

سال بیست و هفتم، شمارهٔ دوم، تابستان ۹۸، از صفحهٔ ۴۰۱ تا ۴۱۰



بررسی فرکتال مرز دانههای کوارتز در گرانیت گنیس آبادچی، شمال شهرکرد

فریبا ریاحی سامانی، ناهیدشبانیان بروجنی ٌ، علیرضا داودیان دهکردی، بهناز بختیاری

د*انشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد* (دریافت مقاله: ۹۷/۳/۵) نسخه نهایی: ۹۷/۷/۱۶)

چکیده: توده گرانیت گنیس آبادچی در شمال دریاچه زایندهرود، در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان قرار دارد. این توده از نظر کانی شناسی، دارای کانیهای کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، آمفیبول، موسکویت، زیرکن، اسفن و آلانیت است. کوارتز یکی از فراوان رین کانیهای سازنده ی این سنگهاست که از نظر بافتی شرایط متفاوت دگرشکلی دینامیکی وارد بر سنگهای مورد بررسی را به خوبی نشان می دهد. بلورهای کوارتز شواهدی از باز تبلور کانی (BLG)، چرخش زیردانهای (SGR) و مهاجرت مرزدانهای (GBM) را نشان می دهد. تغییر شکل بلورهای کوارتز وابسته به دما و نرخ کرنش است که توسط نمودار دما/ نرخ کرنش می توان مقدار تغییر شکل را برآورد کرد. بطوری که، مقدار بعد فرکتال در مرز بلورهای کوارتز سنگهای مورد بررسی بین ۱/۱۳ و دما بین ۲۰۰۰–۲۵۰ تا ۲۵۰–۵۰۰ درجه سانتی گراد است. براساس دما و بعد فرکتال محاسبه شده، نرخ کرنش برای چهار گستره اندازه-همخوانی داشتند.

واژههای کلیدی: گرانیت گنیس؛ مرز دانههای کوارتز؛ فرکتال؛ نرخ کرنش؛ دگرشکلی؛ آبادچی؛ پهنه سنندج-سیرجان.

مقدمه

مرزهای بین بلورهای یک کانی در سنگهای دگرگونی و آذرین در شرایط ویژهای بهصورت بینانگشتی دیده می شوند. هر انگشت یک برآمدگی یا درز از مرزدانه را در مقیاس مختلف نشان می دهد (شکل ۱). در طول مرز دانه، اتم یا گروهی از اتم-ها ساختار بلوری خود را ترک کرده و با جایگیری در آن نزدیکی، و باعث تشکیل این مرزها می شوند. این انتشار مربوط به پارامترهای مختلف، به عنوان مثال راستای بلورشناسی نسبی تغییر شکل بلورهای مجاور دلیلی برای مهاجرت و ساختار بین-انگشتی مرز مشترک آنها در نظر گرفته شده است (کرنش ناشی از مهاجرت مرز دانه، [۱، ۲]). باتوجه به تحلیلهای آماری، با افزایش دما طول مرز افزایش می یابد اندازه درزها می-تواند اساس اندازه گیری دمای تشکیل باشد درزها می توانند در

مرز دانههای همه کانیها ایجاد شوند. این درزها در بلورهای کوارتز به خوبی شناخته شدهاند؛ برای مثال، در سنگهای رخساره شیست سبز در مرز دانه کوارتز، درزها (حدود ۱۰ (۵۰m) بهخوبی میتوانند ایجاد شوند [۱].

هندسه فرکتال روشی برای تعیین کمیتهایی مانند شکل-های پیچیده و نامنظم ارائه می دهد [۳، ۴]. آزمایشهای بسیاری در مورد انواع مرزهای بین مایعات مختلف و گسترش فرکتال بین انگشتی انجام شده است [۵]. به نظر می رسد که نوع بین انگشتی به چسبندگی نسبی مایعات و مرز تنش مربوط باشد [۶]. اگر مایعات از طریق یک محیط متخلخل مهاجرت کنند مرزهای فرکتال تشکیل می شوند. به طور عمده مرز فرکتال ها در این ساختارها بی نظم هستند [۴]. شکل هایی که از نظر آماری یکسان هستند را می توان با هندسه فرکتال بررسی کرد. در این صورت یک راه برای بررسی منحنی های

*نويسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۱۸۰۲۴۲، پست الکترونيکی: Nahid.shabanian@gmail.com



شکل ۱ نمای میکروسکوپی از درز و مرزهای بین انگشتی دانههای کوارتز (مرزها با دایره قرمز مشخص شدهاند). تصویر در نور XPL ثبت شده است.

پیچیده، جایگزینی آنها با تعدادی چندضلعی است که از قانون انرژی $L=r^{1-D}$ پیروی می کنند که L طول کلی هر چندضلعی، r طول یک طرف از یک چندضلعی (طول گام) و توان D که بعد فرکتالی نامیده میشود بیسکویچ سدروف^۱ بعد منحنی است. D میزان پیچیدگی منحنی را نشان میدهد و میتواند نمایش هندسی برای تعیین یک طرح دو لگاریتمی بواسطه شیب منحنی از رابطه خطی L-r باشد [۷].

با وجود پژوهشهایی که پیرامون نرخ کرنش و دگرشکلی در آزمایشگاهها صورت گرفته است، بدیهی است که تعیین تغییر شکل سنگها یک چالش است. فیفنر و همکارش [۸] بر پایه نتایج بررسی گستره کرنش به این نتیجه رسیدند که نرخ تغییرشکل زمین ۱۰-۱۰ تا ۱۰-۱۵ است. اعتقاد بر این است که نرخ کرنش عادی تغییرشکل زمین بین^{۱۲} ۱۰ تا ۱۰-۱۰ در نوسان است [۹، ۱۰] ، هر چند که به تازگی برخی برای پدیده-هایی مانند موضع گرانیتها به نرخ کرنش سریعتر اشاره دارند [۱۱، ۱۲]. براساس آزمایشهای مختلف در مورد تغییر شکل دانههای کوارتز در دما و نرخ کرنش متفاوت [۱۳]، مشخص شد که شکل دانههای کوارتز به دما (T) و نرخ کرنش وابسته هستند، به طوری که در دمای پایین و نرخ کرنش بالا، شکلها پیچیدهتر میشوند و برعکس. تاکاهاشی و همکاران [۱۳] رابطهای بین بعد فرکتال (D)، دما T، (بر حسب K) و نرخ کرنش $^{\circ}$ ارائه دادند که اگر T از بازتبلور کوارتز یا T از تغییر $^{\circ}$ شکل سنگ باشد و اگر D (از دانه های کوارتز) محاسبه شود، آنگاه با استفاده از آن (رابطه زیر) می توان نرخ کرنش را در یک سنگ عادی بر آورد کرد:

 $D = \Phi \log \varepsilon^{\circ} + \rho/T + 1.08 \tag{1}$

 $\rho = 6.44 \times 10^{\text{-2}} \, (K)_{\text{g}} \, \Phi = 9.34 \times 10^{\text{-2}} \{ [\log(s^{\text{-1}})]^{\text{-1}} \}$ که

است. به این ترتیب، نرخ کرنش بسیار بالا حدود ^۸-۱۰ -^۷-۱۰ در دمای بالا (C^o ۶۰۰<)، و نرخ کرنش (به عنوان مثال در زمین شناسی عادی) در دمای پایین^{۱۱/۴}-۱۰ برآورد شده است [۱۴].

هدف اصلی این پژوهش، برآورد نرخ کرنش و بررسی فرکتال مرز دانههای کوارتز در گرانیت گنیسی آبادچی است.

زمینشناسی منطقه

منطقه مورد بررسی در شمال دریاچه سد زایندهرود، حدود ۴۵ کیلومتری شمال شهرکرد در گسترهای با مختصات $^{\circ}$ $^{\circ}$ ۳۲° ۴۴' ۳۲° تا ۳۱۲ '۴۶ ۳۲° شمالی قرار دارد و بخشی از پهنه زمینساختاری سنندج - سیرجان است (شکل ۲). این پهنه باعرض ۱۰۰–۵۰ کیلومتر و طول ۱۵۰۰ کیلومتر در راستای شمال غربی ایران تا کمربند مکران در جنوب شرقی بوده و موازی کمربند رانشی زاگرس با روند شمال غربی به جنوب شرق است [10-10] رانش اصلى زاگرس سنندج – سیرجان را از کمربند رانشی زاگرس جدا میکند [۱۸]. بسیاری از گرانیتوئید نفوذی درون پهنه دگرگونی سنندج -سیرجان دگرگون شدهاند. بیشترین تودهها در راستای -NW SE هستند و به موازات روند ساختاری اصلی زاگرس و روند کلی برگوارگی و محور چین هستند. این گرانیتوئیدها در مقادیر متفاوت خرد شده و میلونیتیاند. توده گرانیت گنیس آبادچی دگرشکل شده، چین خورده و دگرگون شده است [۱۹].

در این پژوهش، سنگهای گرانیت گنیسی از چهار نقطه برداشت و بررسی شدهاند. نقاط مورد بررسی در شکل ۲ نشان داده شدهاند.

^{1- (}Besicovitch-Hausdorff)



شکل ۲ الف) جایگاه منطقهی مورد بررسی در استان چهارمحال بختیاری، ب) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی و تودههای نفوذی بر نقشه زمین شناسی [۲۰] و پ) جایگاه نقاط مورد بررسی بر تصویر ماهوارهای (تصویر برگرفته شده از Google Earth).

روش بررسی

پس از نمونهبرداری و ثبت جایگاه جغرافیایی از چهار منطقه مشخص شده در شکل ۲ با استفاده از دستگاه GPS در منطقه آبادچی، از نمونههای سالم ۲۰ مقطع تهیه شد و مقاطع توسط میکروسکوپ قطبشی المپیوس بررسی شدند. از ویژگیهای بافتی دانههای کوارتز عکسهایی در نور طبیعی و متقاطع تهیه

گردید. برای محاسبه بعد فرکتال (D) دانههای کوارتز، مقاطع با بزرگنمایی عدسی شیئی ۴X بررسی شدند. دست کم ۲۰۰ دانه کوارتز از هر مقطع با استفاده از نرم افزار CorelDraw رسم شده و مورد بررسی و اندازه گیری شدند. به طور کلی، برای تعیین بعد فرکتال دو روش متداول وجود دارد [۲۱] که عبارتند از روش تقسیم (با استفاده از چندضلعیها) و روش

شمارش جعبهای. در این پژوهش، با کمک روش جعبهای بعد فرکتال مرز دانههای کوارتز تعیین شده و سپس با استفاده از نرمافزارهای Imagej و CorelDraw نمودارهای لازم تهیه شدند.

بررسی سنگنگاری نمونهها

براساس بررسیهای میکروسکوپی انجام شده، بافت اصلی توده ورقه دانه شکفتی است که از نظر مرز دانهایی از اینترلوبیت تا آمیبیشکل تغییر میکنند. ترکیب کانیشناسی اصلی گرانیت گنیسی آبادچی شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، بیوتیت و موسکویت و کانیهای فرعی مگنتیت، زیرکن، آمفیبول و آلانیت هستند [۲۲–۲۴].

کوارتز از فراوانترین کانیهای سازندهی این سنگهاست که دارای اندازه متغیر، شکلدار تا نیمهشکل دار است و از نظر بافتی شرایط متفاوت دگرشکلی دینامیکی وارد شده را بر گرانیت گنیسی مورد بررسی نشان میدهند.

رفتار کوارتز طی دگرشکلی میتواند به برآورد نسبی دما هنگام تغییرات ساختاری کمک کند. ریزساختارهای مشاهده شده در بلورهای کوارتز شامل خاموشی موجی و انحلال فشاری همراه با ایجاد شکستگی است که در دمای کمتر از ۲۵۰ درجه سانتی گراد دیده میشوند [۲۵–۲۷].

بلورها در دمای پایین بصورت دانههای بازتبلور یافته کوچک و محدب در طول مرز دانه دیده میشوند. با افزایش دما طی دگرشکلی، بازتبلور و نمایش ریزساختارهایی مانند برآمدگی (BLG) و مرز دندانهدار بلورها در شرایط دمای ۴۰۰-۲۵۰ درجه سانتی گراد رخ میدهد و بافت غالب به صورت ریزدانه در اطراف بلورهای درشت مشخص میشود (شکل ۳ الف). با افزایش دما، دانههای بازتبلور یافته، مرزهای نسبتا مستقیمتری را نشان میدهند و زیردانهها شروع به چرخش میکنند که به این فرایند چرخش زیر دانهای (SGR) گفته میشود [۲۸].



شکل۳ نمایی میکروسکوپی از بلورهای کوارتز الف) ظهور دانههای جدید و کوچک در اطراف هستههای قدیمی کوارتز، BLG، در مقطع 6-RH (نور XPL)، ب) مرز بخیهای دانههای کوارتز و مهاجرت مرز دانهای در کوارتزها (SGR) در مقطع 4-RH5 (نور XPL)، پ و ت) دانههای کوارتز با زاویهی ۱۲۰ درجه، یا زاویهی دوسطحی و از نوع GBM به ترتیب در مقطعهای 5-5 RH و 2-6 RH، (نور XPL) (پیکانهای قرمز دانههای کوارتز با زاویهی ۱۲۰ درجه را نشان میدهند). علامتهای اختصاری برگرفته از مرجع [۲۹] هستند.

چرخش زیردانهای و بازتبلور در دمای ۵۰۰–۴۰۰ درجه سانتی گراد دیده می شوند و بلورهای کوارتز تقریبا به یک اندازه رشد کردهاند (شکل ۳ ب). با افزایش دما، اندازه دانههای بازتبلور یافته بزرگتر شده و مهاجرت مرز دانهها (GBM) پدیده غالب می شود. GBM در دمای بالاتر از ^O ۵۰۰–۵۰۰ رخ می دهد و توسط مرزهای موجدار و آمیبی کانی ها مشخص شدهاند و مهاجرت مرزدانهای در کوارتزها رخ می دهد (شکل شدهاند و مهاجرت مرزدانهای در کوارتزها رخ می دهد (شکل قدیمی، دانههای کوچک با مرزهای کمی موجدار با نقاط سه-گانه جایگزین هستهی قدیمی کانی می شوند که شرایط دمایی بالاتر که بین ۸۵۰–۵۰۰ درجه سانتی گراد برآورد شده است را نشان می دهد و SGR نامیده می شوند [۲۵،۲۴] (شکلهای ۳ پ و ت).

بحث و بررسی

شکل ۴ نشان دهنده جایگاه نمونههای مورد بررسی در نمودارهای log d نسبت به log N_d و نمایش بعد فرکتال (D) در سنگهای مورد بررسی است. بعد فرکتال برای هر نمونه بصورت شیب خط مستقیم در هر نمودار نمایش داده شده است. نتایج تجزیه و تحلیل فرکتال در ۴ منطقه مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شدهاست. نمونه 6-4 RH در لبه گرانیت آبادچی قرار داشته و نسبت به بقیه نمونهها بزرگترین دانههای کوارتز را دارد (۵/۵ میلی متر). گستره بعد فرکتالی این نمونه نیز بالاست (D=1/۲۳) در حالی که بقیه نمونهها دارای مقادیر

D پایین تری هستند. چنان که پیشتر بیان شد، رابطه (۱) که توسط تاکاهاشی و همکاران [۱۳] ارائه داده شده است برای محاسبه کرنش در کوارتزها استفاده میشود. کوارتزهای نمونه 6-4 HR در گستره دمای ۲۵۰–۲۹۰ درجه سانتی گراد گسترش یافتهاند. با استفاده از مقدار بعد فرکتال (۲۲۳–۱)، نرخ کرنش در دماهای ۲۵۰ و ۴۰۰ درجه سانتیگراد بهترتیب ^{۱۱۰–۱۱} و ^{۲۸–۱۱} است. در نمونه 4–5 RH گستره اندازه دانه-های کوارتز از ۲۷۹ تا ۲۱/۲ میلیمتر و مقدار D ثبت شده ۴۲۰ مای کرانش با استفاده از رابطه (۱) در دماهای ۴۲۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد بهترتیب ^{۹–۱} و ^{۲۸–۱۱} به دست می-اید. مقدار D برای نمونههای 5-5 RH و 2–6 HR به ترتیب ۱۹۲۲ و ۱۱/۱ است. نرخ کرنش با استفاده از این مقادیر D در آید. مقدار D برای نمونههای 5-5 RL و ۲۰۰ به دست می-۲۱/۱ و ۱۱/۱ است. نرخ کرنش با استفاده از این مقادیر C در دماهای ۵۰۰ و ۲۰۵ درجه سانتی گراد در جدول ۱ آورده شده RH محایرین مقدار کرنش (^{۲۹۶–۱}) کوارتزها برای نمونه RH

اعتقاد بر این است که نرخ کرنش طبیعی زمین شناسی بین ^{۱۲}-۱۰ تا ^{۱۵-۱}۰در تغییر است [۲۷، ۳۰] که نرخ کرنش همه نمونهها بالاتر از این گستره است. تاکاهاشی و همکاران [۱۳] نمودار دما (T) نسبت به نرخ کرنش را ارائه دادند که در آن منحنیهای تراز D بر اساس نتایج برآمده از آزمایش دانه-های کوارتز هستند. این نمودار بر اساس آزمایشهای انجام شده با نرخ کرنش ^۹-۱۰ در دمای ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد یعنی در دمای بالا و نرخ کرنش بسیار بالا رسم شده است.



شکل۴ جایگاه نمونههای مورد بررسی در نمودارهای log d نسبت به log Nd و نمایش بعد فرکتال (D) در سنگهای مورد بررسی.

	: آندازه دانه، ٤: نرح درنش و. 1: دمای مورد استفاده برای محاسبه نرح درنش.			
Sample	n	d range (mm)	D	Strain-rate (s-1) with T
RH 4-6	498	\cdot , $rr - 10, 0$	١,٢٣	$1 \cdot (1 \cdot C) - 1 \cdot (1 \cdot C) - 1 \cdot (1 \cdot C)$
RH 5-4	۲۵۵	\cdot , V9 $-$ V, I7	١,١٧	$1 \cdot e^{-9}$ (F7 $\cdot C$) – $1 \cdot e^{-\lambda \cdot F}$ (F $\cdot C$)
RH 5-5	714	$\cdot \Delta = - \nabla \Delta $	١,١٢	$1 \cdot e^{-A.Y} (\Delta \cdot \cdot e^{\circ}C) - 1 \cdot e^{-Y.Y} (Y \Delta \cdot e^{\circ}C)$
RH-6-2	777	\cdot , λ) – γ ,) τ	1,11	$1 \cdot C^{-\lambda, \ell} (\Delta \cdot C^{\circ}C) - 1 \cdot C^{-\beta, \beta} (V\Delta \cdot C^{\circ}C)$

جدول ۱ محاسبه بعد فرکتال (D) دادههای کوارتز محاسبه شده از بررسی نمونههای منطقه آبادچی. (n: تعداد دانههای کوارتز مورد بررسی در هـر نمونه، b: اندازه دانه، ٤: نرخ کرنش و. T: دمای مورد استفاده برای محاسبه نرخ کرنش.

 $1/T \times 10^4 (K^{-1})$ بایگاه نمونههای مورد بررسی در نمودار (⁻¹ X) $10^4 (K^{-1})$ نسبت به $10^2 (\sec^{-1})^2$ در شکل ۵ نمایش داده شدهاند. منطقه بسیار کوچک (مستطیل خاکستری) در شکل ۵ نشان-دهنده دادههای اصلی مرجع [۱۳] است گفتنی است که D باید بین خطوط ۱ تا ۲ باشد، زیرا همه بررسیها بر اساس اندازه گیریهای دوبعدی انجام شدهاست [۱۳]. با توجه به شکل ۵ میتوان نتیجه گرفت که در نرخ کرنش طبیعی (۱۰^{-۱۲}) کمترین دمای مورد نیاز برای ۱= D، برابر با ۳۴۵ \sim درجه سانتی گراد است. بنابراین، دمای بیش از ۳۴۵ درجه سانتی گراد و ۱< D مربوط به نرخ کرنش کمتر از ^{۱۲–۱} است. رخسارههای

شیست سبز بالایی، آمفیبولیت و گرانولیتها برای تغییرشکل و شکلپذیری طبیعی به دمای بیش از ۳۴۵ درجه سانتیگراد نیاز دارند (به طور کلی تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد یا بیشتر). با این حال، با استفاده از شکل ارائه شده توسط [۱۳]، در دمای بیش از ۳۴۵ درجه سانتیگراد نرخ کرنش بالا برآورد میشود. چنان که در شکل ۵ دیده میشود، در دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد، ۱< D و نرخ کرنش بیش از $^{\Lambda/-}$ ۱۰ خواهد بود. برای گرانیتها، نرخ کرنش بیش از این نیز برآورد شده است



شکل ۵ نمودار (T × 10⁴(K⁻¹) نسبت به [log [ɛ[°](sec⁻¹)] که نمایشگر رابطه بین ابعاد فرکتال (D) و شرایط کرنش است. (برگرفته از شکل ۴ از مرجع [17] با اصلاحات.

مشخص شده است که ریزساختارهای موجود در سنگها به فرآیندهای تغییر شکل، نرخ کرنش و دما وابستهاند (برای مثال، [۳۱–۳۴]). هرث و همکارش [۳۱]، با روش خزش، ریزساختار مربوط به کوارتز را بهطور تجربی با روشهای ۱) دما پایین/ نرخ كرنش بالا، ٢) دما متوسط/ نرخ كرنش متوسط، ٣) دما بالا / نرخ کرنش پایین مشخص کردند. استیپ و همکاران [۳۳] با استفاده از ریزساختارها در کوارتز سه منطقه با بازتبلور را در ناحیه گسل تونال (آلپ ایتالیا) مشاهده کردند، که عبارتند از: بازتبلور (BLG) در دمای ۴۰۰–۲۵۰ درجه سانتی گراد، چرخش ریزدانه (SGR در ۵۰۰-۴۰۰ درجه سانتیگراد)، و مهاجرت مرز دانه (GBM در ۲۰۰–۵۰۰ درجه سانتی گراد). افزون بر این، استیپ و همکاران [۳۴] ریزساختارهای بازتبلور دینامیکی در کوارتز که در شرایط طبیعی و همچنین شرایط آزمایشگاهی ایجاد شده است، را بررسی و بر اساس آن نمودار دما/ نرخ کرنش را پیشنهاد کردند. از این نمودار می توان به صورتهای مختلف استفاده نمود؛ در صورت معلوم بودن دما و نرخ کرنش، می توان مشخصه های بافتی (سازوکارهای باز تبلور) که ممکن است در سنگ باشد را تعیین نمود. افزون بر این، اگر دما و سازوکار بازتبلور مشخص باشد، با کمک نمودار می توان نرخ کرنش را برآورد کرد (برای مثال، [۳۵]). بنابراین، نمودار

دما/نرخ کرنش در مرجع [۳۴] برای آزمودن و تایید نرخ کرنش برآورد شده از مقادیر D (شکل ۶) استفاده میشود [۱۴].

برای کوارتزهای سنگهای مورد بررسی، دما و نرخ کرنش با استفاده از مقادیر D محاسبه و نمایش داده شده در نمودار دما/ نرخ کرنش (شکل ۶) و در جدول ۱ آورده شدهاند. در منطقه RH 4-6، كوارتزها در شرايط دماى ۴۰۰ -۲۵۰ درجه سانتى-گراد قرار گرفتهاند و انتظار میرود که این کوارتزها در گستره BLG قرار گیرند (شکل ۳ الف). به طور عمده مستطیل خاکستری در شکل ۶ برای کوارتزهای منطقه RH 4-6 در گستره BLG قرار گرفته است. پیشتر گفته شد که بافت کوارتزها در دمای ۶۰۰ -۴۲۰ درجه سانتیگراد گسترش می-یابد، با این حال چنان که بیان شد، انتظار میرود که این کوارتزها در گستره SGR و BLG قرار گیرند (شکل۳ ب). چنان که دیده می شود، مستطیل خاکستری در شکل ۶ (منطقه 4-5 RH) در قسمت SGR و BLG واقع است. در دو منطقه 5-5 RH و2-6 RH، كوارتزها در دماى ۷۵۰–۵۰۰ درجه سانتی گراد قرار داشتهاند. این کوارتزها باید در گستره SGR و GBM دیده شوند (شکلهای ۳ پ و ت). جایگاه این ، BLG دو منطقه در نمودار $T(^{\circ}C)/\epsilon^{\circ}(sec^{-1})$ ، در گسترههای SGR و GBM نمایش داده شده است.



شکل۶ نمودار (⁻¹ sec) ٤ / C°) برای برآورد شرایط تغییرشکل در نمونههای مورد بررسی با استفاده از سازوکار بازتبلور دانههای کوارتز در مناطق مورد بررسی (AH 5-5 ،RH 5-5 ،RH 5-5 ،RH 6-2 و RH 6-2) توسط استیپ و همکاران [۳۴] پیشنهاد شده است. نرخ کرنش ([°]٤) بر اساس تجزیه و تحلیل بعد فرکتال محاسبه شدهاست. SGR ،BLG و GBM به ترتیب بازتبلور، چرخش زیردانه و مهاجرت مرزدانه هستند.

تاثیر زمینساخت منطقهای بر مرزهای کوارتز پژوهش حاضر نشان میدهد که بدون شک گرانیت گنیسی

آبادچی به طور قابل توجهی دستخوش رخدادهای زمین ساختی منطقه ای شده است. هماهنگی مشابه بین جایگرینی گرانیت و زمینساخت منطقه برای گرانیتهای مختلفی از سراسر جهان گزارش شده است [۳۶-۴۰].

گسترش ریزساختارهای دمای بالا باعث کاهش دندانه دار شدن مرز دانههای کوارتز می شود [۴۱]. افزایش دندانه دار شدن مرزهای بلور کوارتز از مرکز بسوی لبه را میتوان براساس دو نظریه توضیح داد: ۱) ریزساختارهای دمای پایین بسوی دمای بالا در اثر یک رخداد زمینساختی: پس از جایگزینی همزمان با زمینساخت، گسترش ریزساختارهای دمای بالا که همزمان با تكامل تغييرشكل اوليه منطقه بوده است قابل مشاهده است. طی سرد شدن و کاهش اثر رویداد زمینساختی، ریزساختارهای دمای پایین بطور پیوسته در لبه توده دیده می-شود [۴۱]. ۲) ریزساختارهای دمای پایین بسوی دمای بالا در اثر چند رخداد زمینساختی: پس از جایگزینی همزمان با زمینساخت، گسترش ریزساختارهای دمای بالا که همزمان با تكامل تغيير شكل اوليه منطقه بوده است قابل مشاهده است. در این مرحله، گرانیتها سرشار از ریزساختارهای دمای بالا بوده-اند. در طول رخدادهای بعدی که نیروی کمتری به منطقه وارد شده است و بیشتر باعث تغییر ریزساختارها در مرزهای بین واحدها گشته است. تاثیر این رخداد در مناطق مرکزی قابل مشاهده نیست و باعث ایجاد ریزساختارهای دمای پایین در قسمتهای لبه توده می شود [۴۱].

از آنجا که تعیین سن به روش Ar/³⁹Ar بشدت وابسته به رخدادهای دگرگونی و دگرشکلی است، شواهد بدست آمده از سن سنجی به روش ⁴⁰Ar/³⁹Ar برای سنگهای اکلوژیت، پاراگنیس و متاگرانیتهای منطقه مورد بررسی آشکار میسازد که فرآیندهای دگرگونی و دگرشکلی اصلی حاکم بر سنگهای منطقه طی ژوراسیک دارای حالتی پیوسته در مدت زمان چند ده میلیون سال بودهاند و ناپیوستگی زمانی در این سیر دگرگونیها دیده نمی شود [۴۲].

برداشت

توده گرانیت گنیس چینخورده و دگرشکل شده آبادچی در پهنه ساختاری سنندج-سیرجان در جنوب غربی ایران واقع است. بافت اصلی توده آبادچی ورقه دانه شکفتی است که از

نظر شکل مرزدانهای از اینترلوبیت تا آمیبی شکل تغییر می-كند. كانى هاى اصلى اين توده شامل كوارتز، پلاژيوكلاز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، آمفیبول و موسکویت و کانیهای فرعی شامل زیرکن، تیتانیت و آلانیت هستند. سنگهای مورد بررسی دستخوش دگرشکلی دینامیک شدهاند، بطوری که کانی های مختلف شواهد متفاوتی از دگرشکلی را نشان می-دهند. از شواهد دگرشکلی در بلورهای کوارتز شکلدار تا نیمه-شکلدار می توان به باز تبلور دینامیکی (از نوع SGR, SGR) شکلدار BLG,)، شکل گیری زیر دانهها، تغییر شکل مرزدانهها و ایجاد نودانهها اشاره نمود. نتایج آزمایشها در مورد تغییر شکل بلور-های کوارتز در دما و نرخ کرنشهای متفاوت نشان دهنده این است که شکل دانههای کوارتز به دما و نرخ کرنش وابسته هستند. با استفاده از محاسبه بعد فركتال و دما، نرخ كرنش برای چهار گستره مورد نظر اندازه گیری شد. کوارتزها بیشترین مقدار کرنش (۱۱/۶- ۱۰) در نمونه RH 4-6 با بعد فرکتال ۱٬۲۳ در دمای ۲۵۰ درجهسانتی گراد و کمترین مقدار کرنش (^{۶۱۶}-۱۰) برای نمونه CH 6-2 با بعد فرکتال ۱٬۱۱ در دمای ۸۰۰ درجه سانتی گراد ثبت شده است. با کمک نمودار دما/ نرخ کرنش، شرایط تغییرشکل در نمونههای مورد بررسی با استفاده از سازوکار بازتبلور برآورد شد که نتایج بدست آمده از نمودارها با شواهد دگرشکلی بلورهای کوارتز کوارتز (SGR, BLG, GBM) همخوانی داشتند. از آنجا که این منطقه دستخوش یک رویداد زمینساختی شده است، طی سردن شدن وکاهش اثر رویداد زمینساختی ریزساختارهای بازتبلور دمای پایین بطور پیوسته در لبه توده دیده می شود.

قدردانى

نویسندگان مقاله از حمایت دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه شهرکرد در به ثمر رساندن این پژوهش قدردانی مینمایند.

مراجع

[1] Voll G., "Klastische Mineralien aus den Sedimentserien der Schottischen Highlands und ihr Schicksal bei aufsteigender Regional- und Kontaktmetamorphose", Habilitationsschrift Fak. f.Bergb.u.Htttenw., TU Berlin, (1969) D83:360.

[2] Poirier J.P., "Creep of crystals", Cambridge University Press London, (1985).

[3] Mandelbrot B.B., "*The fractal geometry of nature*", 2nd edn Freeman, New York, (1983).

Sanandaj- Sirjan zone, Iran". Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal Mineral Geochem185 (3)(2009) 233–248.

[17] Malek-Mahmoudi F., Davoudian A., Shabanian N., Azizi H., Asahara Y., Neubauer F., Dong Y., "Geochemistry of metabasites from the North Shahrekord metamorphic complex, Sanandaj-Sirjan Zone: Geodynamic implications for the Pan-African basement in Iran", Precambrian Research 293 (2017) 56–72.

[18] Alavi M., "Regional stratigraphy of the Zagros Fold-Thrust Belt of Iran and its proforeland evolution", Am. Journal Science 304(2004) 1–120.

[19] Riyahi F., Shabanian N., Davoudian A. R., "Geochemistry and tectonic setting of granitegneisses Abadchi, north of Shahrekord", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy Vol. 26 (2018a)195-208.

[20] Davoudian A. R., Genser J., Dachs E. Shabanian N., "*Petrology of eclogites from north of Shahrekord, Sanandaj-Sirjan Zone, Iran*", Mineralogy and Petrology (2008) 92: 393–413.

[21] Voss R.F., "Fractals in nature: from characterization to simulation. In: Peitgen H-O, Saupe E (eds) The science of fractal images", Springer, Berlin Heidelberg New York, (1988) 21-70.

[22] Riyahi F., Shabanian N., Davoudian A. R., Mansouri M., "Investigation of Dynamic Deformation Evidence in Metagranitoids in Abadchi Village", Geological Society of Iran (2016a) Tehran.

[23] Riyahi F., Shabanian N., Davoudian A. R., Mansouri M., "Influence of dynamic deformation on quartz crystal with Na-metasomatism in folded metagranite of Abadchi area", 34th National & the 2th International Geosciences Congress which was held in the Geological Survey of Iran (2016b) Tehran.

[24] Riyahi F., Shabanian N., Davoudian A. R., "Morphological study of zircon crystals from gneissic granite of Abadchi, North of Zayandeh-Rud dam" Earth Science Researches (2018b) (Under print).

[25] Owona S., Ondoa J. M., Ekodeck G. M., "Evidence of Quartz, Feldspar and Amphibole Crystal Plastic deformations in the Paleoproterozoic Nyong Complex Shear Zones Under Amphibolite to Granulite Conditions (West Central African", Journal of Geography and Geology Canadian Center of Science and Education Fold Belt, SW Cameroon) (2013). [4] Kaye B.H., "A random walk through fractal dimensions Unmarked set by Iran", VCH, Weinheim, (1989).

[5] Stanley H.E., Ostrowsky N., (eds), "Random fluctuations and pattern growth: experiments and models", NATO ASI Series E, (1988) 157, Kluwer, London.

[6] Daccord G., Nittman J., Stanley H.E., "Fractal viscous fingers- experimental results". In: Stanley H.E., Ostrowsky N., (eds) On growth and form. Martinus Nijhoff, Boston, (1986).

[7] Kruhl J. H., Nega M., "The fractal shape of sutured quartz grain boundaries: application as a

geothermometer", Geol Rundsch (1996) 85:38-43.

[8] Pfiffner O. A., Ramsay J. G., "Constraints on geological strain rates; arguments from finite strain states of naturally deformed rocks". Journal of Geophysical Research v.87 (B1) (1982) 311-321.

[9] Passchier C.W., Trouw, R.A.J., "*Microtectonics*". 2nd Edition, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, (2005).

[10] Twiss R.J., Moores E.M., "Structural Geology", 2nd Edition, W. H. Freeman and Company, New York, (2007).

[11] Vigneresse J.L., "Rheology of a two-phase material with applications to partially molten rocks, plastic deformation and saturated soils", In: G.I. Alsop, R.E. Holdworth, K.J.W. McCaffrey and M. Hand (Eds.), Flow Processes in Faults and Shear Zones, Geological Society London Spec. Publ., no.224, (2004) 79-94.

[12] Vigneresse J.L., "Granitic batholiths: from pervasive and continuous melting in the lower crust to discontinuous and spaced plutonism in the upper crust". Transactions of the Royal Society Edinburgh: Earth Sciences v.97(2008) 311-324.

[13] Takahashi M., Nagahama H., Masuda T., Fujimura A., "Fractal analysis of experimentally, dynamically recrystallized quartz grains and its possible application as a e& meter", Journal of Structure Geology v.20(1998) 269-275.

[14] Manish M.A., "Strain-rate Estimation Using Fractal Analysis of Quartz Grains in Naturally Deformed Rocks", Journal Geological Society of INDIA Vol.75 (2010) 202-209.

[15] Stöcklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", AAPG Bull 52(7)(1968) 1229–1258.

[16] Shabanian N., Khalili M., Davoudian A., Mohajjel M., "Petrography and geochemistry of mylonitic granite from Ghaleh-Dezh, NW Azna, *Formation (Gua mine, India)* ", Geological Magazine v.144 (2007) 271-287.

[36] Bouchez J.L., "Granite is never isotropic: an introduction to AMS studies of granitic rocks. In: J.L.Bouchez", D.W.H. Hutton and W.E. Stephens (Eds.), Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics Kluwer Academic Publishers Dordrecht, The Netherlands (1997) 95-112.

[37] Saint-Blanouat M., Tikoff B., "Development of magmatic to solid-state fabrics during syntectonic emplacement of the Mona Creek granite, Sierra Nevada Batholith", California. In: J.L. Bouchez, D.W.H. Hutton and W.E. Stephens (Eds.), Granite: From Segregation of Melt to Emplacement Fabrics, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands (1997) 231-252.

[38] Alonso Olazabal A., Carradeco M., Aranguren A., "Petrology, magnetic fabric and emplacement in a strike-slip regime of a zoned peraluminous granite: The Campanario-La Haba pluton", Spain. In: A., Castro C., Fernàndez J.L., Vigneresse (Eds.), Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques. Geol. Soc. London, Spec. Publ. No.168 (1999) 177-190.

[39] Greiling R.O., VERMA P.K., "Strike-slip tectonics and granitoid emplacement: an AMS fabric study from the Odenwald Crystalline Complex", SW Germany Mineralogy and Petrology v.72 (2001) 165-184.

[40] Mamtani M.A., Greiling R.O., "Granite emplacement and its relation with regional deformation in the Aravalli Mountain Belt (India)inferences from magnetic fabric". Journal of Structure Geology v.27 (2005) 2008-2029.

[41] Majumder S., Mamtani M.A., "Fractal analysis of quartz grain boundary sutures in a granite (Malanjkhand, Central India) — Implications to infer regional tectonics". Journal of the Geological Society of India Volume 73 Issue 3 (2009) 309–319.

[42] Davoudian A.R., Genser J., Neubauer F., Shabanian N., "⁴⁰Ar³⁹Ar mineral ages of eclogites from North Shahrekord in the Sanandaj–Sirjan Zone, Iran: Implications for the tectonic evolution of Zagros orogen", Gondwana Research vol. 37(2016) 216-240. [26] Langille J. M., Jessup M J., Cottle J.M., Newell D., Seward G., "Kinematic evolution of the Ama Drime detachment: Insights into orogenparallel extension and exhumation of the Ama Drime Massif, TibeteNepal", Journal of Structural Geology Science Direct (2010) 900-919.

[27] Passchier C.W., Trouw R.A.J., "*Microtectonics*", second ed., Springer, Berlin (2005)

[28] Passchier C.W., and Trouw R.A.J., "Atlas of Mylonites- and related microstructures", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg (2010) 313.

[29] Whitney L., Evans W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American Mineralogist Volume 95 (2010) 185–187.

[30] Twiss R.J., Moores E.M., "Structural Geology", 2nd Edition, W.H. Freeman and Company New York (2007).

[31] Hirth G., Tullis J., "Dislocation creep regimes in quartz aggregates". Journal of Structure Geology v.14 (1992) 145-60.

[32] Piazolo S., Bons P.D., Jessell M.W., Evans L., Passchier C.W., "Dominance of microstructural processes and their effect on microstructural development: insights from numerical modeling of dynamic recrystallisation". In: S. de Meer, M.R. Drury, J.H.P. de Bresser and G.M., Pennock (Eds.), Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics: Current Status and Future Perspectives, Geological Society[London] Special Publication no.200 (2002) 149-170.

[33] Stipp M., St_nitz H., Heilbronner R., Schmid

S.M., "The eastern Tonale fault zone: a "natural laboratory" for crystal plastic deformation of quartz over a temperature range from250 to 700°C". Journal of Structure Geology v.24 (2002a) 1861-1884.

[34] Stipp M., St_nitz H., Heilbronner R., Schmid

S.M., "Dynamic recrystallisation of quartz: correlation between natural and experimental conditions. In: S. de Meer, M.R. Drury, J.H.P. de Bresser, and G.M. Pennock (Eds.), Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics: Current Status and Future Perspectives". Geological Society[London] Special Publication no.200 (2002b)171-190.

[35] Mamtani M.A., Mukherji A., and Chaudhuri A.K., *"Microstructures in a Banded Iron*