

زمین دماسنجی زیرکنیم در رگه‌های کوارتز روتیل‌دار، کمپلکس آتشفشانی - رسوبی سوریان

سینا اسدی

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

شهلا شریف‌پور

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

احسان محمودی

بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز، شیراز

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۷

sinaasadi@shirazu.ac.ir

چکیده

عناصر شیمیایی حساس به دما (مانند عناصر با قدرت میدان بالا؛ HFSEs) مبنای ارزشمند برای محاسبه دما در سامانه‌های زمین‌شناختی خاص هستند. آزمایش‌ها نشان می‌دهد، دمای دگرگونی همبستگی معناداری با غلظت عنصر زیرکنیم (Zr) در کانی روتیل دارد. این پژوهش با روش تجزیه ریزکاوند الکترونی (EPMA)، به بررسی زمین دماسنجی کانی روتیل در رگه‌های کوارتز مزایجان و دیده‌بانکی طی فرآیند دگرگونی (در حدود ۱۸۷ میلیون سال پیش) در کمپلکس آتشفشانی-رسوبی سوریان می‌پردازد. زمین‌دماسنجی Zr در روتیل با سه رابطه متفاوت محاسبه گردید. محاسبات نشان می‌دهد که بیشینه دمای دگرگونی در کمپلکس سوریان با احتساب فشار ۹/۵ کیلو بار، در بازه دمایی ۶۴۰ تا ۶۹۰ درجه سانتی‌گراد رخ داده است. این گستره دمایی مطابق با رویداد دگرگونی پیشرونده، طی فاز کوهزایی سیمیرین اولیه بوده و با بیشینه دگرگونی (رخساره آمفیبولیت) در حاشیه جنوبی کمر بند دگرگونی سنندج-سیرجان ارتباط دارد. نتایج نشان می‌دهد که شیب دمایی به تدریج از جنوب شرق (مزایجان) به شمال غرب (دیده‌بانکی) در کمپلکس سوریان کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: روتیل، زیرکنیم، زمین‌دماسنجی، کمپلکس آتشفشانی-رسوبی سوریان

مقدمه

کانی روتیل با استفاده از عنصر زیرکنیم (از گروه عناصر HFS) به منظور دستیابی به روند تغییرات دمایی کوارتزهای روتیل‌دار، تعیین دقیق رخساره دگرگونی با استفاده از روابط دما-فشار و تعیین شیب دمایی از جنوب شرق (منطقه مزایجان) به شمال غرب (منطقه دیده بانکی) این کمپلکس می‌باشد. اهمیت روتیل به عنوان یک کانی نشانگر در هر دو منطقه در پی‌جویی رگه‌های کوارتزی سرشار از فلزات پایه نیز حایز اهمیت است.

زمین‌شناسی و رخدادهای زمین‌ساختی-دگرگونی کمپلکس سوریان

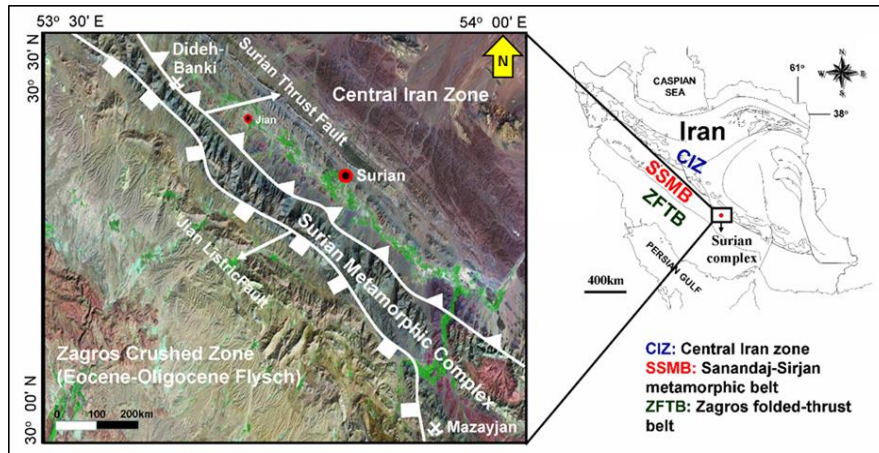
محدوده مورد مطالعه بخشی از کمر بند دگرگونی- ماگمایی سنندج- سیرجان جنوبی است که سنگ‌های آن به‌صورت نوار باریکی در دره‌ی بوانات گسترش دارند. براساس پیشینه زمین‌دینامیکی کمر بند سنندج-سیرجان، این محدوده از اواخر پالئوزوئیک بالایی تا تریاس میانی با پدیده کافتش، نهشت کربنات‌ها، گدازه‌های بالشی و برش‌های همزمان با رسوبگذاری همراه بوده است، که نشانگر رژیم زمین‌ساختی کششی و جدایش بلوک ایران مرکزی از گندوانا و گسترش بستر اقیانوس نئوتتیس می‌باشد (Shekholeslami et al., 2008). پس از این برهه زمانی و با تغییر رژیم زمین‌ساختی و شروع فرورانش دست کم سه مرحله دگرگونی و دگرشکلی و ایجاد کمر بندهای مزدوج دگرگونی کوهزایی ناشی از برخورد در منطقه رخ داده است (سامانی و همکاران، ۱۳۹۱). از نظر (Fazlnia et al., 2007) در منطقه مورد مطالعه گسترش رخساره سنگ‌های دگرگونی فشار بالا- دما پایین در نزدیکی راندگی اصلی زاگرس و تغییر محیط فشاری به کششی به سمت ایران مرکزی و گسترش رخساره‌های دگرگونی دما بالا- فشار پایین طی ژوراسیک زیرین تا میانی با تزریق باتولیت‌های بزرگ و ماگماتیسم ناکوهزایی با ترکیب کوارتز

تیتانیم دی‌اکسید (TiO₂) عمدتاً در طبیعت ساختارهای چندریختی، روتیل، آناتاس و بروکیت را می‌سازد. چند ریخت دماپایین TiO₂ آناتاس (تتراگونال) و بروکیت (ارترومبیک) هستند و روتیل چندریخت دما-فشار بالا است، که رایج‌ترین شکل تیتانیم دی‌اکسید به‌شمار می‌رود. روتیل دارای مقادیر قابل توجهی از عناصر با قدرت میدان بالا (HFSEs: Ti, Nb, Sb, Ta, W, Cr, V, Sn) در ساختار شیمیایی خود می‌باشد (Rudnick et al., 2000; Zack et al., 2002). این کانی در حدود ۱۰ تا ۳۵ درصد عنصر زیرکنیم را به صورت محلول جامد در ساختار خود جای می‌دهد (Villaseca et al., 2007). روتیل به‌طور گسترده‌ای به عنوان یک کانی فرعی در محدوده رخساره‌های دگرگونی شیست سبز تا اکلوژیت و گرانولیت وجود دارد. همچنین در سنگ‌های آذرین، بیگانه سنگ‌های گوشته‌ای، رسوبات آواری و شخانه‌ها نیز قابل مشاهده است (El Goresy, 1971)، اما عمدتاً طی فرآیندهای دگرگونی درجه متوسط تا بالا شکل می‌گیرد (El Goresy et al., 2001; Bromiley et al., 2004). این کانی دارای طیف گسترده‌ای از کاربردها در علوم زمین است. به دلیل تمرکز بسیاری از عناصر با قدرت میدان بالا، در ساختار بلوری خود، در تشخیص نوع کانه‌زایی و زمین دماسنجی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (Zack et al., 2004; Watson et al., 2006; Tomkins et al., 2007; Meinhold, 2010).

هدف اصلی این پژوهش که برای نخستین بار به بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی کانی روتیل در کمپلکس آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده سوریان (کمر بند سنندج-سیرجان جنوبی) می‌پردازد، زمین‌دماسنجی

رسوبی سوریان با سن پرمو تریاس بر روی کمپلکس آتشفشانی توتک (دونین) و بین دو گسل راندگی سوریان و خمیده جیان قرار گرفته است (شکل ۱).

دیوریت- آنورتوزیت و گابروهای آپاتیت‌دار-پیروکسنیت (کمپلکس مافیک- اولترامافیک) در بخش جنوب شرق کمپلکس سوریان همراه بوده است. به باور این محقق بیشینه دما در دگرگونی مجاورتی حاصل از نفوذ توده‌های باتولیتی تقریباً ۷۰۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کمپلکس آتشفشانی

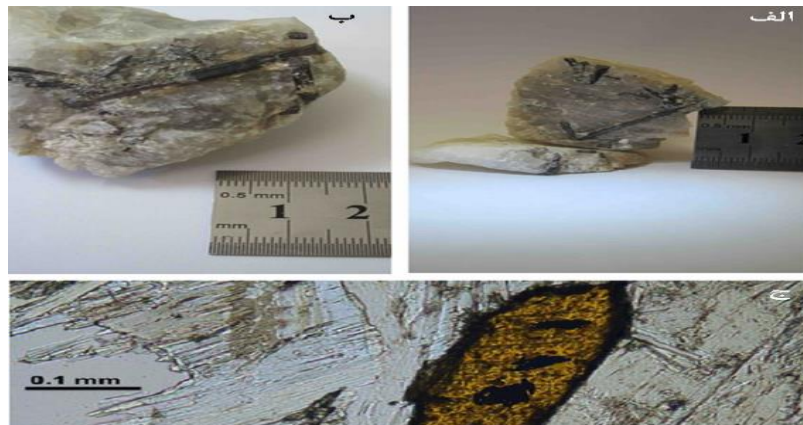


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه.

۴- سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده مافیک همراه با میکاشیست واحد شماره ۴ کمپلکس سوریان دارای انواع مسکوویت- کلریت شیست، اپیدوت شیست، سیلیمانیت شیست، گرافیت شیست و متابازیت-هایی است که توسط رگه‌ها و رگچه‌های مختلف کوارتزی قطع شده‌اند (Asadi et al., 2013). رخداد فعالیت دگرگونی-گرمایی در این منطقه باعث تشکیل دو گروه رگه‌های کوارتزی کانه‌دار و رگه‌های کوارتزی بی‌کانه شده است. تشکیل تیتانیم‌دی‌اکسید با برتری روتیل در طول رگه-های کوارتزی در سنگ‌های میزبان دگرگونی کمپلکس سوریان، هم‌رند با برگراری غالب شیست‌ها (S_1) و منطبق بر مرز لایه‌بندی اولیه مشاهده می‌گردد. کوارتزهای روتیل‌دار به صورت توده‌ای و شفاف متبلور شده‌اند و در زیر میکروسکوپ بافت موجی شکل با حاشیه‌های مضرسی را نشان می‌دهند. براساس مطالعات (مُر و همکاران، ۱۳۹۰) کوارتزهای روتیل‌دار در مرحله نهایی تبلور سیالات گرمایی-دگرگونی شکل گرفته و فاقد کانه‌زایی فلزات پایه می‌باشند. اندازه بلورهای روتیل در کوارتزهای میزبان از ۱ میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر متغییر است (شکل ۲).

بیشینه سن دگرگونی یا نخستین رخداد دگرگونی پیش‌رونده تا تشکیل رخساره دگرگونی آمفیبولیت پیش رفته است (Mousivand et al., 2010). در مقیاس ناحیه‌ای، آبدزایی شدید متابازیت‌ها و سنگ‌های پلیتی باعث حرکت سیالات، همزمان با دگرگونی از میان بیش از ۱۸۰۰ متر واحدهای آتشفشانی-رسوبی کمپلکس سوریان و تشکیل سامانه‌های کوارتز رگه‌ای گسترده (سرشار از فلزات پایه و عناصر HFS) در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده و زون‌های محوری تاق‌دیس شده است. از جمله این مناطق می‌توان به حضور رگه‌های کوارتزی روتیل‌دار در نزدیکی اندیس‌های معدنی فلزات پایه (Zn و Cu, Pb) مزایجان و دیده بانکی (مطالعه حاضر) اشاره کرد. کمپلکس آتشفشانی-رسوبی سوریان از ۴ واحد اصلی تشکیل شده است که از پایین به بالا شامل (Mousivand et al., 2007):

- ۱- متانگلوپرا و میکاشیست
- ۲- تناوب میکاشیست با سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده حد واسط تا مافیک (متابازیت‌ها)
- ۳- میکاشیست و کلریت شیست



شکل ۲. الف و ب: نمونه دستی رگه‌های کوارتز روتیل‌دار مناطق مزایجان و دیده‌بانکی ج. سوزن‌های روتیل در زیر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM).

روش مطالعه

به منظور رسیدن به اهداف این پژوهش، از دو منطقه مزایجان و دیده بانکی واقع در کمپلکس آتشفشانی- رسوبی سوریان که در نزدیکی اندیس‌های فلزات پایه دارای رگه‌های کوارتز روتیل‌دار بودند، نمونه‌برداری به صورت سامانمند انجام گرفت. در این راستا ۱۶ نمونه کانی روتیل از رگه‌های کوارتز برای انجام تجزیه زمین‌شیمیایی و تهیه تصاویر الکترونی به روش تجزیه ریزکائوند الکترونی (EPMA) نوع EDS به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران ارسال گردید. مدل دستگاه استفاده شده Cameca SX100 با حد آشکارسازی ۰/۰۱ درصد است. همچنین ۶ نمونه نیز با دستگاه Jeol JXA 8900R با حد آشکارسازی ۰/۱ ppm به روش ریزکائوند الکترونی (EPMA) نوع WDS در دانشگاه جیمز کوک استرالیا مورد بررسی قرار گرفت.

زمین دماسنجی زیرکنیم در روتیل

روتیل کانی مهم در بردارنده‌ی عناصر گروه HFS ها و کانی نشانگر در ردیابی ذخایر رگه‌ای فلزات پایه در محیط‌های دگرگونی است (Foley et al., 2000). زیرکنیم و تیتانیم هر دو با عدد اکسایش +۴ و شعاع یونی تقریباً هم‌اندازه به راحتی جانشین یکدیگر می‌شوند (شکل ۳). مطالعات نشان می‌دهد که انحلال ZrO_2 در روتیل به شدت به دما وابسته است. استفاده از معادله زیرکنیم در روتیل برای زمین‌دماسنجی اولین بار توسط (Zack et al., 2004) پیشنهاد گردید. به باور ایشان بیشینه دمای دگرگونی را می‌توان با استفاده از تمرکز Zr در کوارتزهای روتیل‌دار محاسبه کرد. رابطه دمایی Zack به صورت زیر است:

$$T(^{\circ}C) = 128/8 \times \ln Zr (\mu g/g) - 10 \quad (۱)$$

خطای این روش در حدود ± 50 درجه سانتی‌گراد در سنگ‌های دارای روتیل، کوارتز و زیرکن است. واتسون و همکاران (Watson et al., 2006) مدل اصلاح شده‌ای را برای زمین دماسنجی با استفاده از کانی روتیل پیشنهاد کردند که در این مدل داده‌های تجربی فشار در زمان تشکیل نیز اضافه گردید و میزان خطای این روش را تا حدود ± 20 درجه

سانتی‌گراد تغییر داد. رابطه دمایی (Watson et al., 2006) براساس

آزمایش‌های سامانمند در فشار ۱ گیگا پاسکال به شرح زیر است.

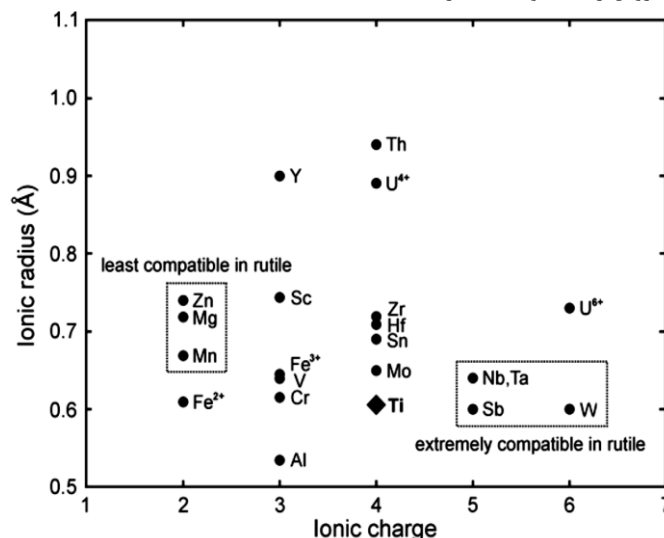
$$T(^{\circ}C) = \frac{4470}{7.36 - \log_{10}(Zr \mu g/g)} - 273.15 \quad (۲)$$

آخرین مطالعات در این رابطه نشان داده است که فشارهای بالا نیز اثر مهمی در زمین‌دماسنجی روتیل دارند و به این منظور برای دماسنجی دقیق‌تر رابطه دمایی (Tomkins, 2007) با احتساب تاثیر فشار در دماسنجی روتیل معرفی می‌گردد:

$$T(^{\circ}C) = \frac{83.9 + 0.410 \times P}{0.1428 - R \times \ln Zr \left(\frac{\mu g}{g}\right)} - 273.15 \quad (۳)$$

P فشار (kbar) و R: ثابت گازها ($۴۰/۰۰۸۳۱۴۴۰۰ \text{ kJ K}^{-1}$)

بسیاری از محققین (Zack and Luvizotto, 2006; Triebold et al., 2007; Meinhold, 2010) پیشنهاد کردند، که از روتیل می‌توان در دماسنجی سنگ‌های متاپلیتی و متابازیتی استفاده کرد. مطالعات جدیدتر در اکلوزیت‌های کمربندهای دگرگونی فشار بالا - دما بالا (HP-HT) نیز نشان می‌دهد که رابطه (Watson et al, 2006) در حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد دمای کمتری در مقایسه با کالیبراسیون (Tomkins, 2007) نشان می‌دهد (Chen and Li, 2008). اگر در بلورهای روتیل Zr وجود نداشته باشد، دمای کمتری از آخرین حد دمای دگرگونی منطقه به دست می‌آید و همچنین اگر دماسنجی روتیل بر روی سنگی فاقد کوارتز صورت گیرد، دما بیشتر از مقدار واقعی خواهد بود (Zack et al, 2004; Baldwin and Brown, 2008; Harley, 2009; Luvizotto et al., 2009). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد، زمین‌دماسنجی زیرکنیم در کانی روتیل یک روش بسیار قابل‌اعتماد در سنگ‌های دگرگون‌شده است (Zack and Luvizotto, 2006; Miller et al., 2007; Baldwin and Brown, 2008; Luvizotto et al., 2009).



شکل ۳. نمودار بار یونی در مقابل شعاع یونی برای عناصر جایگزین تیتانیم در روتیل طبیعی (Shannon, 1976).

بحث

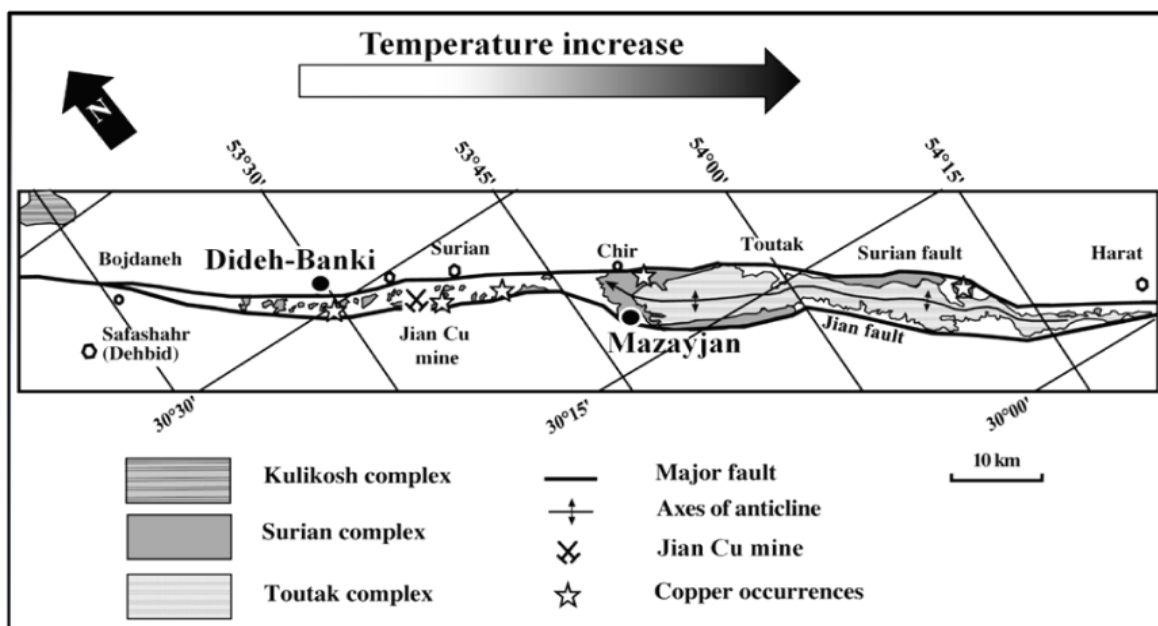
غلظت عنصر زیرکنیم و محاسبات زمین دماسنجی کانی روتیل براساس روابط دمایی بالا در (جدول ۱) نشان داده شده است. زمین دماسنجی به روش (Zack et al., 2004) بر روی روتیل‌های مناطق مزایجان و دیده‌بانکی میانگین دمای تشکیل ۷۸۴ و ۷۱۲ درجه سانتی‌گراد را به ترتیب نشان می‌دهد. همچنین زمین‌دماسنجی به روش (Watson et al., 2006) نیز میانگین دمای کمتری (۶۸۶ درجه سانتی‌گراد؛ مزایجان و ۶۳۹ درجه سانتی‌گراد؛ دیده بانکی) را نسبت به روش پیشین نشان می‌دهد.

بر اساس مطالعاتی که به روش پتروگرافی توسط (Fazlnia et al., 2007) صورت گرفت، بیشینه فشار منطقه در حدود ۹/۵ کیلو بار است. با احتساب این میزان فشار در رابطه (Tomkins, 2007) برای مناطق مزایجان و دیده‌بانکی به ترتیب میانگین دمایی ۶۹۰ و ۶۴۴ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. در تمام محاسبات زمین دماسنجی انجام شده، بیشترین دمای تشکیل کانی روتیل در منطقه مزایجان واقع در جنوب شرق دیده‌بانکی گزارش می‌شود (شکل ۴). همچنین با رسم نمودار دما در مقابل $\log Zr$ (Meinhold, 2010)، هر دو منطقه در محدوده رخساره آمفیبولیت قرار می‌گیرند که با مشاهدات صحرایی کاملاً مطابقت دارد (شکل ۵). بر اساس نظر (Fazlnia et al., 2009) بیشینه دمای

دگرگونی 40 ± 70.5 سانتی‌گراد و فشار $1/2 \pm 9/5$ کیلو بار بوده است که در زمان ۱۸۷ میلیون سال پیش و در ارتباط با کمان قاره‌ای فعال کمربند سندج- سیرجان جنوبی رخ داده است. این رویداد باعث شده است تا بخشی از آمفیبولیت‌های رخنمون یافته در جنوب شرق کمپلکس سوریان دگرگونی ناحیه‌ای فشار متوسط و دما بالا را تحمل کنند. نتیجه این رخداد ذوب بخشی و ایجاد میگماتیت‌های مافیک بوده که ملانوسوم‌های آن عمدتاً از هورنبلند، گارنت، تیتانیت و بلورهای فرعی روتیل بوده‌اند. ذوب بخشی و به دنبال آن کافتش در ۱۴۷ میلیون سال پیش باعث نفوذ توده‌های ماگمایی کوارتز دیوریت-آنورتوزیت در بخش جنوبی کمربند سندج سیرجان شده است. این باتولیت‌های بزرگ در حاشیه جنوب شرق کمپلکس آتشفشانی سوبی سوریان تزریق شده‌اند. منطقه مزایجان با زمین دماسنجی بالاتر در تمام روابط دمایی سه‌گانه، با فاصله کمتر و منطقه دیده‌بانکی با دماهای کمتر، دورتر از توده‌های ماگمایی کوارتز دیوریت-آنورتوزیت قرار دارند. ارتباط معنادار توده‌های باتولیتی با روند تغییرات دما در کمپلکس سوریان می‌تواند به نقش آنها به عنوان یک موتور زمین-گرمایی مهم در منطقه اشاره کند. این موضوع نیز می‌تواند دلیل بالاتر بودن نتایج زمین‌دماسنجی مزایجان نسبت به دیده‌بانکی در تمام روابط دمایی سه‌گانه این پژوهش را توضیح دهد.

جدول ۱. مقایسه مقادیر دمایی (درجه سانتی‌گراد) حاصل از زمین‌دماسنجی روتیل در مناطق مزایجان و دیده‌بانکی با استفاده از روابط: (Zack et al., 2004)، (Watson et al., 2006) (Tomkins, 2007).

	نمونه	Zr (ppm)	Zack et al., (2004)	میانگین Zack	Watson et al., (2006)	میانگین Watson	Tomkins (2007) فشار: ۹/۵ کیلو بار	میانگین Tomkins
دیده‌بانکی	۱	۹۰۰	۸۶۶	۶۹۹	۷۴۱	۶۲۶	۷۴۵	۵۹۵
	۲	۹۰۰	۸۶۶		۷۴۱		۷۴۵	
	۳	۲۰۰	۶۷۲		۶۱۰		۶۱۶	
	۴	۱۰۰	۵۸۳		۵۶۱		۵۶۷	
	۵	۳۰۰	۷۲۵		۶۴۲		۶۴۷	
	۶	۱۰۰	۵۸۳		۵۶۱		۵۶۷	
	۷	۴۰۰	۷۶۲		۶۶۶		۶۷۱	
	۸	۶۰۰	۸۱۴		۷۰۲		۷۰۷	
	۹	۱۲۳	۶۱۰		۵۷۵		۵۸۱	
	۱۰	۲۴۵	۶۹۹		۶۲۶		۶۳۱	
	۱۱	۱۷۸	۶۵۷		۶۰۲		۶۰۷	
مزایجان	۲۴	۵۰۰	۷۹۰	۷۹۰	۶۸۶	۶۸۶	۶۹۰	۶۹۰
	۲۵	۲۰۰	۶۷۲		۶۱۰		۶۱۶	
	۲۶	۴۰۰	۷۶۲		۶۶۶		۶۷۱	
	۲۷	۱۰۰۰	۸۸۰		۷۵۲		۷۵۵	
	۲۸	۵۰۰	۷۹۰		۶۸۶		۶۹۰	
	۲۹	۱۰۰	۵۸۳		۵۶۱		۵۶۷	
	۳۰	۱۱۰۰	۸۹۲		۷۶۲		۷۶۵	
	۳۱	۹۰۰	۸۶۶		۷۴۱		۷۴۵	
	۳۲	۳۲۴	۷۳۵		۶۴۹		۶۵۴	
	۳۳	۴۵۸	۷۷۹		۶۷۸		۶۸۳	
	۳۴	۹۷۸	۸۷۷		۷۵۰		۷۵۳	

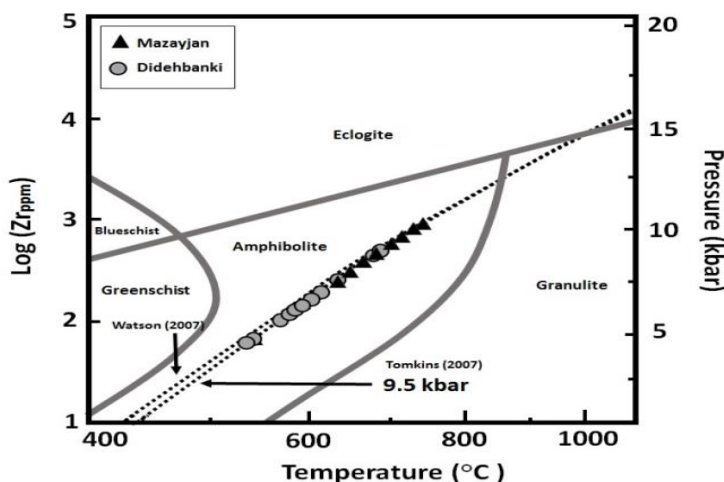


شکل ۴. روند افزایش دما با استفاده از زمین دماسنجی زیرکنیم در رگه‌های کوارتز روتیل‌دار در طول کمپلکس آتشفشانی-رسوبی سوریان.

نتیجه‌گیری

تغییرات غلظت عنصر کمیاب Zr در کانی روتیل می‌تواند به عنوان یک زمین دماسنج قابل اعتماد مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی کوارتزهای روتیل‌دار مناطق مزایجان و دیده‌بانکی در کمپلکس آتشفشانی-رسوبی سوریان، هر دو منطقه در شرایط دگرگونی درجه متوسط تا بالا شکل گرفته‌اند. روتیل همچنین کانی نشانگر مهم در ردیابی کانه‌زایی‌های فلزات پایه در منطقه مورد مطالعه است. دما و فشار تشکیل کانی روتیل در محدوده رخساره آمفیبولیت قرار دارد. دمای محاسبه‌شده به ترتیب برای مناطق مزایجان و دیده‌بانکی در

حدود ۶۹۰ و ۶۴۴ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود. مطالعات دماسنجی پیشین نیز نشان می‌دهد، بیشینه دمای دگرگونی در بخش جنوبی کمر بند سندرچ-سیرجان در حدود ۷۰۵ درجه سانتی‌گراد بوده که این ویژگی می‌تواند دماهای محاسبه شده به روش غلظت زیرکنیم در روتیل را تأیید کند. اُفت دمایی ارتباط معناداری را با توده‌های باتولیت بزرگ کمر بند سندرچ-سیرجان جنوبی (جنوب شرق کمپلکس سوریان) نشان می‌دهد. روند کاهشی دما براساس شیب دمایی در کمپلکس سوریان از جنوب شرق (مزایجان) به شمال غرب (دیده‌بانکی) نیز این ارتباط را تأیید می‌کند.



شکل ۵. نمودار غلظت $\text{Log}(Zr_{\text{ppm}})$ بر مبنای تغییرات دما-فشار محاسبه شده در روتیل با استفاده از روابط زمین دماسنجی (Watson et al., 2006) و (Tomkins, 2007).

منابع

سامانی، ب.، فقیه، ع.، چرچی، ع.، ۱۳۹۱، بررسی الگوی دگرشکلی با استفاده از تحلیل استرین نهایی و عدد تاوایی جنبش‌شناختی در پهنه دگرشکل شده چشمه-سفید، کمر بند دگرگونی سندرچ-سیرجان، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۵، ص ۲۰-۲۶.

مر، ف.، اسدی، س.، فتاحی، ن.، ۱۳۹۰، زمین شیمی و زمین‌دماسنجی کانسار مس جیان (بوانات)، زون سنندج- سیرجان، شمال شرق استان فارس، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱، ص ۸۰-۹۲.

- Asadi, S., Moore, F., Fattahi, N., 2013, Fluid inclusion and stable isotope constraints on the genesis of the Jian Cu deposit, Sanandaj-Sirjan metamorphic zone, Iran: *Geofluids*, v. 13, p. 66 – 81.
- Baldwin, J.A., Brown, M., 2008, Age and duration of ultrahigh-temperature metamorphism in the Anapolis–Itaucu Complex, Southern Brasilia Belt, central Brazil —constraints from U–Pb geochronology, mineral rare earth element chemistry and trace-element thermometry: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 26, p. 213–233.
- Bromiley, G.D., Hilairt, N., McCammon, C., 2004, Solubility of hydrogen and ferric iron in rutile and TiO₂ (II): implications for phase assemblages during ultrahigh pressure metamorphism and for the stability of silica polymorphs in the lower mantle: *Geophysical Research Letters* v. 31, p. 10–46.
- Chen, Z.Y., Li, Q.L., 2008, Zr-in-rutile thermometry in eclogite at Jinheqiao in the Dabie orogen and its geochemical implications. *Chinese: Science Bulletin*, v. 53, p. 768–776.
- El Goresy, A., 1971, Meteoritic rutile: a niobium bearing mineral: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 11, p. 359–361.
- El Goresy, A., Chen, M., Gillet, P., Dubrovinsky, L., Graup, G., 2001, An natural shockinduced dense polymorph of rutile with PbO₂ structure in the suevite from the Ries Crater in Germany: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 192, p. 485–495.
- Fazlnia, A. N., Schenk, V., Van der Straaten, F., Mirmohammadi, M. S., 2009, Petrology, geochemistry and geochronology of trondhjemites from the Qori Complex, Neyriz, Iran: *Lithos*, v. 112, p. 413-433.
- Fazlnia, A., Moradian, A., Rezaei, K., Moazzen, M., and Alipour, S., 2007, Synchronous Activity of Anorthositic and S-type Granitic Magmas in Chah-Dozdan Batholith, Neyriz, Iran: Evidence of Zircon SHRIMP and Monazite CHIME Dating: *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, v. 18, p. 221-237.
- Foley, S.F., Barth, M.G., Jenner, G.A., 2000, Rutile/melt partition coefficients for trace elements and an assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64, p. 933–938
- Harley, S.L., 2008, Refining the P–T records of UHT crustal metamorphism: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 26, p. 125–154.
- Luvizotto, G.L., Zack, T., Triebold, S., von Eynatten, H., 2009, Rutile occurrence and trace element behavior in medium-grade metasedimentary rocks: example from the Erzgebirge, Germany: *Mineralogy and Petrology*, v. 97, p. 233–249.
- Meinhold, G., 2010, Rutile and its applications in earth sciences: *Earth-Science Reviews*, v. 102, p. 1–28
- Miller, C., Zanetti, A., Thöni, M., Konzett, J., 2007, Eclogitisation of gabbroic rocks: redistribution of trace elements and Zr in rutile thermometry in an Eo–Alpine subduction zone (Eastern Alps): *Chemical Geology*, v. 239, p. 96–123.
- Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K., Watanabe, M., 2007, The Bavanat Cu–Zn–Ag orebody: First recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran: *Neues Jahrbuch für Mineralogie- Abhandlungen*, v. 183, p. 297–315.
- Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Jan, P., Solomon, M., Zaw, Kh, 2010, U–Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulphide deposit, southern Iran. *International: Geology Review*, v. 1, p. 1-24.
- Rudnick, R.L., Barth, M., Horn, I., McDonough, W.F., 2000, Rutile-bearing refractory eclogites: missing link between continents and depleted mantle: *Science*, v. 287, p. 278–281.
- Shannon, R.D., 1976, Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides: *Acta Crystallographica*, v. A32, p. 751–767.
- Sheikholeslami, M.R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H., Emami, M. H., 2008, Tectono metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Qori-Kor-e-Sefid area, Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 31, p. 504–521.
- Tomkins, H.S., Powell, R., Ellis, D.J., 2007, the pressure dependence of the zirconium-in rutile thermometer: *Journal of Metamorphic Geology*, v. 25, p. 703–713.
- Triebold, S., von Eynatten, H., Luvizotto, G.L., Zack, T., 2007, Deducing source rock lithology from detrital rutile geochemistry: an example from the Erzgebirge, Germany: *Chemical Geology*, v. 244, p. 421–436.
- Villaseca, C., Orejana, D., Paterson, B.A., 2007, Zr–LREE rich minerals in residual peraluminous granulites, another factor in the origin of low Zr–LREE granitic melts: *Lithos*, v. 96, p. 375–386.
- Watson, E.B., Wark, D.A., Thomas, J.B., 2006, Crystallization thermometers for zircon and rutile: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 151, p. 413–433.
- Zack, T., Kronz, A., Foley, S.F., Rivers, T., 2002, Trace element abundances in rutiles from eclogites and associated garnet mica schists: *Chemical Geology*, v. 184, p. 97–122.
- Zack, T., Luvizotto, G.L., 2006. Application of rutile thermometry to eclogites: *Mineralogy and Petrology*, v. 88, p. 69–85.
- Zack, T., Moraes, R., Kronz, A., 2004. Temperature dependence of Zr in rutile: empirical calibration of a rutile thermometer: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 148, p. 471–488.