌دشت- گوشه (شکل ۱). تودهٔ نفوذی آستانه دارای توپوگرافی بلندتر از سایر توده‌ها و سنگ‌های غالب گرانودیوریتی است. در این توده طلاسازی وجود داشته و در قدیم طلای پلاسر از رودخانه مجاور آن استخراج شده است. [۱۳] و [۱۴] در رساله‌های دکتری خود به بررسی‌های قبلی و ویژگی‌های پتروگرافی و پترولوژی این توده اشاره کرده‌اند.

کمپلکس بروجرد با وسعتی در حدود ۳۵۰ کیلومتر مربع در شرق شهرستان بروجرد واقع است و جاده بروجرد به سمت اراک از مرکز کمپلکس عبور می‌کند. این کمپلکس در بخش مرکزی زون سنندج- سیرجان با

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

روند شمال غربی- جنوب شرقی به موازات گسل اصلی زاگرس در مجموعه دگرگونی همدان شامل شیست‌های درجه پایین تزریق شده است. توده‌های موجود در کمپلکس بروجرد به واحدهای اصلی گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی تقسیم شده است [۱۱] .

توده‌های منفرد و کوچک توان‌دشت در جنوب کمپلکس بروجرد واقع شده و به صورت سه تودهٔ کوچک مجزا با ویژگی‌های تقریبا مشابه قابل تشخیص است. توده‌ها از گرانیت‌های روشن تشکیل شده که به علت یک‌نواختی به‌عنوان سنگ تزیینی مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در بررسی انجام شده، [۱۵] و [۱۶] به بررسی‌های قبلی، پتروگرافی و پترولوژی این توده‌های پرداخته شده است. ویژگی‌های این گرانیت‌ها، ماهیت کالکوآلکالن را برای آن‌ها معرفی کرده است [۱۶].

نمونه‌ها و روش آزمایشگاهی

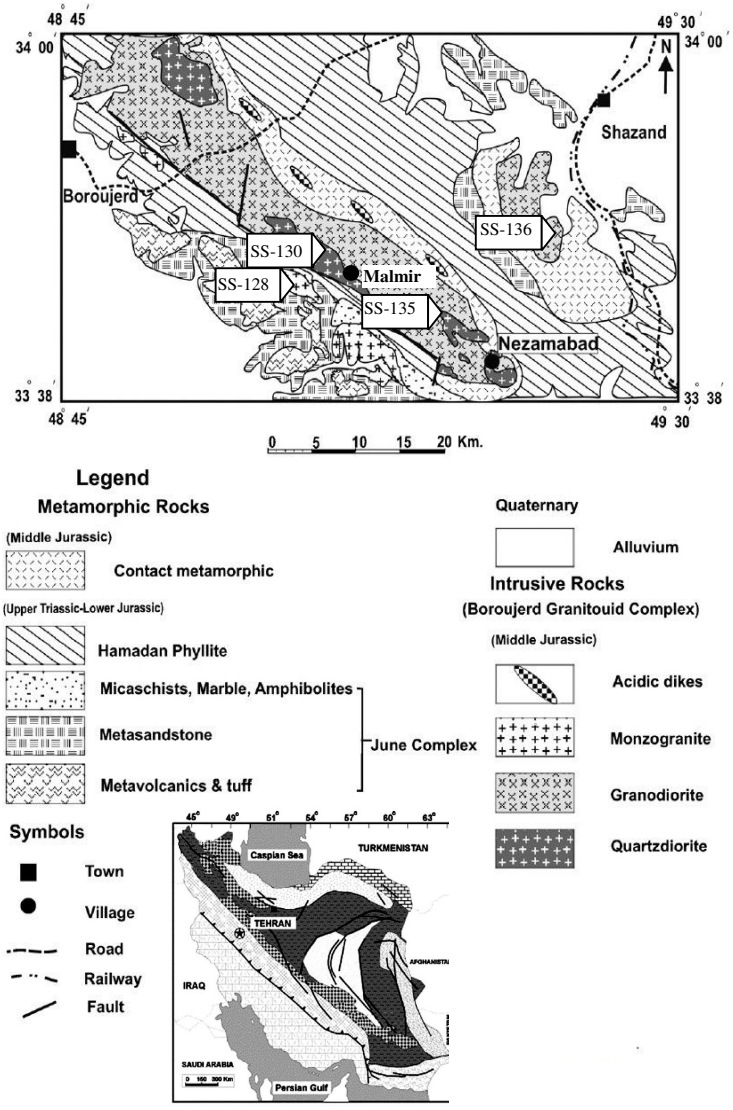
به‌منظور تکمیل و بررسی اطلاعات قبلی، از گرانیتوئیدهای اراک تا بروجرد نمونه‌برداری شد (جدول ۱). در این تحقیق از روش (ID-Mass spectrometry) و از روش پیشنهادی [۱۸] برای آماده‌سازی نمونه‌ها استفاده شده است. برخی از نمونه‌ها فاقد زیرکن کافی و جهت سن‌سنجی مناسب نبودند و در نهایت ۴ نمونه برای تعیین سن انتخاب شد. نمونه‌ها در دانشگاه اسلو تعیین سن شده‌اند. مشخصات و نتایج سن‌سنجی نمونه‌ها در ادامه آمده است.

نمونهٔ SS-128 از نزدیکی روستای توان‌دشت و از سنگ‌های غیرهوازده و مرتفع واحد منزوگرانیتی برداشته شده است (شکل۱). سنگ‌های این توده تقریباً همگن و نمونه مورد بررسی معرف تودهٔ اصلی است. پس از آماده‌سازی، سه گروه از زیرکن‌ها برای تجزیهٔ شیمیایی انتخاب گردید: گروه اول شامل ۷ عدد بلور بلند (Long prism) کاملاً فاقد هرگونه ادخال و زون‌بندی؛ گروه دوم شامل ۴ عدد بلور مشابه گروه اول، ولی دارای ادخال‌های کوچک درون بلوری؛ و گروه سوم سه عدد بلور کوتاه (Smale prism) فاقد ادخال بودند. نتایج به‌دست آمده سن Ma ۰/۰۸ ± ۳۴/۸۷ را به‌دست می‌دهد (شکل ۲الف). این نمونه با MSWD در حدود ۰/۸ سن قاطع است.

نمونهٔ SS-130 از واحد گرانودیوریتی کمپلکس بروجرد و از جنوب روستای مالمیر برداشته شده است (شکل ۱). این نمونه دارای فولیاسیون و شدیداً هوازده است و کانی‌های دگرگونی درجه پایین مانند اپیدوت و مسکوویت در آن مشاهده می‌شود. زیرکن‌های موجود در این نمونه بی‌رنگ و کاملاً فاقد هوازدگی و ادخال از کانی‌های دیگر است؛ ولی شکستگی‌هایی که حاکی از تأثیر نیروهای تکتونیکی بر این کانی است مشاهده می‌شود و به این دلیل برای شستشو و پاک‌سازی زیرکن‌ها از روش شیمیایی (Chemical abrasion) استفاده شد [۱۸].

ابتدا سه گروه از بلورهای بلند، بلورهای کوتاه و قطعات بلوری انتخاب شد و در مرحله دوم دو گروه دیگر

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]



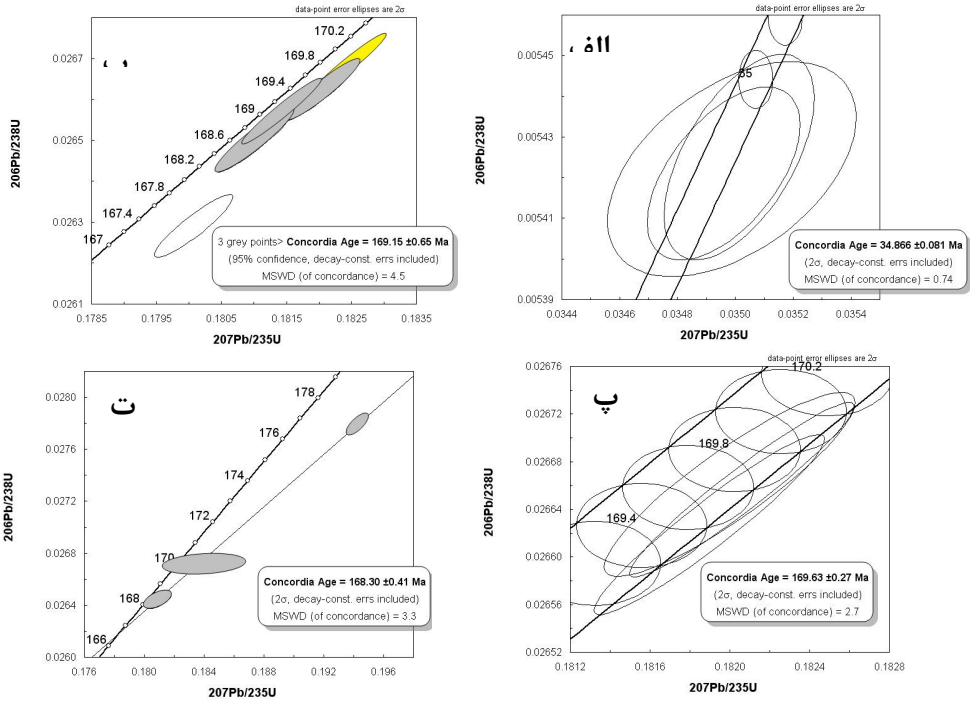
شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی گرانیتوییدهای منطقه اراک- بروجرد (با تغییراتی، اقتباس از [۱۷]). محل نمونه‌های تعیین سن شده در نقشه با شماره نشان داده شده است.

از بلورهای بلند برای تأیید تجزیه‌های شیمیایی انجام شده در مرحله اول انتخاب شد. در مجموع ۱۱ دانه سنجیده شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد این سنگ‌های کمپلکس بروجرد سنی معادل Ma ۰/۶۵± ۱۶۹/۱۵ دارند (شکل ۲ب).

نمونهٔ SS-135 از واحد کوارتز دیوریتی و در نزدیکی روستای نظام‌آباد برداشته شده است (شکل ۱). این فاز با بافتی ریز بلور و رنگ روشن نسبت به فازهای قبلی حاوی بلورهای زیرکن کم‌تری است. زیرکن‌های موجود در این نمونه شبیه به نمونهSS-130 است. سه گروه زیرکن جهت انجام تجزیهٔ شیمیایی انتخاب و در مجموع ۵۶ دانه تجزیهٔ شیمیایی شدند. سن Ma ۰/۲۷± ۱۶۹/۶۳ برای این سنگ به‌دست آمد (شکل ۲پ).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

نمونه SS-136 از گرانودیوریت‌های تودهٔ نفوذی آستانه برداشت شد (شکل ۱). نمونه دارای همانندی‌های پتروگرافی با واحد اصلی گرانودیوریتی در کمپلکس بروجرد است. تودهٔ آستانه دارای زینولیت‌های فراوان است که برخی از آن‌ها حاوی مجموعهٔ کانی شبیه به متن سنگ هستند. نمونهٔ بررسی شده از قسمت‌های بدون زینولیت برداشته شده است. از مجموعهٔ چهار گروه انتخاب شده برای تجزیهٔ شیمیایی که بر روی ۷۹ دانه زیرکن انجام شده، سن ۱۶۸/۳۰ ±۰/۴۱ Ma به‌دست آمده است (شکل ۲ت).



شکل ۲. نمودارهای هماهنگی و سن‌های تعیین شده برای نمونه‌های بررسی شده گرانیتوئیدهای اراک-بروجرد. الف) نمونه SS-128 از توده توان‌دشت با سن جوان ۳۴/۸۷ ±۰/۰۸Ma، ب) نمونه SS-130 از گرانودیوریت‌های کمپلکس بروجرد با سن ۱۶۹/۱۵ ±۰/۶۵Ma، پ) نمونه SS-135 دیوریت‌های کمپلکس بروجرد با سن ۱۶۹/۶۳ ±۰/۲۷Ma و ت) نمونه SS-136 از گرانودیویت‌های آستانه با سن ۱۶۸/۳۰ ±۰/۴۱ Ma.

بحث

مجموعهٔ توده‌های گرانیتوییدی بین شهرستان‌های اراک و بروجرد یکی از متنوع‌ترین مجموعه توده‌های نفوذی زون سنندج- سیرجان شمالی است. این توده‌ها را از نظر پترولوژی محققان مختلف بررسی کرده‌اند (مانند [۱۰]-[۱۶]). بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد گرانیتوئیدهای این منطقه در سری ماگمایی کالکوالکالن واقع هستند. اما، بررسی‌ها نشان داده است که تحولات فازهای مختلف در این مجموعه گرانیتوئیدی متفاوت بوده است. برای مثال [۱۱] با توجه به عناصر اصلی، معتقد است که واحدهای منزوگرانیتی و گرانودیوریتی دارای منشأ مشترک ماگمایی هستند، ولی واحد مونزونیتی دارای منشأ ماگمایی متفاوت است. اما عناصر کمیاب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

نشان‌گر منشأ ذوب بخشی عمیق‌تر واحد کوارتز دیوریتی است. [۱۳] منشأ هیبرید را برای تودهٔ آستانه معرفی کرده است. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که این مجموعه‌های گرانیتوئید با ویژگی‌های صحرایی، کانی‌شناسی، کانی‌سازی و شیمیایی متفاوت، ممکن است در زمان‌های متفاوتی شکل گرفته باشند.

داده‌های سن‌سنجی قبلی نیز زمان‌های متفاوتی را برای این توده‌ها معرفی کرده‌اند. داده‌های سن‌سنجی اولیه به روش Rb-Sr در کمپلکس بروجرد وجود چند فاز متوالی ماگماتیسم را نشان داده است [۱۰] و سن‌های حدود ۶۰-۷۰ میلیون سال و ۱۲۰ میلیون سال را برای کمپلکس بروجرد معرفی نموده است. اما بررسی‌های بعدی بر روی زیرکن، سن حدود ۱۷۰ میلیون سال را برای این مجموعه عنوان کرده است [۱۱].

در مورد سن تودهٔ آستانه، ابتدا به روش Rb-Sr، برای یک نمونه و بر اساس دو کانی فلدسپات و بیوتیت سن ۹۸/۹ ±۰/۹ پیشنهاد شد [۱۰]. این سن به همان روش بررسی بعدی [۱۳] ۹۲/۶+۵/۱ میلیون سال تعیین شد. اما [۱۲] با سن‌سنجی به روش Sr-Rb سن ۹±۱۸۰ میلیون سال را برای تودG نفوذی آستانه به‌دست آورده است.

بررسی‌های انجام شده توسط [۱۱] تمایزی برای توده‌ها بر اساس موقعیت جغرافیایی قائل نشده و به روش U/Pb بر روی زیرکن‌ها سن‌های Ma ۱ ±۱۷۰/۷، Ma ۲/. ±۱۶۹/۶ و Ma ۱/۱ ±۱۷۱/۳ را برای واحدهای گرانودیوریتی و سن Ma ۱/۵ ±۱۷۱/۷ را برای مونزوگرانیت‌ها و سن Ma ۱/۶ ±۱۷۰/۷ را برای کوارتز دیوریت‌های به‌دست آورده‌اند. [۱۱] در نمونه‌ای از رگه‌های پگماتیتی موجود نیز سن‌های نزدیک به تودهٔ اصلی گرانودیوریتی را معرفی کرده‌اند.

تنها سن‌سنجی قبلی، توده‌های توان‌دشت-گوشه را نیز حدود ۱۷۰ میلیون سال معرفی کرده است [۱۱].

بررسی‌های انجام شده در طی این تحقیق در مورد کمپلکس بروجرد نشان داد سن Ma۰/۲۷± ۱۶۹/۶۳برای مونزودیوریت‌های نظام‌آباد و سن به‌دست آمده برای سنگ‌های جنوب مالمیر گویای وجود یک فاز مشخص حدود ۱۷۰ میلیون سال در کمپلکس بروجرد است. همچنین با توجه به سن به‌دست آمده Ma ۰/۴۱ ±۱۶۸/۳۰ برای نمونهٔ تودهٔ آستانه، بررسی‌های این تحقیق سن حدود ۱۷۰ میلیون سال را برای فاز اصلی گرانودیوریتی توده آستانه تأیید می‌کند؛ اما نتایج این تحقیق وجود سن جوان Ma۰/۰۸± ۳۴/۸۷ را برای توده‌های توان‌دشت- گوشه نشان می‌دهد.

تعیین سن‌های قبلی و سن‌های به‌دست آمده در طی تحقیق حاضر در جدول ۱ خلاصه شده‌اند. ارقام موجود فاصله زمانی بین ۱۷۰ تا ۳۵ میلیون سال را تایید می‌کند. اما در فاصلهٔ این دو رقم، سن‌های متعددی دیده می‌شود. بر اساس منابع علمی منتشر شده برای بررسی‌های سن‌سنجی و تفسیر داده‌های آن‌ها(مانند [۲۰] و [۲۱]) سن‌های ماگمای اولیه، تبلور کانی‌های مختلف در سیستم گرانیتی، تغییر سن‌های بعدی در اثر فرایندهای جوان شدگی و سن جای‌گیری توده با یک‌دیگر متفاوت هستند. از این‌رو سن‌های به‌دست آمده بر اساس کانی‌هایی چون بیوتیت می‌توانند سن جوان شدگی را نشان دهند. سن‌های به‌دست آمده بر مبنای آرگون نیز می‌تواند سن‌های

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

تحولات بعدی بر روی گرانیت‌ها را، به‌جای سن تشکیل آن‌ها نشان دهند و یا باعث جوان‌شدگی سنی آن‌ها شود.

لذا سن‌های به‌دست آمده بر اساس تعیین سن کانی‌ها با روش Rb-Sr و یا سن‌های به‌دست آمده به روش K-Ar برای توده‌هایی که دارای فازهای متعددی هستند و در مناطقی قرار دارند که وقایع دگرگونی و پلوتونیسم آن‌ها در طی مراحل مختلفی شکل گرفته است، باید با احتیاط مورد استفاده قرار گیرد.

وجود سن‌های به‌دست آمده حدود ۱۷۰ میلیون سال و ۳۵ میلیون سال بر مبنای زیرکن می‌توانند به‌عنوان فاصله‌ای زمانی برای فعالیت‌های ماگمایی منطقه در نظر گرفته شوند. البته در مورد زیرکن نیز باید به موروثی نبودن آن‌ها توجه شود. در طی این تحقیق دانه‌های زیرکن قبل از تعیین سن به دقت با میکروسکوپ بررسی شد و از میان تعداد بسیار زیادی (بیش از ۴۰۰ دانه زیرکن) تنها تعداد خاصی برای سن‌سنجی انتخاب شدند. از این‌رو سن‌های به‌دست آمده را می‌توان به فرایندهای ماگمایی در منطقه نسبت داد.

با وجود پراکندگی سن‌های معرفی شده برای گرانیتوییدهای آستانه، کمپلکس بروجرد و توده‌های توان‌دشت (جدول ۱)، دیده می‌شود که برخی از داده‌ها در بازه‌های زمانی مشخصی قرار دارند. از این‌رو هنوز نیاز است که نمونه‌های مشابه گرانیت‌های تعیین سن شده توسط [۱۰] با سن Ma ۶۰-۷۰ نیز مطالعه تا وجود این فاز ماگمایی نیز بررسی شود. سن‌های مشابه در تودهٔ همدان نیز گزارش شده‌اند (جدول ۲). از همین رو برای تعیین دقیق تعداد فازهای ماگمایی و یا تعیین تحولات رخ داده بر روی سنگ‌های منطقه، نیاز به بررسی و تعیین سن نمونه‌های بیش‌تری است. در مواردی که زیرکن کافی وجود ندارد، روش Rb-Sr با استفاده نمونه‌های کل سنگ از گروهی از گرانیتویی‌های هم سن، به‌جای استفاده از کانی‌های منفرد شاید بتواند بازگوکننده سن اولیه سنگ باشد [۲۱].

جدول ۱. خلاصه مهم‌ترین سن‌های ارائه شده برای توده‌های نفوذی اراک- بروجرد

نام توده نفوذی	روش تعیین سن	سن (میلون سال)	رفرنس
گرانیت‌های قدیمی بروجرد	Rb -Sr	۱۳۰±۱/۴	[۱۰]
		۱۱۷/۲ ±۱/۲	
پگماتیت قدیمی بروجرد		۱۲۷/۳ ±۱/۳	
گرانودیوریت آستانه		۱۱۹/۲±۱/۳	
گرانیت‌های جوان		۹۸/۹±۱/۵	
پگماتیت‌های جوان بروجرد		۶۰-۷۰±۰/۷	
		۵۲±۰/۵	
کوارتز دیوریت	U-Th	۱۷۰/۷±۱/۶	[۱۱]
گرانودیوریت		۱۶۹/۶±۰/۲	
		۱۷۱/۳±۱/۱	
		۱۷۰/۳±۱	
مونزودیوریت		۱۷۱/۷±۱/۵	
پگماتیت		۱۷۰/۷±۱/۵	
تودهٔ آستانه	Rb -Sr	سن ۹ ± ۱۸۰	[۱۲]
تودهٔ آستانه	Rb -Sr	۹۲/۶+۵/۱	[۱۳]
تودهٔ آستانه	U-Th	۱۶۸/۳۰ ±۰/۴۱	تحقیق حاضر
کمپلکس بروجرد		۱۶۹/۱۵ ±۰/۶۵	
		۱۶۹/۶۳ ±۰/۲۷	
تودهٔ توان‌دشت		۳۴/۸۷ ±۰/۰۸	

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

جدول ۲. خلاصه مهمترین سن‌های ارائه شده برای توده نفوذی الوند و سنگ‌های وابسته به آن

نام تودهٔ نفوذی	روش تعیین سن	سن (میلون سال)	رفرنس
نوریت	Rb -Sr	۷۸-۸۹	[۹]
	K-Ar	۸۹/۱±۳	
پگماتیت	Rb -Sr	۱۰۴±۳	
	K-Ar	۸۲/۸±۳	
گرانیت پرفیرویید	Rb -Sr	۶۸±۲	
	K-Ar	۶۳/۸-۸۰/۸±۳	
دیوریت آلموقلاق	Rb -Sr	۱۴۴±۱۷	
گرانیت پرفیرویید	K-Ar	۶۴±۲	[۱۹]
گرانیت پرفیرویید	K-Ar	۸۱/۸±۱/۹	[۸]
پگماتیت	K-Ar	۷۴/۷±۱/۸	
کوارتز دیوریت	K-Ar	۷۳/۲±۳/۱	
دیوریت	K-Ar	۱۳۵/۲±۳/۱	

نتیجه‌گیری

بررسی‌های اولیه بر اساس روش K-Ar در دهۀ ۱۹۷۰برای توده‌های نفوذی سنندج- سیرجان سن‌های حدود ۷۰ Ma را معرفی کرد. در پی آن بررسی‌های سن‌سنجی بر اساس روش‌هایK-Ar و Sr-Rb وجود چند فاز ماگمایی با سن‌های ۶۰-۷۰ Ma سال و سن‌های حدود ۱۰۰ Ma و ۱۲۰ Ma را برای توده‌های اراک تا بروجرد ارائه کرد. این در حالی است که بررسی‌های انجام شده بعد از آن بر روی زیرکن برای تمام سنگ‌ها، سن‌های حدود ۱۷۰ Ma را معرفی کرد. تعیین سن‌های این تحقیق وجود سن‌های قدیمی حدود ۱۷۰ Maسال را تأیید اما فازهای جوان حدود ۳۵ Ma را نیز معرفی کرده است.

اعتقاد بر آن است که فرورانش پوستۀ اقیانوسی نئوتتیس به زیر خرده قاره ایران مرکزی در مزوزوییک و ترشیاری، باعث تشکیل کمان ماگمایی با ماهیت اصلی کالکو آلکالن در زون سنندج- سیرجان و زون ارومیه دختر شده است. به نظر محققان، در کرتاسه بالایی قطعاتی از پوستۀ اقیانوسی فرو رو شکسته شده و در اثر نیروی وارد از طرف پوسته قاره‌ای عربی مجدداً به فرورانش خود ادامه می‌دهد و طی ۵ تا ۱۰ میلیون سال ماگماتیسم را طی ائوسن ایجاد کرده است. چنین به نظر می‌رسد که ماگماتیسم گرانیتوییدی در منطقه بین اراک تا بروجرد در سنندج- سیرجان شمالی از ژوراسیک میانی (اشکوب باتونین) شروع شده و آخرین فاز آن در اواخر ائوسن (پریابونین) بوده است. این محدودۀ زمانی می‌تواند زمان فرایند و تحولات الگوهای ارائه شده برای فرورانش صفحۀ عربی را روشن کند؛ اما با وجود تفاوت‌های صحرایی و شیمیایی بین توده‌های نفوذی منطقه برای تعیین دقیق فازهای میانی این دو زمان نیاز به بررسی‌های بیش‌تری است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه تربیت معلم انجام شده است. از پروفسور کرفو در دانشگاه اسلو برای همکاری در تعیین سن‌ها و تفسیر نمودارهای مربوط تشکر می‌شود. راهنمایی‌های ارزنده داوران محترم در تدوین نهایی مقاله بسیار مفید بوده است که نویسندگان، بدین‌وسیله از ایشان قدردانی می‌کنند.

منابع

1. M. Berberian, G. C. P. King, Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences, 18 (1981) 210.
2. M. Berberian, Generalized tectonic map of Iran. In: Berberian, M. (Ed.) Continental deformation in the Iranian Plateau. Geological Survey of Iran, Report No. 52 (1983).
3. M. Mohajjel, C. L. Fergusson, M. R. Sahandi, Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences, 21 (2003) 397.
4. J. Stöcklin, Possible ancient continental margins in Iran. In: Burk, C. A. Drake, C. L. (Eds.). The geology of continental margins. Springer, Berlin (1974) 873.
5. J. Stöcklin, Structural correlation of the Alpine range between Iran and Central Asia. Me´moire Hors-Se´rve No. 8 de la socie`te´ ge´ologique de France, 8 (1977) 333.
6. M. Alavi, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, 229 (1994) 211.
7. M. Sabzehei, Geological quadrangle map of Iran, No.12, Hajiabad, 1:250,000, First compilation by Berberian, M., final compilation and revision by Sabzehei, M., Geological Survey of Iran (1994).
8. A. Baharifar, H. Moinevaziri, H. Bellon, A. Piqué, The crystalline complexes of Hamadan (Sanandaj–Sirjan zone, western Iran): metasedimentary Mesozoic sequences affected by Late Cretaceous tectono-metamorphic and plutonic events. C.R. Geoscience, 336 (2004) 1443.
9. M. M. Valizadeh, J. M. Cantagrel, Premières données radiométriques (K-Ar et. Rb-Sr) sur les micas du complexe magmatique du Mont Alvand, près de Hamadan (Iran occidental). Comptes Rendus Académie des Sciences Sc. 281 (1975) 1083.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]

10. F. Masoudi, B. W. D. Yardlly, R. A. Cliff., Rb-Sr Geochronology of pegmatites plutonic rocks and ahornfels in the regional South-Est of Arak, Iran. Journal of Sciences, Islamic ripoblic of Iran, 13 (2002) 249.

11. A. Ahmadi Khalaji, D. Esmaeily, M.V. Valizadeh, H. Rahimpour-Bonab, Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran, Journal of Asian Earth Sciences, 29 (2007) 859.

۱۲. طهماسبی، ز. پترولوژی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی آستانه (پهنه سنندج سیرجان)، رسالهٔ دکتری، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۸).

۱۳. عسگری، ع. پترولوژی توده گرانیتوئیدی آستانه و مقایسه آن با توده‌های آذرین مجاور، رسالهٔ دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات (۱۳۸۷).

۱۴. ولی‌زاده، م.، قاسمی، ح. پتروژنز توده گرانیتوییدی بونین- میاندشت، جنوب شرقی الیگودرز، فصلنامهٔ علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. شماره ۷ (۱۳۷۲) ۸۳-۷۴.

۱۵. ساریخانی، ه. پترولوژی توده‌های نفوذی گوشه- توان‌دشت- نلخاست در جنوب غرب اراک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم تهران (۱۳۸۱).

16. S. M. H. Razavi, F. Masoudi, H. Sarikhani, Petrology of Gosheh- Nelkhast Intrusions in the region NE of Borujerd, Iran. Jornal of sciences Islamic Azad university, 69 (2008) 237.

17. M. Sohieili, Geological quadrangle map of the Khorramabad area, No: D 7. 1: 250000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (1992).

18. F. Corfu, U-Pb age, setting, and tectonic significance of the anorthosite-mangerite-charnockite-granite-suite, Lofoten-Vesterålen, Norway. Journal of Petrology, 45/9 (2004) 1799.

19. J. Braud, H. Bellon, Données nouvelles sur le demaine métamorphique du Zagros (zone de Sanandaj-Sirjan) au niveau de Kermanshah-Hamadan (Iran): nature âge et. interprétation des séries métamorphiques et des intrusions; évolution structurale. Rapport Université Paris-Sud. (1974).

۲۰. ولی زاده، م. پترولوژی تجربی و تکتونیک کلی. جلد دوم صفحه ۴۱۹، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۷۱).

۲۱. ولی زاده، م.، قاسمی، ح.، نراقی، ن.، صادقیان، م. اصول زمین‌شناسی ایزوتوپی، دانشگاه صنعتی شاهرود (۱۳۸۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-03]