Archive of SID

پتـــــرولوژی، سال هفتم، شماره بیست و ششم، تابستان ۱۳۹۵، صفحه ۱۵۳-۱۷۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۰۱

شواهد حضور پی‌سنگ پرکامبرین در منطقه گل‌گهر سیرجان (جنوب ایران)

الهام صفرزاده [۱]، فریبرز مسعودی [۱]*، جمشید حسن‌زاده [۲] و سید محمد پورمعافی [۱]
[۱] گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲] بخش زمین‌شناسی، مؤسسه فناوری کالیفرنیا، پاسادنا، کالیفرنیا، آمریکا

چکیده
گرانیتوییدهای میلونیتی گل‌گهر، جنوب‌خاور سیرجان، یکی از مناطق مهم برای بررسی پیشینه پی‌سنگ پهنه سنندج- سیرجان و بررسی روند دگرگونی و ماگماتیسم در طی فروراش نئوتتیس است. مطالعات صحرایی نشان می‌دهد که این گرانیتوییدها در زیر سنگ‌های دگرگونی مانند متاپلیت، کالک‌شیست و آمفیبولیت‌ها قرار گرفته‌اند. در این پژوهش توده‌های نفوذی گرانیتوییدی منطقه بر اساس سنگ‌شناسی و ویژگی‌های ژئوشیمیایی در دو گروه طبقه‌بندی شده‌اند. گروه اول از نوع گارنت- بیوتیت گرانیتویید و گروه دوم از نوع هاستینگزیت گرانیتویید است. شواهدی از فابریک میلونیتی در هر دو گروه، به‌ویژه در گارنت- بیوتیت گرانیتوییدها دیده می‌شود. هر دو توده از نوع متاآلومین بوده، از لحاظ ماهیت ماگمایی از نوع گرانیتوییدهای نوع I و کالک‌آلکالن پتاسیم بالا هستند. بر اساس سن‌سنجی اورانیم- سرب زیرکن، سن این توده‌های گرانیتوییدی ۵۳۸/۶ تا ۵۸۰/۷ میلیون سال پیش (پرکامبرین پسین – کامبرین پیشین) است. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه می‌توان گفت که با وجود تفاوت کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، این دو توده هم‌زمان در یک رویداد زمین‌ساختی و در طی فاز کوهزایی پان‌آفریکن تشکیل شده‌اند. تطابق نتایج سن‌سنجی به‌دست آمده با نتایج مطالعات انجام گرفته پیشین در بخش‌های مختلف پهنه سنندج- سیرجان می‌تواند بیانگر این باشد که حضور پی‌سنگ پرکامبرین تقریباً در همه پهنه سنندج- سیرجان دارد.

واژه‌های کلیدی: سن‌سنجی زیرکن، پی‌سنگ پرکامبرین،گرانیتوییدهای میلونیتی گل‌گهر، پهنه سنندج- سیرجان

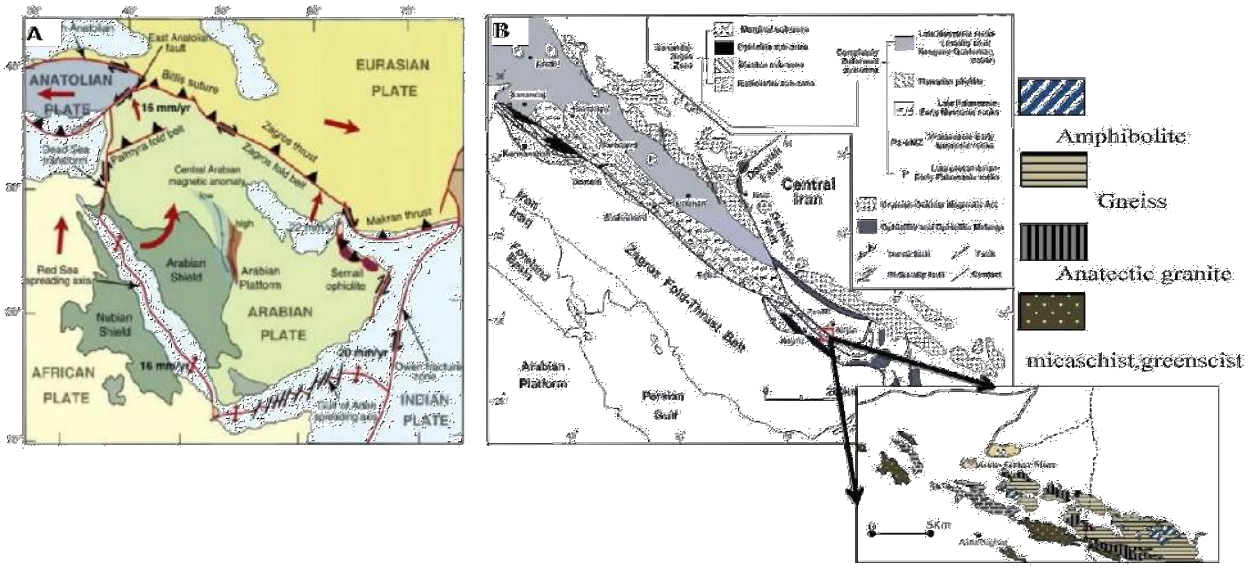
مقدمه
با توجه به شواهد زمین‌شناسی ایران و خاورمیانه و به‌ویژه مقایسه ایران با عربستان، چنین به‌نظر می‌رسد که پایدارسازی و تثبیت پی‌سنگ ایران در پروتروزوییک پسین تا کامبرین پیشین صورت گرفته است. واقعیت‌هایی که در زمین‌های پروتروزوییک پسین و کامبرین پیشین در ایران وعربستان دیده می‌شود، گویای ویژگی‌های گندوانایی سرزمین ایران است (Ghorbani, 2002) و ایران در اصل بخشی از حاشیه شمالی گندواناست که در طی سنوزوییک به بخش

* f_masoudi@sbu.ac.ir
Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir

Archive of SID

جنوبی حاشیه فعال اوراسیا ملحق شده‌است (شکل ۱- A) (Robertson and Dixon,1984; Şengör *et al.*, 1984; Ustaömer *et al.*, 2009). یکی از مهم‌ترین پهنه‌های زمین‌شناسی ایران، پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان است. این پهنه، باریکه‌ای از جنوب‌باختر ایران میانی است که در کنارهٔ شمال‌خاوری راندگی زاگرس قرار دارد (شکل ۱- B). در این پهنه پدیده‌های دگرگونی، ماگماتیسم و زمین‌ساخت پی در پی و هم‌آهنگ با فازهای زمین‌ساختی شناخته شده فراوانی در مقیاس جهانی روی داده است. از همین‌رو، ناآرام‌ترین و به گفته‌ای دیگر، پویاترین پهنه زمین‌ساختی ایران است (Aghanabati, 2004). از دیدگاه ژئودینامیکی، Sheikholeslami (۲۰۰۲) تاثیرگذارترین فازهای زمین‌ساختی بر این پهنه را به‌ترتیب عبارتند از: بازشدگی درون‌قاره‌ای به سن پالئوزوییک در حاشیه شمالی گندوانا، جدا شدن صفحه ایران از گندوانا در حاشیه جنوب خود، به دنبال باز شدن نئوتتیس پس از پرمین میانی، فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران از آغاز تریاس پسین و بسته شدن نئوتتیس در پایان مزوزوییک. این پهنه شامل کمپلکس‌های دگرگونی و سنگ‌های دگریخت‌شده همراه با توده‌های آذرین درونی با ساختارهای دگرگونی و یا بدون آن، و مجموعه وسیعی از سنگ‌های آذرین‌بیرونی مزوزوییک است (Mohajjel and Fergusson, 2003). درباره پی‌سنگ پرکامبرین این پهنه اطلاعات روشنی در دست نیست، از این رو، در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری درباره پی‌سنگ پهنه سنندج- سیرجان در بخش‌های مختلفی از آن انجام شده و یا در حال انجام است (Jamshidi Badr *et al.*, 2013; Asadpour *et al.*, 2013; Hassanzadeh *et al.*, 2008). با توجه به قرارگیری گرانیتوییدهای سیرجان در جایگاه جغرافیایی ویژه (در بخش انتهایی پهنه سنندج- سیرجان)، مطالعه آن می‌تواند کمک شایانی به آشکارسازی پیشینه ژئودینامیکی این بخش از پهنه سنندج- سیرجان و همچنین، یافتن شواهد دیگری از پی‌سنگ پرکامبرین در پهنه سنندج- سیرجان نماید.



شکل ۱- A) نقشه ساده شده جایگاه صفحه عربی و اوراسیا و صفحه‌های دیگر حاشیه شمالی گندوانا، مولفه‌های جابه‌جایی و میزان تقریبی جابه‌جایی آن‌ها (Stern and Johnson, 2010)؛ B) جایگاه منطقه مورد مطالعه در پهنه سنندج- سیرجان در ایران (برگرفته از Mohajjel و Fergusson (۲۰۰۳)) و نقشه زمین‌شناسی ساده شده سیرجان و گل‌گهر.

www.SID.ir

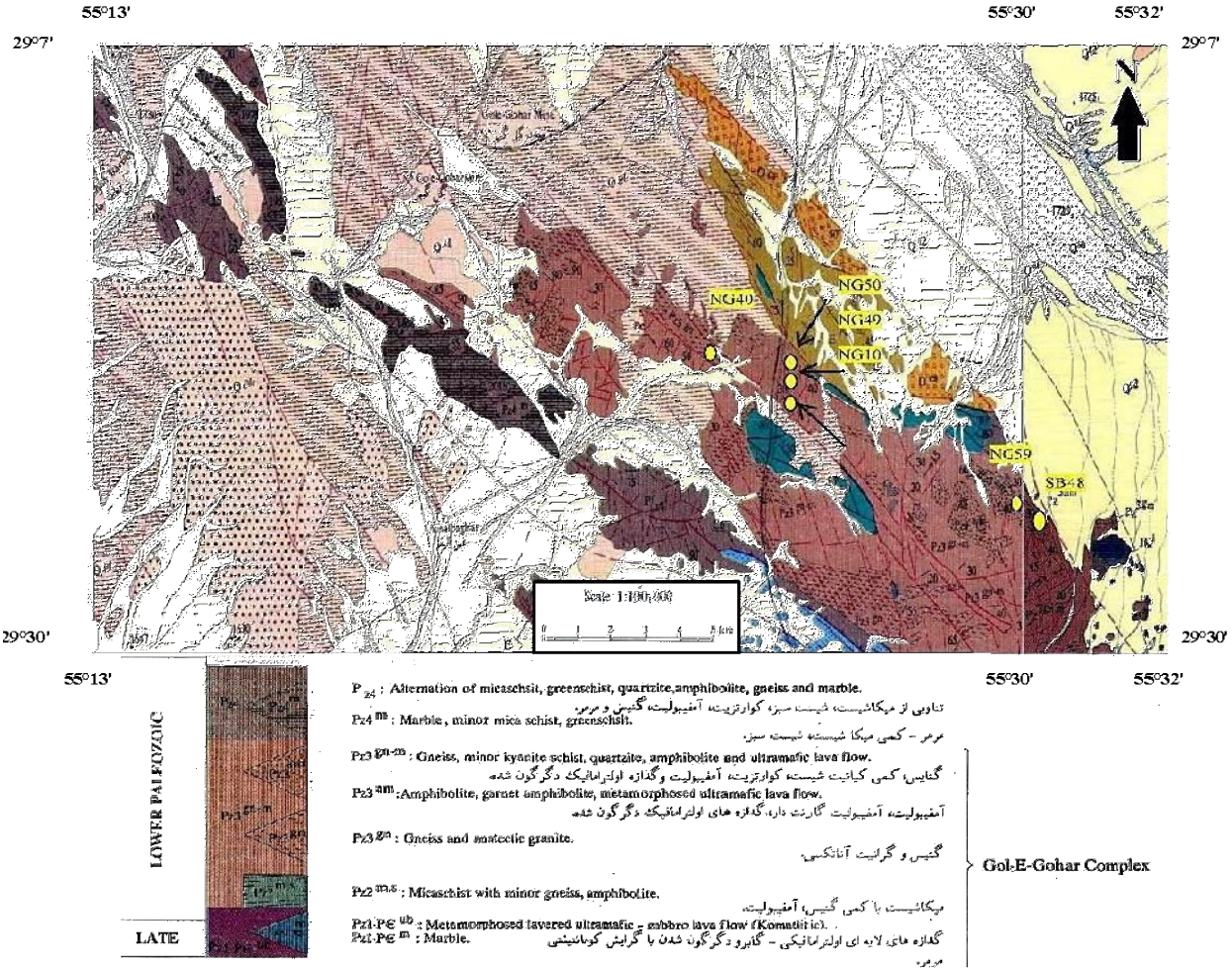
Archive of SID

در این پژوهش با ارائه داده‌های جدید سنگ‌نگاری، ژئوشیمیایی و سن‌سنجی زیرکن به روش اورانیم- سرب برروی گرانیتوییدهای سیرجان، ترکیب سنگ‌شناسی، ماهیت ماگمایی و زمان تشکیل و ارتباط آن‌ها با پی‌سنگ پرکامبرین سنندج- سیرجان بررسی شده‌است.

زمین‌شناسی منطقه

در پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان واقع در جنوب‌باختر سیرجان و جنوب‌خاوری معدن سنگ آهن گل‌گهر، توده‌های نفوذی به نام گرانیتوییدهای سیرجان رخنمون دارد (شکل ۱- B). گرانیتوییدهای میلونیتی سیرجان توده‌های نفوذی کوچک با روند شمال‌باختر- جنوب‌خاور هستند و تقریباً در کرانه جنوبی پهنه سنندج- سیرجان، در محدوده طول‌های جغرافیایی '۲۱ °۵۵ تا '۳۱ °۵۵ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۰۳ °۲۹ تا '۰۵ °۲۹ شمالی قرار دارند (شکل ۲). این توده‌ها به‌صورت دو توده جداگانه با برونزد محدود بوده و در درون سنگ‌های دگرگونی کمپلکس گل‌گهر نفوذ کرده‌اند.

Valeh (۱۹۸۴) و Sabzehei و همکاران (۱۹۹۳)، سنگ‌های دگرگونی کمپلکس گل‌گهر را منسوب به پرکامبرین می‌دانند. Kamali (۲۰۱۱) به‌علت قرارگیری این سنگ‌ها در زیر کمپلکس کرسفید (به سن احتمالی دونین)، آن‌ها را منسوب به اردویسین می‌داند.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی کمپلکس گل‌گهر و جایگاه توده‌های گرانیت میلونیتی گل‌گهر و سنگ‌های دگرگونی دربرگیرنده آنها (دایره زرد: موقعیت نمونه سن‌سنجی شده)، برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سیرجان و ۱:۱۰۰۰۰۰ گل‌گهر (Sabzehei *et al*., 1993).

www.SID.ir

Archive of SID

از لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی، سنگ‌های دگرگونی در برگیرنده گرانیتوییدهای میلونیتی گل‌گهر شامل کالک‌شیست، آمفیبولیت، گارنت‌آمفیبولیت و متاپلیت بوده، درجه دگرگونی آن‌ها در حد شیست‌سبز تا آمفیبولیت است. این گرانیتوییدها ترکیب سنگ‌شناسی متفاوتی داشته و در دو گروه سنگی قرار می‌گیرند.

گرانیتوییدهای گروه یک (نوع I) که در درون کالک‌شیست و متاپلیت‌ها نفوذ کرده‌اند بیشتر از نوع گارنت- بیوتیت گرانیتویید بوده و بدون آمفیبول هستند. این گروه از گرانیتوییدهای گل‌گهر فابریک‌های میلونیتی آشکارتری نسبت به گرانیتوییدهای گروه دوم (نوع II) نشان می‌دهند.

گرانیتوییدهای گروه دوم (نوع II) گل‌گهر که با توده‌های گسترده آمفیبولیت‌ها دربرگرفته شده‌اند هاستینگزیت‌گرانیتویید بوده، بدون گارنت و بیوتیت هستند. شواهد فابریکی میلونیتی‌شدن در این گروه از گرانیتوییدها فقط محدود به حضور خطوارگی اندک در آمفیبول‌هاست (شکل‌های ۳-A و ۳- B).

در سنگ‌های دگرگونی دربرگیرنده هر دو گروه گرانیتوییدها شواهد دگرگونی مجاورتی دیده نمی‌شود. توده‌های گرانیتوییدی منطقه دارای برونزد محدودی بوده و در بیشتر بخش‌ها به‌علت توپوگرافی هموار این توده‌ها و قرارگیری آن‌ها در زیر سنگ‌های دگرگونی و رسوبات جوان‌تر دیگر، برونزدی ندارند.

روش انجام پژوهش

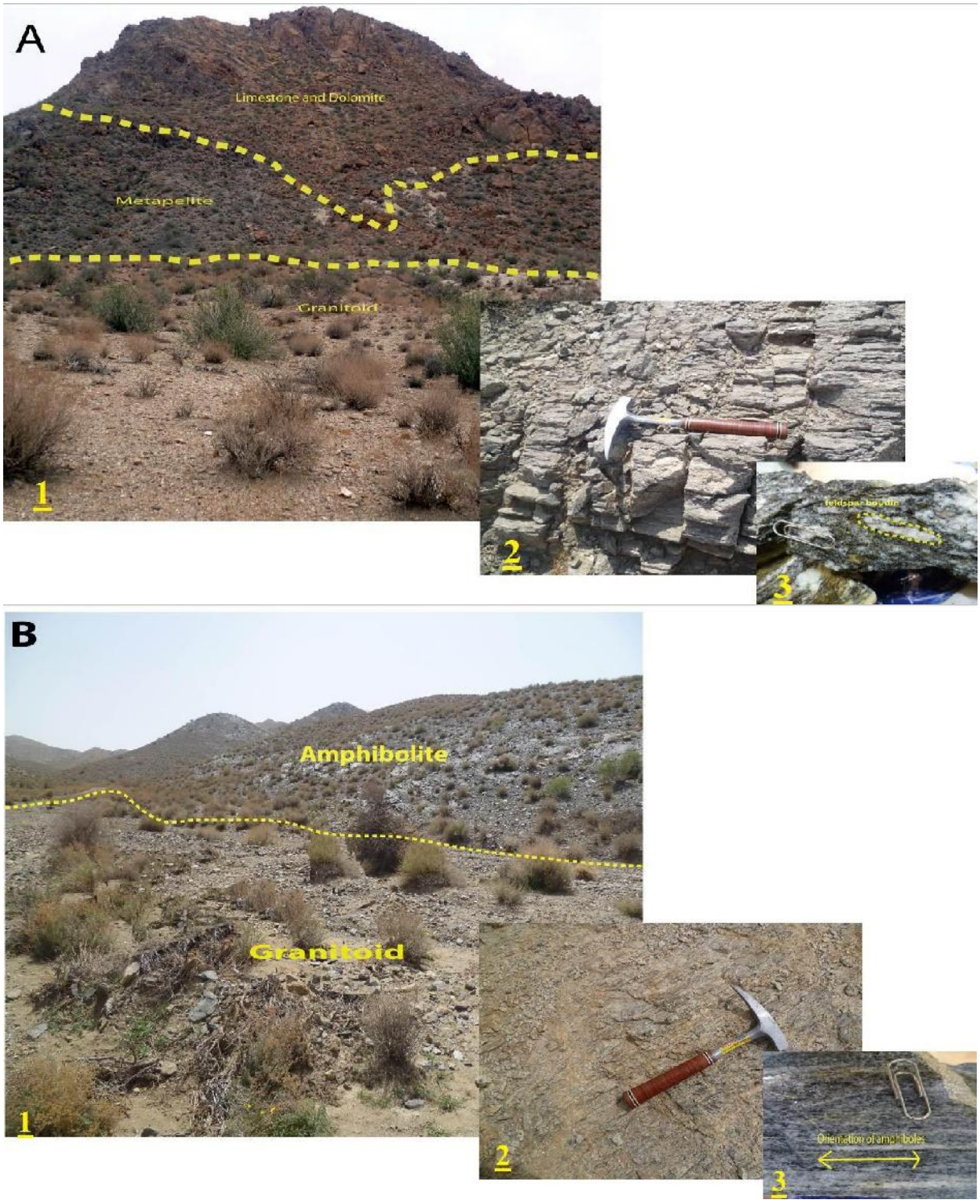
پس از بررسی‌های صحرایی دقیق برروی توده‌های گرانیتوییدی مورد مطالعه و برداشت نمونه‌های سالم، ۲۳ مقطع نازک میکروسکوپی برای بررسی‌های سنگ‌نگاری، و ۱۵ مقطع صیقلی برای بررسی‌های ژئوشیمیایی با دستگاه تجزیه ریزکاو الکترونی تهیه شد. تجزیه ریزکاو الکترونی کانی‌ها با استفاده از دستگاه JEOL 8200 Super Probe در دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه میلان ایتالیا انجام شد (جدول ۱). ولتاژ شتاب‌دهنده مورد استفاده برای آنالیز ریزکاو الکترونی ۱۵KV و قطر پرتو تابشی ۵×۱۰-۹A است، با توجه به قطر پرتو تابشی بلورهایی با قطر بزرگتر از ۱۰μm برای آنالیز برگزیده شدند. برای سن‌سنجی، نمونه‌هایی با ابعاد مناسب (بیش از ۲ کیلوگرم) از منطقه مورد مطالعه برداشته شد و از میان آنها ۳ نمونه از گارنت- بیوتیت گرانیتویید و ۲ نمونه از هاستینگزیت‌گرانیتوییدها برگزیده شدند. سپس کانی‌های شکل‌دار زیرکن آنها پس از خردایش نمونه‌ها و جدایش ثقلی کانی‌ها با استفاده از میز لرزان، غوطه وری در محلول‌های سنگین و روش‌های جدایش مغناطیسی، به‌طور دستی و در زیر میکروسکوپ بینوکولار در سازمان زمین‌شناسی ایران جدا شدند.

زیرکن‌های جدا شده با اپوکسی قالب‌گیری شده و سطح نمونه‌ها با حدود ۱۰۰A° طلا پوشیده شد. سن‌های U-Pb، با استفاده از دستگاه Cameca IMS 1270 Ion Microprobe در دانشگاه ایالتی کالیفرنیا، لس آنجلس (UCLA)، بر اساس تجزیه ریزکاو الکترونی بر روی حاشیه زیرکن‌ها و اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های U-Pb-Th به‌دست آمده است (جدول ۲). برای آنالیزU-Pb زیرکن اندازه پرتو ۳۰ میکرون و بازه انرژیeV۵۰ (Energy window) بود.

از میان نمونه‌های برگزیده برای سن‌سنجی، ۶ نمونه پودر سنگ برای آنالیز XRF برگزیده شدند (جدول ۳). آنالیز XRF با استفاده از دستگاه Philips X'Unique Fluorescence Spectrometer برروی نمونه سنگ‌کل (whole rock) در دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه میلان ایتالیا انجام شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- تصویرهای صحرایی از گرانیتوییدهای منطقه گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران). A) تصویر ۱، نمایی از کنتاکت گرانیتوییدهای نوع I با متاپلیت‌ها (دید به‌سوی خاور)، تصویر۲، برونزد گارنت- بیوتیت گرانیتویید (نوع I)، و تصویر ۳، تصویر نمونه دستی آن (بیضوی خط‌چین نمایانگر بودین‌شدن فلدسپار بر اثر تنش است)؛ B) نمایی از کنتاکت توده هاستینگزیت‌گرانیتویید با آمفیبولیت‌ها (دید به سمت جنوب)، تصویر۲، برونزد هاستینگزیت‌گرانیتویید (نوع II)، تصویر۳، تصویر نمونه دستی آن (فلش زرد رنگ، جهت‌یافتگی بلورهای آمفیبول بر اثر تنش را نشان می‌دهد).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- داده‌های برگزیده تجزیه ریزکاو الکترونی و محاسبه فرمول ساختاری کانی‌های آمفیبول (بـر اسـاس ۲۲ اتـم اکسـیژن)، فلدسـپار (بـر اساس ۸ اتم اکسیژن) و گارنت (بر اساس ۱۲ اتم اکسیژن) در گرانیتوییدهای منطقه گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران).

Granite Type	hastingsite Granitoid (Type II)		garnet- biotite granitoid (Type I)		hastingsite Granitoid (Type II)		garnet – biotite granitoid (Type I)					
Mineral Type	Amphibole		Plagioclase				Garnet					
Sample No.	SB48 C1-3	SB48 C1-6	NG10 C1-13 Core	NG10 C1-14 Rim	SB48 C1-1 Mid	SB48 C1-8 Mid	NG10 C1 Rim	NG10 C1 M1	NG10 C1 M2	NG10 C1 M3	NG10 C1 M4	NG10 C1 Rim
SiO_2	38.60	38.92	64.93	64.90	69.39	70.25	38.69	38.80	38.90	39.15	38.75	38.51
Al_2O_3	11.25	11.37	22.42	21.97	18.84	19.88	20.96	21.25	20.93	20.87	21.04	21.09
TiO_2	0.75	0.61	0.01	0.03	0.04	0.00	0.05	0.00	0.05	0.01	0.02	0.02
Fe_2O_3	6.16	7.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	23.18	22.82	0.00	0.00	0.06	0.05	28.60	29.61	29.17	29.29	30.00	28.47
MnO	0.65	0.51					2.77	1.59	1.96	1.72	1.64	2.04
MgO	3.13	3.14	0.00	0.01	0.01	0.01	0.94	1.58	1.34	1.47	1.50	1.03
CaO	10.53	10.40	4.57	4.39	0.28	0.42	9.93	9.18	9.61	9.47	8.79	10.48
Na_2O	1.88	1.92	9.18	9.73	11.67	11.04	-	-	-	-	-	-
K_2O	2.51	2.47	0.14	0.16	0.12	0.14	-	-	-	-	-	-
Cl	0.78	0.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H_2O	1.68	1.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FCl=O	-	-	0.00	0.00	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-
Sum	98.82	99.39	101.26	101.24	100.41	101.84	101.94	102.01	101.96	101.98	101.74	101.64
Si	6.14	6.14	2.84	2.83	3.02	3.03	3.04	3.04	3.05	3.07	3.05	3.03
Al^{IV}	1.86	1.86	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al^{VI}	0.25	0.26	-	-	-	-	1.94	1.96	1.93	1.93	1.95	1.95
Al	-	-	1.16	1.13	0.97	1.01	1.94	1.96	1.93	1.93	1.95	1.95
Ti	0.09	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe^{3+}	0.74	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00						
Fe^{2+}	3.09	3.01	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	1.94	1.91	1.92	1.97	1.87
Mn	0.09	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.11	0.13	0.11	0.11	0.14
Mg	0.74	0.74	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.18	0.16	0.17	0.18	0.12
Ca	1.80	1.76	0.21	0.21	0.01	0.02	0.84	0.77	0.81	0.79	0.74	0.88
Na	0.58	0.59	0.78	0.82	0.99	0.92	-	-	-	-	-	-
K.	0.51	0.50	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-
OH	1.79	1.78	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl	0.21	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sum	17.89	17.84	5.00	5.00	5.00	4.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99	7.99
$H_2O(C)$	1.89	1.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$Mg/(Mg+Fe^{2+})$	0.19	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$Mg/(Mg+Mn^{2+})$	0.89	0.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$Al^{VI}+Fe^{3+}+Fe^{2+}+Mg$	4.82	4.86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X_{An}	-	-	0.22	0.20	0.01	0.02	-	-	-	-	-	-
Ti-Al Garnet	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na-Ti Garnet	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
$X_{Mg(Fe2+)}$	-	-	-	-	-	-	0.06	0.09	0.08	0.08	0.08	0.06
$X_{Mg(Fe*)}$	-	-	-	-	-	-	0.06	0.09	0.08	0.08	0.08	0.06
$Fe^{3+}/(Fe*)$	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
X_{Mg}	-	-	-	-	-	-	0.04	0.06	0.05	0.06	0.06	0.04
X_{Fe2+}	-	-	-	-	-	-	0.62	0.65	0.64	0.64	0.66	0.62
X_{Ca}	-	-	-	-	-	-	0.28	0.26	0.27	0.26	0.25	0.29
X_{Mn}	-	-	-	-	-	-	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
Groups	Calcic amphibole	Calcic amphibole	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Modifiers Names	Hastingsite	ferrian-Hastingsite	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Anorthite	-	-	0.21	0.20	0.01	0.02	-	-	-	-	-	-
Albite	-	-	0.78	0.79	0.98	0.97	-	-	-	-	-	-
Orthoclase	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-
Grossular	-	-	-	-	-	-	0.27	0.26	0.27	0.27	0.25	0.29
Almandine	-	-	-	-	-	-	0.62	0.65	0.64	0.64	0.66	0.62
Pyrope	-	-	-	-	-	-	0.04	0.06	0.05	0.06	0.06	0.04
Spessartite	-	-	-	-	-	-	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05
Andradite	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Uvarovite	-	-	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- نتایج آنالیز سن‌سنجی به روش U-Pb زیرکن درون نمونه‌های گرانیتوییدی منطقه گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران).

Name	Age (Ma) 206Pb/ 238U 208/6Pb corr	Age (Ma) 207Pb/ 235U	Age (Ma) 207Pb/ 206Pb	Age (Ma) 207Pb/ 206Pb 1 s.e.	% Radiogenic 206Pb	207Pb*/ 235U	207Pb*/ 235U 1 s.e.	206Pb*/ 238U	206Pb*/ 238U 1 s.e.
Sample NG10									
NG10_3	557.4	574.9	644.7	114	100	7.62E-01	5.64E-02	9.03E-02	5.60E-03
NG10_4	580.7	572.2	538.2	48	99.79	7.57E-01	4.84E-02	9.43E-02	5.85E-03
Sample NG49									
NG49_2	540.8	543.9	557	50.4	99.9	7.09E-01	4.41E-02	8.75E-02	5.08E-03
NG49_3	546.7	554.9	588.3	71.4	98.87	7.27E-01	6.65E-02	8.85E-02	7.63E-03
Sample NG50									
NG50_2	540	551.9	601.1	43.3	100.1	7.22E-01	4.31E-02	8.74E-02	4.94E-03
NG50_6	552.2	566.3	623.3	40.2	100.3	7.47E-01	4.19E-02	8.94E-02	4.73E-03
NG50_13	564.3	594.3	710.7	30.6	100.6	7.96E-01	4.49E-02	9.15E-02	5.01E-03
Sample NG48									
SB48_1	538.6	546.7	580.6	40.9	100	7.13E-01	4.16E-02	8.71E-02	5.23E-03
SB48_2	551.5	569.8	643.6	40.7	100.3	7.53E-01	3.97E-02	8.93E-02	4.80E-03
Sample NG40									
NG40_3	555.3	577.1	663.8	42.4	100.4	7.65E-01	4.60E-02	9.00E-02	5.19E-03
NG40_5	563.5	571.4	602.9	51.8	100.2	7.56E-01	5.04E-02	9.14E-02	6.02E-03
NG40_1	573.2	587.7	644.1	57.7	100.2	7.84E-01	4.96E-02	9.30E-02	5.41E-03

Name	Correlation of Concordia Ellipses	207Pb*/ 206Pb*	207Pb*/ 206Pb* 1 s.e.	U	Th	U/Th
Sample NG10						
NG10_3	7.10E-01	6.12E-02	3.24E-03	176	101	1.751809
NG10_4	9.40E-01	5.82E-02	1.28E-03	1351	532	2.538615
Sample NG49						
NG49_2	9.28E-01	5.87E-02	1.36E-03	629	167	3.765787
NG49_3	9.33E-01	5.96E-02	1.96E-03	1211	446	2.715662
Sample NG50						
NG50_2	9.42E-01	5.99E-02	1.20E-03	1116	406	2.748543
NG50_6	9.43E-01	6.06E-02	1.13E-03	1338	388	3.451777
NG50_13	9.67E-01	6.31E-02	9.07E-04	6105	1920	3.179405
Sample NG48						
SB48_1	9.50E-01	5.94E-02	1.12E-03	1610	353	4.556556
SB48_2	9.37E-01	6.11E-02	1.16E-03	1785	529	3.371236
Sample NG40						
NG40_3	9.44E-01	6.17E-02	1.22E-03	846	258	3.276664
NG40_5	9.35E-01	6.00E-02	1.44E-03	1270	497	2.55511
NG40_1	9.06E-01	6.11E-02	1.64E-03	460	130	3.527803

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- داده‌های اکسید عناصر اصلی (بر اساس درصد وزنـی) و عناصـر فرعـی (بـر اسـاس ppm) در ترکیـب سـنگ‌کـل گرانیتوییـدهای میلونیتی گل‌گهر بر اساس تجزیه XRF و نتایج محاسبه مقدار نورماتیو کانی‌ها.

Granite Type	Type I			Type II		
	garnet- biotite granitoid			hastingsite Granitoid		
Sample No.	NG10	NG49	NG50	NG40	NG59	SB48
SiO_2	73.72	70.01	74.14	72.28	72.16	70.34
TiO_2	0.41	0.42	0.19	0.17	0.16	0.48
Al_2O_3	12.27	14.57	13.42	12.93	13.70	13.38
Fe_2O_3*	3.53	3.31	2.12	2.44	3.00	3.17
MnO	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07
MgO	0.99	0.62	0.35	1.45	0.18	1.26
CaO	2.55	2.41	1.29	2.88	0.73	2.03
Na_2O	4.26	4.75	3.35	4.19	5.38	5.02
K_2O	1.91	3.76	5.13	3.36	4.55	4.09
P_2O_5	0.16	0.07	0.07	0.06	0.03	0.07
Sum	99.86	99.97	100.10	99.80	99.92	99.89
LOI	0.43	0.35	0.38	0.64	0.57	0.58
Sc	8	8	6	7	4	7
V	32	51	20	24	12	14
Cr	8	57	3	45	2	1
Ni	12	12	6	6	6	10
Co	10	13	6	11	5	6
Cu	4	9	2	12	3	1
Zn	63	68	33	27	20	26
Rb	91	116	166	100	92	83
Sr	204	186	126	210	133	176
Zr	287	159	151	150	360	195
Nb	14	9	18	16	84	44
Ba	393	1309	928	1435	944	362
Pb	23	41	33	12	16	4
Th	16	2	13	2	11	3
U	6	1	1	2	3	2
La	46	31	26	30	38	36
Ce	78	21	26	11	36	72
Y	34	24	50	38	43	24
FeO*	3.17	2.98	1.91	2.19	2.70	2.85
Na_2O+K_2O	6.18	8.51	8.49	7.55	9.94	9.11
A/NK	1.35	1.23	1.21	1.22	0.99	1.05
A/CNK	0.89	0.90	1	0.82	0.91	0.82
Sample	NG10	NG49	NG50	NG40	NG59	SB48
Q	37.14	23.80	32.59	29.25	23.39	21.84
Or	11.72	22.99	30.94	20.40	27.74	24.99
Ab	37.43	41.58	28.93	36.42	46.57	43.91
An	9.05	7.58	6.07	6.73	0.00	1.96
C	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00

www.SID.ir

Archive of SID

سنگ‌نگاری

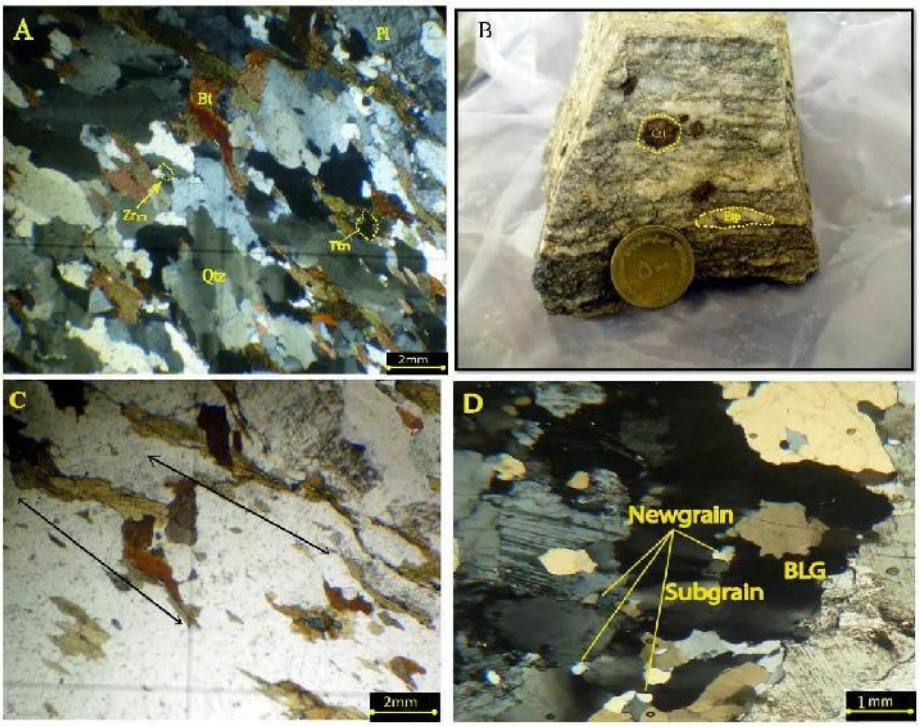
گرانیتوییدهای میلونیتی گل‌گهر سنگ‌نگاری متفاوتی داشته (شکل‌های ۴ و ۵)، به دو گروه گارنت- بیوتیت‌گرانیتویید (نوع I) و هاستینگزیت‌گرانیتویید (نوع II) تقسیم می‌شوند:

گارنت- بیوتیت گرانیتویید (نوع I): این گرانیتوییدها بافت گرانولار دانه‌متوسط تا دانه‌درشت داشته، اندازه بیشتر بلورها ۱ تا ۵ میلیمتر است (شکل ۴- A). در برخی بخش‌ها به‌طور موضعی بافت میرمکیتی، مگاکریست‌های گارنت و بودین‌های کشیده و درشت فلدسپار دیده می‌شود. اندازه بلورهای فلدسپار تا ۲/۵ سانتیمتر و بلورهای گارنت نیز گاهی تا ۱/۵ سانتیمتر می‌رسد (شکل ۴- B). کانی‌شناسی آنها شامل کانی‌های اصلی کوارتز، فلدسپار الیگوکلاز (جدول ۱، شکل ۶- A)، پتاسیم فلدسپار (ارتوز)، کانی‌های مافیک بیوتیت و گارنت (غنی از آلماندن) (جدول ۱، شکل ۶- B) است. گارنت‌ها در نمودار Miller و Stoddard (۱۹۸۱) در محدوده گارنت‌های ماگمایی قرار گرفته‌اند (شکل ۶- C). تیتانیت (اسفن)، ایلمنیت، آلانیت، زیرکن و آپاتیت نیز کانی‌های فرعی هستند. همچنین، در نمونه‌های مورد مطالعه، کانی‌های کلریت، کربنات و نیز مقدار کمی کانی‌های رسی به‌صورت ثانویه (به ترتیب حاصل دگرسانی بیوتیت و فلدسپارها) دیده می‌شوند. در مقیاس صحرایی، بر اثر دگریختی، جدایش در کانی‌های تیره و روشن روی داده است، به‌گونه‌ای که این گرانیتوییدها تا حدی بافت یا فابریک نواری نشان می‌دهند. روبان‌های کشیده کوارتز و بودین‌های کشیده فلدسپار و خطوارگی کانی‌های بیوتیت نیز از دیگر شواهد دگریختی در این سنگ‌هاست. در مقیاس میکروسکوپی نیز خطوارگی کانی‌های بیوتیت و جدایش باندهای تیره و روشن کانی‌ها از هم قابل تشخیص است (شکل ۴- C). در مرز کانی‌های کوارتز در نمونه‌های مورد مطالعه دو نوع باز تبلور دینامیکی تشخیص داده می‌شود: (۱) بازتبلور بلورهای کوارتز، تشکیل مرزهای برآمدگی (BLG=Bulging) و تشکیل دانه‌های جدید (newgrain) در مرز دو کانی؛ (۲) بازتبلور و چرخش مرز زیردانه‌ها (SGR یا Subgrain Rotation) (شکل ۴- D). بر اساس بررسی ریزساختار سنگ‌های دگریخت شده توسط Passchier و همکاران (۲۰۰۵)، بر اثر تنش، انرژی داخلی بلور از حالت تعادل خارج شده و در پاسخ به تنش جابه‌جایی‌هایی در شبکه بلور روی می‌دهد. اگر این جابه‌جایی در شبکه صفحه‌ای منظم روی دهد باعث چرخش و جدایش مرز زیردانه‌ها می‌شود. همچنین، در مرز دو بلور مجاور، تفاوت انرژی درون بلوری باعث تحرک مرزدانه و تشکیل مرزهای برآمدگی می‌شود که جابه جایی مرز دانه‌ها گاه به تشکیل دانه جدید منجر می‌شود (Passchier *et al.*, 2005). شواهد دگریختی گفته شده نشان‌دهنده اعمال تنش بر این سنگ‌ها در شرایط دمای پایین تا متوسط است (Passchier *et al.*, 2005).

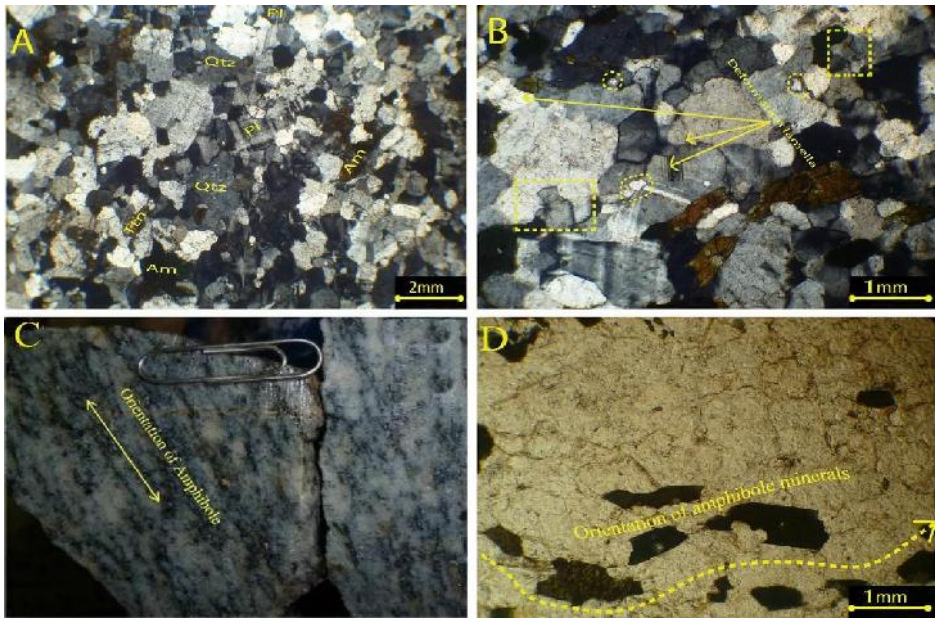
هاستینگزیت‌گرانیتویید (نوع II): این گرانیتوییدها فابریک میکروگرانولار داشته، دانه‌متوسط بوده و به‌ندرت کانی‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر از ۵ میلیمتر در آنها دیده می‌شود (شکل ۵- A). ترکیب کانی‌شناسی آنها شامل کانی‌های اصلی کوارتز، پلاژیوکلاز، آمفیبول و پتاسیم‌فلدسپار، کانی‌های فرعی آلانیت، زیرکن، تیتانیت (اسفن) و ایلمنیت، و کانی‌های ثانویه اپیدوت، کانی‌های رسی، اکسید آهن و کلریت است. این کانی‌ها حاصل دگرسانی کانی‌هایی مانند فلدسپار و آمفیبول هستند. شواهدی مانند خاموشی‌موجی در کانی‌های کوارتز و تیغه‌ها و ماکل‌های دگریختی در کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلازها نشان‌دهنده تبلور یا بارتبلور این کانی‌ها بر اثر تنش است (شکل ۵- B). همچنین، اعمال تنش در شرایط دما پایین تا متوسط به‌صورت موضعی در برخی بخش‌ها موجب بازتبلور بلورهای کوارتز، تشکیل مرزهای برآمدگی، جابه‌جایی در شبکه بلور کوارتز و چرخش مرز ریزدانه‌ها و تشکیل دانه‌های جدید کوارتز شده‌است. در این گروه از گرانیتوییدها نسبت به گارنت- بیوتیت گرانیتوییدها مرز بین کوارتزها عمدتاً صاف بوده، مرزهای برآمدگی کمتر دیده می‌شوند.

www.SID.ir

Archive of SID



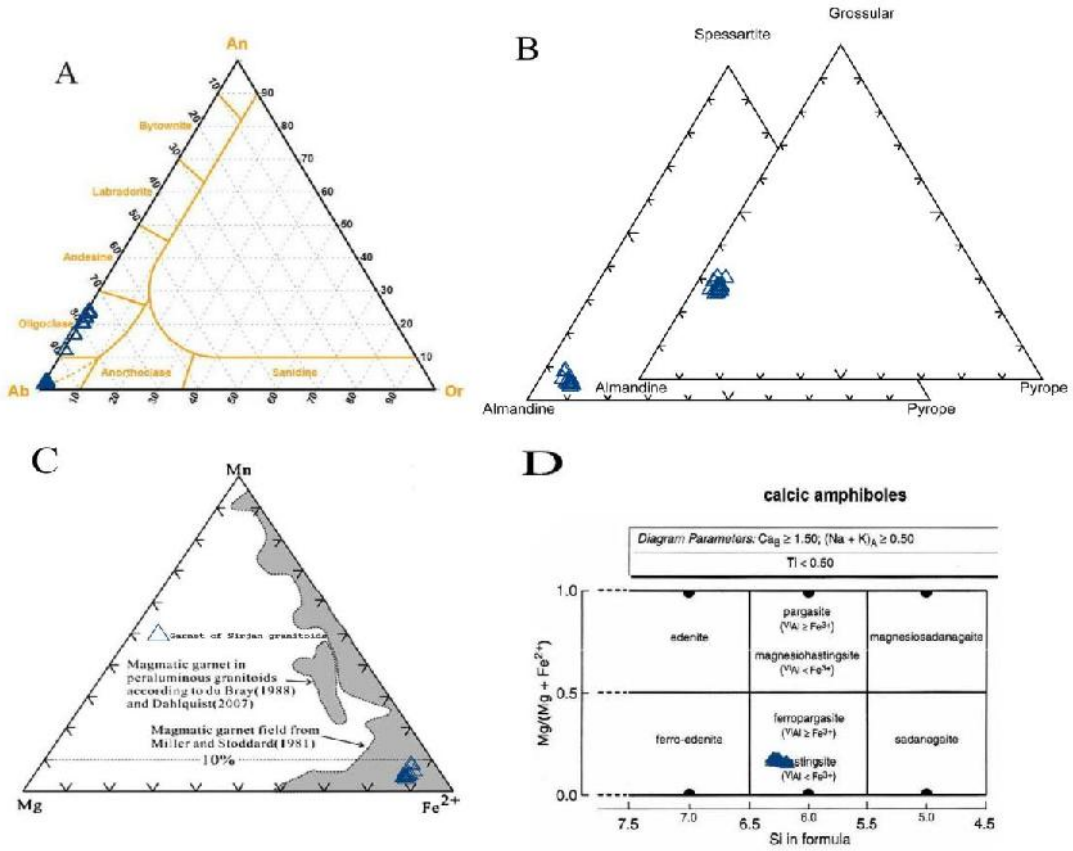
شکل ۴- تصویرهای میکروسکوپی از گارنت- بیوتیت گرانیتوییدهای میلونیتی گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران). A) بافت گرانـولار (در نـور XPL یا Cross Polarized Light)؛ B) فلدسپار بودین‌شده بر اثر تنش و درشت‌بلور گارنت (محدوده خط‌چین)؛ C) جدایش کانی‌های تیـره و روشـن و خطوارگی بیوتیت‌ها بر اثر تنش (در نور PPL یا Plane Polarized Light)؛ D) تحرک مرز دانه‌ها و تشکیل مرزهای برآمدگی (Bulging= BLG)، چرخش مرز زیردانه‌ها (subgrain) و تشکیل نودانه (newgrain) در بلور کوارتز در پاسخ به تنش (در نور XPL) (نام اختصاری کانی‌ها بـر اسـاس IUGS (Siivola, 2007): Pl= پلاژیوکلاز، Bt= بیوتیت، Grt= گارنت، Qtz= کوارتز، Zrn= زیرکن، Ttn= تیتانیت).



شکل ۵- تصویرهای میکروسکوپی از هاستینگزیت‌گرانیتوییدهای گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران). A) بافـت میکروگرانـولار (در نـور XPL)؛ B) تیغه‌های دگریختی در کوارتز (فلش‌های زرد رنگ)، تحرک مرز دانه‌ها و تشکیل مرزهای برآمدگی (چهارگوش‌های خط‌چین) و تشـکیل نودانـه در بلور کوارتز در پاسخ به تنش (دوایر خط‌چین) (در نور XPL)؛ C) جهت‌یافتگی ترجیحی بلورهای آمفیبول بر اثر تـنش در نمونـه دسـتی؛ D) جهت‌یافتگی ترجیحی آمفیبول (در نور PPL) (نام اختصاری کانی‌ها مانند شکل ۴).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶- ترکیب شیمیایی و طبقه‌بندی کانی‌ها در گرانیتوییدهای گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران). A) ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها در نمودار An-Ab-Or (Deer and Zussman, 1963)؛ B) ترکیب شیمیایی گارنت در نمودار سه تایی؛ C) موقعیت گارنت‌ها در نمودار سه تایی Miller و Stoddard (۱۹۸۱)؛ D) ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها در نمودار Hawthorne و همکاران (۲۰۰۶).

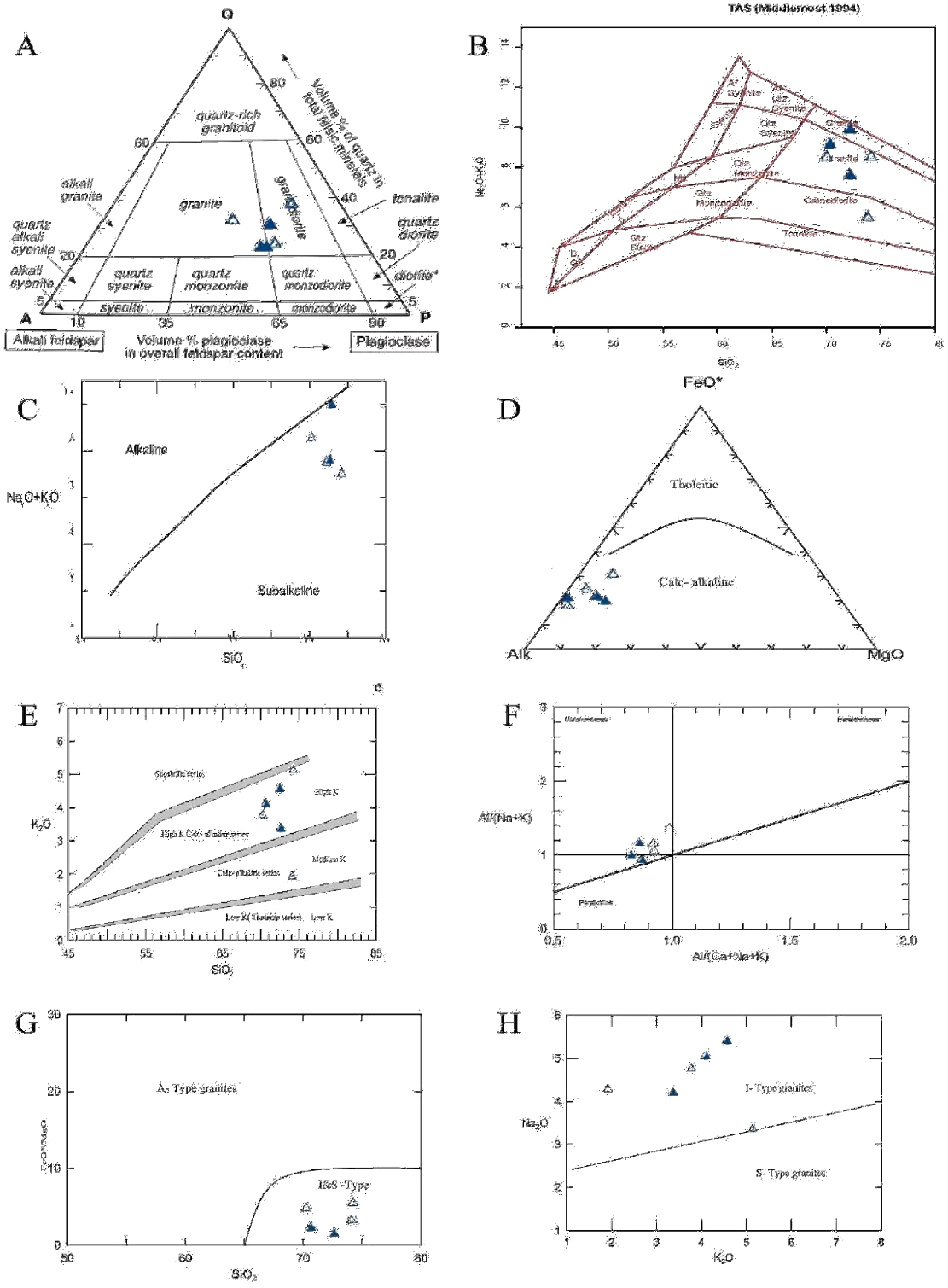
پلاژیوکلازها بیشتر دارای ترکیب آلبیتی بوده (جدول ۱، شکل ۶- A)، دارای ماکل‌های دگریختی هستند. آمفیبول‌ها دانه‌متوسط تا دانه‌ریز و دارای ترکیب پتاسیم‌هاستینگزیت بوده و عمدتاً نیمه‌شکل‌دار هستند (جدول ۱، شکل ۶- D). بر اثر تنش آمفیبول‌ها دارای جهت‌یافتگی ترجیحی شده‌اند و آنها را می‌توان در نمونه‌دستی و در زیر مقطع میکروسکوپی دید (شکل‌های ۵- C و ۵- D). با توجه به جدا بودن موقعیت قرارگیری توده‌های گرانیتوییدی گل‌گهر و تفاوت ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها، احتمالاً این دو توده حاصل تبلور از ماگماهایی با ترکیب شیمیایی متفاوت هستند. تفاوت شدت میلونیتی‌شدن این دو توده نیز می‌تواند ناشی از تفاوت ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها باشد. نبود فیلوسیلیکات‌هایی مانند بیوتیت و همچنین، حضور کانی آمفیبول به‌عنوان تنها کانی مافیک در گرانیتوییدهای نوع II باعث شده است که این گرانیتوییدها در برابر تنش و میلونیتی‌شدن مقاومت بیشتری نسبت به گرانیتوییدهای نوع I نشان بدهند.

ژئوشیمی

نتایج آنالیز عناصر اصلی و فرعی سنگ کل (جدول ۳) گرانیتوییدهای میلونیتی گل‌گهر نشان می‌دهد که: درصد وزنی SiO_2 در گرانیتوییدهای نوع I، ۷۰-۷۴ درصد وزنی و در گرانیتوییدهای نوع II، ۷۰- ۷۲ درصد وزنی است. در نمودار QAP هر دو گروه گرانیتوییدها بر اساس محاسبات فرمول ساختاری و روش اصلاحی مولر و براون در محدوده گرانیت- گرانودیوریت قرار گرفته‌اند (شکل ۷- A).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- ترکیب شیمیایی گرانیتوییدهای گل‌گهر (سیرجان، جنوب ایران) در: A) نمودار LeMaitre (۲۰۰۰) که در آن مقادیر A و P با روش اصلاحی مولر و براون محاسبه شده‌اند؛ B) نمودار TAS (۱۹۹۴)؛ C) نمودار مجموع آلکالن در برابر SiO_2 (Irvine and Baragar, 1971)؛ D) نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971)؛ E) نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Rickwood, 1989)؛ F) نمودار A/NK در برابر A/CNK (Maniar and Piccoli, 1989)؛ G) نمونه‌های مورد بررسی در نمودار FeO*/MgO در برابر SiO_2 (Frost et al., 2001) در محدوده نوع I و S قرار می‌گیرند؛ H) در نمودار Chappell و White (۲۰۰۱) نمونه‌های مورد بررسی در محدوده نوع I قرار گرفته‌اند (گرانیت نوع I: Δ؛ گرانیت نوع II: ▲).

www.SID.ir

Archive of SID

در نمودار TAS نیز عمدتاً در محدوده گرانیت تا گرانودیوریت قرار گرفته‌اند (شکل ۷- B). از لحاظ ماهیت ماگمایی هر دو گروه گرانیتوییدها در نمودار مجموع عناصر آلکالن در برابر SiO_2 در محدوده ساب‌آلکالن، در نمودار مثلثی AFM در محدوده کالک‌آلکالن و در نمودار K_2O در برابر SiO_2 گرانیتوییدهای نوع I و گرانیتوییدهای نوع II، مگر یک نمونه از گرانیتوییدهای گروه I، در محدوده کالک‌آلکالن پتاسیم بالا قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۷-C، ۷-D و ۷-E). بر اساس نمودار A/CNK در برابر A/NK از لحاظ شاخص اشباع از آلومین این سنگ‌ها از نوع متا آلومین هستند و مقدار A/CNK<1.1 است (شکل ۷- F). برای تعیین نوع گرانیتوییدهای گل‌گهر با استفاده از نمودار FeO*/MgO در برابر SiO_2 مشخص شد که گرانیتوییدهای گل‌گهر در محدوده گرانیتوییدهای نوع I و S قرار می‌گیرند و از نوع گرانیتوییدهای نوع A نیستند (شکل ۷- G). بر اساس نمودار Na_2O در برابر K_2O هر دو گروه گرانیتوییدهای میلونیتی در محدوده گرانیتوییدهای نوع I قرار گرفته‌اند (شکل ۷- H).

سن‌سنجی U-Pb زیرکن

کانی زیرکن کاربرد گسترده‌ای در تعیین سن مطلق گرانیتوییدها دارد. تعیین سن زیرکن به روش U-Pb (دمای پایداری ایزوتوپی زیرکن تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد) بهترین روش سن‌سنجی سنگ‌های گرانیتوییدی است. همانگونه که در روش انجام پژوهش گفته شد، پس از خردایش تا مرحله ۴۰ میکرون، الک‌کردن، لاوک‌شویی، جدایش مغناطیسی و غوطه‌وری بخش غیرمغناطیس در محلول برموفورم، ۵ نمونه از ۶ نمونه انتخاب شده تا زیرکن‌هایی با ابعاد مناسب آنها در زیر میکروسکوپ بینوکولار در سازمان زمین‌شناسی جدا شوند. زیرکن‌های انتخاب شده پس از قالب‌گیری با رزین، پولیش دادن آن‌ها تا رسیدن به نصف ضخامتشان، شستشو و در نهایت کاور شدن سطح آن‌ها با طلا در دانشگاه ایالتی کالیفرنیا، لوس‌آنجلس با دستگاه Cameca IMS 1270 ion microprobe و به روش U-Pb سن‌سنجی شدند. ابعاد زیرکن‌ها در گرانیتوییدهای سیرجان از ۵ تا ۳۰۰میکرون متغیر است (شکل ۸).

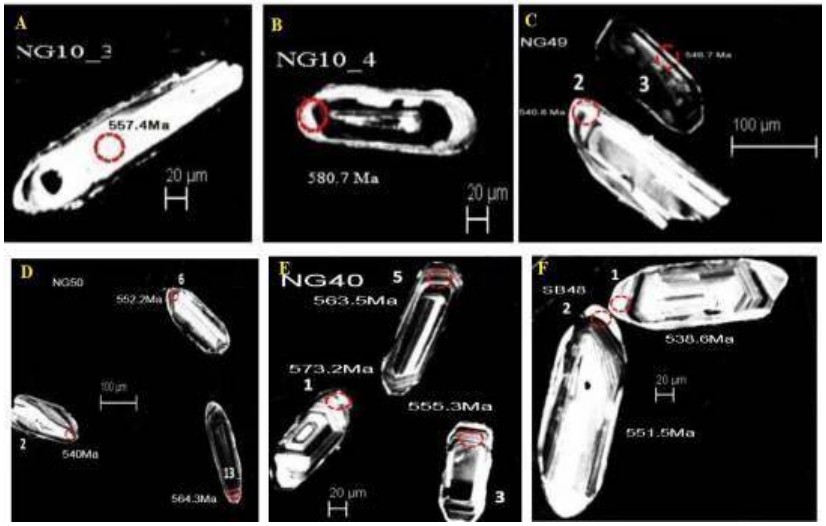
نتایج آنالیز سن‌سنجی (1σ error) در جدول ۲ ارائه شده است. تصاویر کاتودولومینسانس همراه با موقعیت نقاط سن‌سنجی شده و نمودار سن میانگین تعیین شده آن‌ها نیز به‌ترتیب در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

گارنت- بیوتیت گرانیتوییدها: زیرکن‌های گرانیتوییدهای گارنت بیوتیت‌دار عمدتاً به رنگ صورتی روشن و گاهی بی‌رنگ مشاهده می‌شوند. نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار هستند و درازای آن‌ها از ۸ تا ۳۰۰ میکرون و نسبت درازا به پهنای آن‌ها از ۱:۱ تا ۱۰:۱ متغیر است. در تصاویر کاتودولومینسانس بیشتر زیرکن‌های موجود در این گروه از گرانیتوییدها دارای منطقه‌بندی نوسانی هستند و بلورهای زیرکن با منطقه‌بندی بهتر، عمدتاً خاکستری رنگ مشاهده می‌شوند و هسته تیره‌تری دارند در برابر زیرکن‌های دارای هسته‌ای درشت‌تر به‌رنگ روشن بوده و منطقه‌بندی ضعیف‌تری نشان می‌دهند (شکل ۸- A و ۸- D).

بر اساس آنالیزهای انجام شده بر روی ۶ نقطه در حاشیه زیرکن نمونه‌های NG10، NG49، NG50 و یک نقطه در مرکز زیرکن نمونه NG10، سن $^{206}Pb/^{238}U$ بین ۵۴۰ تا ۵۸۰/۷، سن $^{207}Pb/^{235}U$ بین ۵۵۱/۹ تا ۵۹۴/۳ و سن $^{207}Pb/^{206}Pb$ بین ۵۳۸/۲ تا ۷۱۰/۷ متغیر است و میانگین سنی $^{206}Pb/^{238}U$ آن‌ها برابر ۵۵۳ میلیون سال پیش (MSWD= 0.0053) است (شکل ۹). مقدار U از ۱۷۶ تا ۶۱۰۵ppm و مقدار Th از ۱۰۱ تا ۱۹۲۰ ppm و نسبت U/Th نیز از ۱/۷۵ تا ۳/۷۷ متغیر است (جدول ۲).

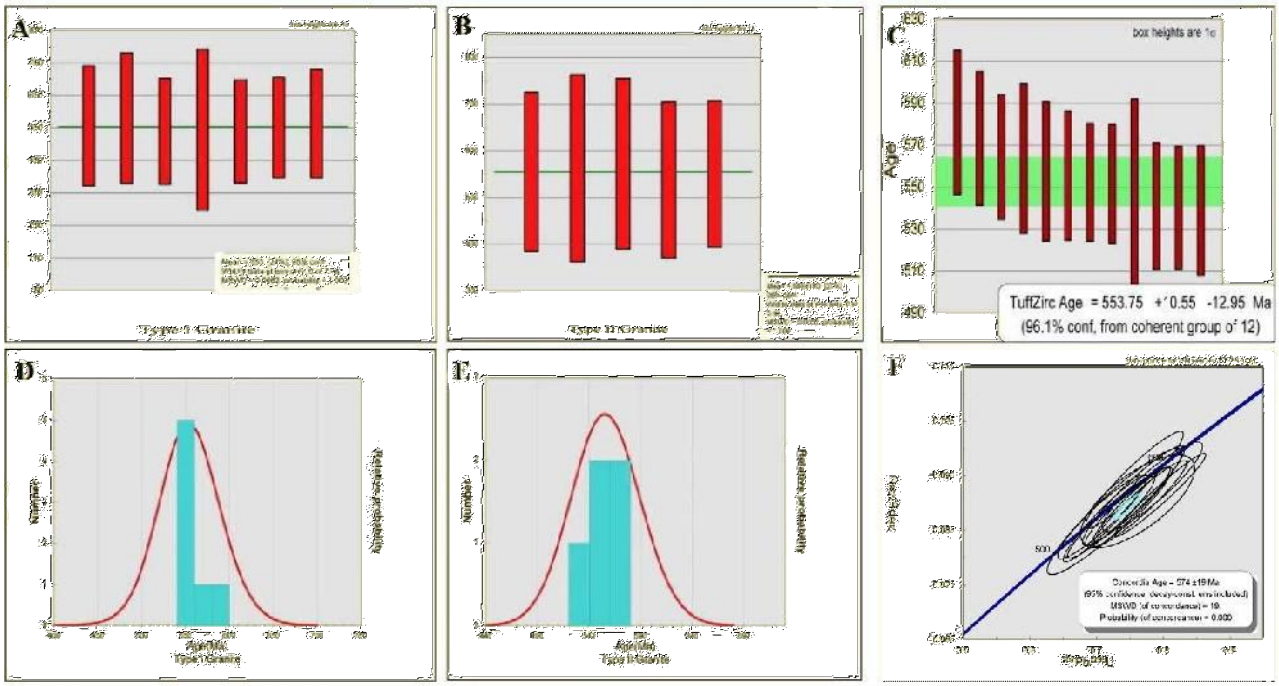
www.SID.ir

Archive of SID



شـکل ۸- تصـاویر کاتودولومینسـانس زیـرکن مربـوط بـه نمونـه‌هـای گرانیتوییـد میلـونیتی گـل‌گهـر(سـیرجان، جنـوب ایـران) (بخـش سن‌سنجی شده: دوایر مقطع قرمز، سن $^{206}Pb/^{238}U$).

هاستینگزیت گرانیتوییـد: زیـرکن‌هـای ایـن گـروه از گرانیتوییدها به‌رنـگ صـورتی روشـن، نیمـه‌شـکل‌دار تا شـکل‌دار هسـتند. طـول آن‌هـا در حـدود ۵ تـا ۲۵۰ میکرون و نسـبت طـول بـه عـرض‌شـان بـین ۱۲:۱ تـا ۸:۱ متغیـر اسـت. زیـرکن‌هـای مشـاهده شـده در تصـویرهای کاتودولومینسـانس عمـدتاً دارای منطقـه‌بنـدی نوسـانی هسـتند و تقریبـاً میـزان پراکنـدگی نوارهـای تیـره و روشـن در آن‌هـا یکسـان است، این زیـرکن‌هـا عمـدتاً دارای هسـته‌هـای روشـن هستند (شکل‌های ۸- E و ۸- F).



شـکل ۹- میـانگین سـن تعیـین شـده از داده‌هـای U-Pb. A) گرانیـت نـوع I؛ B) گرانیـت نـوع II؛ C) نـوع I و نـوع II؛ Prob dens نـوع I؛ D) Prob dens نوع II؛ F) سن کونکوردیای نوع I و II گرانیتوییدهای گل‌گهر.

www.SID.ir

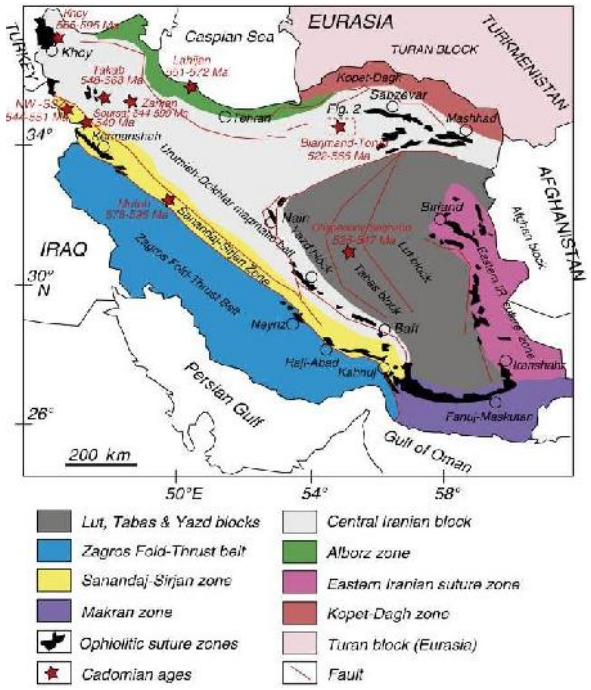
Archive of SID

بر اساس آنالیزهای انجام شده بر روی ۵ نقطه از حاشیه زیرکن‌های نمونه‌های SB48 و NG40، سن $^{206}Pb/^{238}U$ بین ۵۳۸/۶ تا ۵۷۳/۲، سن $^{207}Pb/^{235}U$ بین ۵۴۶/۷ تا ۵۸۷/۷ و سن $^{207}Pb/^{206}Pb$ بین ۵۸۰/۶ تا ۶۴۴/۱ متغیر است و میانگین سنی $^{206}Pb/^{238}U$ آن‌ها برابر ۵۵۵ میلیون سال پیش (MSWD= ۰/۰۰۵) است (شکل ۹). مقدار U آنها از ۴۶۰ تا ppm ۱۷۸۵ و مقدار Th آنها از ۱۳۰ تا ppm ۵۲۹ و نسبت U/Th نیز از ۲/۵۶ تا ۴/۵۶ متغیر است (جدول ۲).

بحث

مطالعات سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که با وجود تفاوت ترکیب کانی‌شناسی، هر دو توده دارای ویژگی‌های مشابه ژئوشیمیایی هستند، هر دو دارای ترکیب گرانودیوریتی تا گرانیتی بوده، ماهیت کالک‌آلکالن پتاسیم بالا داشته و متاآلومین هستند. هر دو گروه گرانیتوییدهای گل‌گهر از نوع گرانیتوییدهای نوع I هستند. بررسی نسبت U/Th در کانی زیرکن و ریخت‌شناسی آن از لحاظ رنگ، شکل و منطقه‌بندی کاربرد مناسبی در تعیین خاستگاه زیرکن دارد، در زیرکن‌های دگرگونی نسبت U/Th بین ۵ تا ۱۰ و در زیرکن‌هایی با خاستگاه آذرین این نسبت کمتر از ۵ است (Rubatto, 2002). همچنین، بر اساس بررسی ریخت‌شناسی زیرکن، منطقه‌بندی نوسانی (oscillatory zoning) و منطقه‌بندی بخشی (sector zoning) و همچنین، شکل‌دار بودن بلورهای زیرکن از جمله شواهد خاستگاه ماگمایی زیرکن‌هاست (Corfu *et al.*, 2003; Li *et al.*, 2013). با توجه به این‌که بیشتر زیرکن‌های مورد مطالعه نیز شکل‌دار با منطقه‌بندی تقریباً آشکارایی هستند (شکل ۸)، و نسبت U/Th در همه نمونه‌ها پایین‌تر از ۵ است (جدول ۲)، این زیرکن‌ها خاستگاه ماگمایی داشته و می‌توانیم سن‌های U/Pb به‌دست آمده را سن تبلور این توده‌ها بدانیم. بر این اساس هر دو توده مربوط به پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین هستند.

در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در بخش‌های مختلف پهنه سنندج- سیرجان برای یافتن شواهدی از پی‌سنگ پرکامبرین انجام شده که نتایج آن‌ها نیز تاییدکننده حضور این پی‌سنگ در پهنه سنندج- سیرجان است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به سن‌های ۵۷۸-۵۹۸ میلیون سال پیش در منطقه موته گلپایگان، ۵۴۴-۵۵۱ میلیون سال پیش منطقه بابکتان و شیخ‌چوپان در شمال‌باختر پهنه سنندج- سیرجان (Hassanzadeh et al., 2008)، ۶۰۵ میلیون سال پیش منطقه سورسات (Jamshidi Badr et al., 2013)، ۵۴۱ میلیون سال پیش توده نفوذی غازان در بخش انتهایی شمال‌باختر سنندج- سیرجان (Asadpour et al., 2013) اشاره کرد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده ایران که مناطق سن‌سنجی‌شده دارای سن پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین (۵۲۰-۶۰۰ میلیون سال پیش) با علامت ستاره علامت گذاری شده است و اعداد نشانگر سن سنجی زیرکن به روش U-Pb (سن کمپلکس سورسات Jamshidi Badr و همکاران (۲۰۱۳)، خوی از Azizi و همکاران (۲۰۱۱) و سایر سن‌های ارائه شده از Hassanzadeh و همکاران (۲۰۰۸) است (Shafaii Moghadam et al., 2015).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که با وجود تفاوت سنگ‌نگاری، توده‌های نفوذی منطقه سیرجان دارای ویژگی‌های مشترک ژئوشیمیایی هستند. همچنین، سن‌های نزدیک به‌هم به‌دست آمده از زیرکن‌های گرانیتوییدهای مختلف می‌تواند بیانگر این مسئله باشد که این توده‌ها در یک محدوده زمانی و در یک واقعه زمین‌ساختی مشابه و در طی کوهزایی پان‌آفریکن، هم‌زمان با تبلور و پایداری پی سنگ پرکامبرین در ایران تشکیل شده‌اند و تفاوت‌های سنگ‌نگاری به‌علت تفاوت در ویژگی‌های سنگ‌مادر اولیه آن‌هاست. سن‌های U-Pb به‌دست آمده در این پژوهش تاییدی بر حضور پی‌سنگ پرکامبرین در منطقه گل‌گهر، که تقریباً در کرانه جنوب‌خاوری پهنه سنندج- سیرجان واقع شده است، است. با استفاده از نتایج این پژوهش و پژوهش‌های پیشین در بخش‌های مختلف پهنه سنندج- سیرجان می‌توان گفت که پی‌سنگ پرکامبرین در همه پهنه سنندج- سیرجان ممکن است وجود داشته باشد.

سپاس‌گزاری

از پروفسور Stefano Poli برای انجام آنالیزهای ریزکاو الکترونی و از خانم Elena Ferrari برای انجام آنالیزهای ژئوشیمی از دانشگاه میلان کمال قدردانی و سپاس را داریم.

منابع

Aghanabati, A. (2004) Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).

Asadpour, M., Pourmoafi, M. and Heuss, S. (2013) Geochemistry, petrology and U-Pb geochronology of Ghazan mafic-ultramafic intrusion, NW Iran. Petrology 4(14): 1-16 (in Persian)

Azizi, H., Chung, S. L., Tanaka, T. and Asahara, Y. (2011) Isotopic dating of the Khoy metamorphic complex (KMC), northwestern Iran: a significant revision of the formation age and magma source. Precambrian Research 185: 87–94.

Chappell, B. W. and White, A. J. R. (2001) Two contrasting granite types: 25 years later. Australian Journal of Earth Sciences 48: 489–499.

Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O. and Kinny, P. (2003) Atlas of Zircon Textures. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 53: 469-500.

Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1963) Rock forming minerals. John Wiley and Sons, New York.

Frost, B. R., Barnes, C. G., Colins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. and Frost C. D. (2001) A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology 42: 2033-2048.

Ghorbani, M. (2002) The history of economic geology of Iran. Iran Zamin Publication, Tehran, Iran (in Persian).

Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Horton, B. K., Axen, G. J., Stockli, L. D., Grove, M., Schmitt, A. K. and Walker, J. D. (2008) U-Pb zircon geochronology of late Neoproterozoic- Early Cambrian granitoids in Iran: Implications for paleogeography, magmatism, and exhumation history of Iranian basement. Tectonophysics 451: 71-96.

Hawthorne., F. C. and Oberti, R. (2006) On the classification of amphiboles: The Canadian Mineralogist 44: 1-21.

Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. (1971) Guide to the chemical classification of the common volcanic.

www.SID.ir

Archive of SID

Canadian Journal of Earth Science 8: 523-545.

Jamshidi Badr, M., Masoudi, F., Collins, A. S. and Cox, G. (2010) Dating of Precambrian Meta sedimentary Rocks and Timing of their Metamorphism in the Soursat Metamorphic Complex (NW IRAN): Using LA-ICP-MS, U-Pb Dating of Zircon and Monazite. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran 21(4): 311-319.

Jamshidi Badr, M., Masoudi, F., Collins, A. S., Cox, G. and Mohajjel, M. (2013) The U-Pb age, geochemistry and tectonic significance of granitoids in the Soursat Complex, Northwest Iran. Turkish Journal of Earth Science 22(1): 1-31.

Kamali, A. (2001) Survey No. 4 ore anomalies Gole- Gohar Iron mine Sirjan. 4th Economic Geology Congress, Khorasgan, Iran (in Persian).

LeMaitre, R. W. (2002) Igneous rocks: a classification and glossary of terms. Recommendations of the IUGS sub commission on the Systematics of Igneous Rocks. 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge.

Li, H., Watanabe, K. and Yonezu, K. (2013) Zircon morphology, geochronology and trace element geochemistry of the granites from the Huangshaping polymetallic deposit, South China: Implications for the magmatic evolution and mineralization processes. Ore Geology Reviews 60: 14–35.

Maniar, P. D. and Piccoli, P. M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids, Geological Society of America Bulletin 101: 635-643.

Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R. (2003) Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21: 397–412.

Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. (2005) Microtectonics. 2nd edition, Springer, Verlag, Berlin.

Robertson, A. H. F. and Dixon, Z. (1984) Introduction: Aspects of geological evolution of the eastern Mediterranean. Geological Society, London, Special Publications, 17: 1-74.

Rubatto, D. (2002) Zircon trace element geochemistry; partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism. Chemical Geology, 184: 123– 138.

Sabzehei, M., Rowshan Ravan, J., Eshraghi, S. A. and Navazi, M. (1993) Geological map of Gole Gohar, Neyriz, Sirjan and Khabr 1:100000. Geological Survey of Iran, Tehran.

Şengör, A. M. C., Yilmaz, Y, Sungurlu O (1984) Tectonics of the mediterranean Cimmerids: nature and evolution of the western termination of Palaeo-Tethys. In: The geological evolution of the eastern Mediterranean (Eds. Dixon, J. E. and Robertson, A. H. F.) Special Publication 17:77-112. Geological Society, London.

Shafaii Moghadam, H., Khademi, M., Hu, Z., Stern, R. J., Santos, J. F. and Wu, Y. (2015) Cadomian (Ediacaran-Cambrian) arc magmatism in the ChahJam–Biarjmand metamorphic complex (Iran): Magmatism along the northern active margin of Gondwana. Gondwana Research, 27(1): 439-452.

Sheikholeslami, M. R. (2002) Evolution structurale et me´tamorphique de lamarge sud de la microplaque de l'Iran central: les complexesme´tamorphiques de la re´gion de Neyriz (Zone de Sanandaj-Sirjan), The`se, universite´de Brest.

Siivola, J. and Schmid, R. (2007) List of Mineral Abbreviations, Recommendations by the IUGS Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.07

Stern, R. and Johnson, P. (2010) Continental lithosphere of the Arabian Plate: A geologic, petrologic, and geophysical synthesis. Earth-Science Reviews 101: 29-67.

Ustaömer, P. A., Ustaömer, T., Collins, A. S. and Robertson, A. H. F. (2009) Cadomian (Ediacaran-

www.SID.ir

Archive of SID

Cambrian) arc magmatism in the Bitlis Massif, SE Turkey: Magmatism along the developing northern margin of Gondwana. Tectonophysics 473: 99-112.

Valeh, N., Sabzehei, M., Majidi, B., Alavi Tehrani, M., Ricou, L. E., Amidi, S. M., Ghorashi, M., Etminan, H. and Watters, W. A. (1984) Geological map of Neyriz 1:250000. Geological Survey of Iran, Tehran.

www.SID.ir

Archive of SID

The presence of Precambrian basement in Gole Gohar of Sirjan (south of Iran)

Elham Safarzadeh [1], Fariborz Masoudi [1]*, Jamshid Hassanzadeh [2] and Seyed Mohammad Pourmoafi [1]

[1] Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran
[2] Division of Geological, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125, United States

Abstract

The mylonitic granitoids of Gole Gohar, south east of Sirjan, are located in a key area which their study is important for understanding the history of Precambrian basement of Sanandaj-Sirjan zone and its metamorphic and magmatic evolution during the subduction of Neo- Tethys. Field studies show that these granitoids are located in the basement of the metamorphic rocks such as metapelite, calc schist and amphibolite. In this Study the granitoidic intrusions are classified in two types based on lithology and their geochemistry. Type I is garnet- biotite granitoid and type II is hastingsite granitoid. Both of these granites show some evidence of mylonitic fabric, which is more clear in garnet- biotite granitoid. These plutons are Meta aluminous, I Type granitoid and have high K calc-alkaline nature. Based on U-Pb dating of zircon, the age of all granitoids is between 538.6–580.7 Ma (Late Precambrian- Early Cambrian). Based on the results of this study, despite the mineralogical and geochemical differences, all granitoidic intrusions formed in the Precambrian during the Pan African orogeny. The old age of the granitoids is similar to those introduced in other parts of Sanandaj-Sirjan zone that may indicate the presence of Precambrian basement in almost the entire Sanandaj-Sirjan zone.

Key words: Zircon dating, Precambrian basement, Gole Gohar mylonitic granitoids, Sanandaj-Sirjan zone

* f_masoudi@sbu.ac.ir

Copyright©2016, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/BY-NC-ND/4.0), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

www.SID.ir