

# پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین موجود در سازند قرمز زیرین، منطقه گرمسار

حبیب‌الله قاسمی<sup>(۱\*)</sup> و محمد برهمند<sup>۲</sup>

۱. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. کارشناس ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۲۶

## چکیده

در داخل سازند قرمز زیرین در منطقه گرمسار، توده‌های بازیک نیمه‌عمیق متعددی برونزد دارند. این توده‌ها دارای ترکیبات گابرویی تا دیوریتی بوده و بافت‌های گرانولار، اینترگرانولار، افیتیک و ساب افیتیک دارند. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها را پلاژیوکلاز، کلینوپروکسن اورژی، آمفیبول و بیوتیت و کانی‌های فرعی و عارضه‌ای آن‌ها را الیون، فلوگوپیت، آلکالی‌فلدسپار، آپاتیت، مگنتیت و اسفن تشکیل می‌دهند. از کانی‌های ثانویه آن‌ها نیز می‌توان به سرپانتین، زئولیت، کلریت، سریسیت، پرهنیت، اسفن، اورالیت، کوارتز و کلسیت اشاره کرد.

این سنگ‌ها در نمودارهای رده‌بندی شیمیایی در قلمرو گابرو - دیوریت و سری آلکالن قرار می‌گیرند. روندهای ژئوشیمیایی نمونه‌ها در نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در مقابل ضریب تفریق و نمودارهای عناصر ناسازگار - ناسازگار و سازگار - بیان‌گر ارتباط تفریقی بین نمونه‌هاست. در نمودارهای بهنجار شده به کندریت و گوشته اولیه، غنی‌شدگی از LREEs و LILEs، تهی‌شدگی از HREEs، نبود نابه‌هنجاری Eu، وجود نابه‌هنجاری مثبت در عناصر K, Sr, Rb, Ba، در همه نمونه‌ها و تهی‌شدگی شدید برخی نمونه‌ها از Nb و Ta و فقدان تهی‌شدگی آن‌ها از Ti و P از ویژگی‌های بارز این سنگ‌هاست. این امر بیان‌گر آرایش پوسته‌ای ماگمای مافیک گوشته‌ای سازنده این سنگ‌هاست. این سنگ‌ها فاقد ویژگی‌های شاخص سنگ‌های وابسته به فرورانش بوده و بیشتر خصوصیات ماگماهای بازالتی آلکالن محیط‌های پشت کمانی (BAB) اولیه را نشان می‌دهند. نمودارهای مختلف تعیین محیط تکنونوماگمایی نیز وابستگی آن‌ها به بازالت‌های پشت کمانی را تأیید می‌کنند. به نظر می‌رسد که ماگمای بازیک اصلی و اولیه این سنگ‌ها، در یک محیط کششی پشت کمانی اولیه و از ذوب بخشی یک منبع گوشته‌ای غنی‌شده، در زیر لیتوسفر قاره‌ای ایران مرکزی در زمان الیگوسن پسین به وجود آمده و در بخش پایین سازند قرمز زیرین نفوذ کرده باشد.

**واژه‌های کلیدی:** پترولوژی، ژئوشیمی، حوضه کششی پشت کمان اولیه، سازند قرمز زیرین، گرمسار.

## مقدمه

و در حدفاصل بین دو زون زمین‌ساختی ایران مرکزی و البرز قرار دارد (شکل ۱). محققین مختلفی از جمله بربریان و یاسینی (۱۹۸۳)، Jackson et al. (1990)، شهریاری و همکاران (۱۳۷۸)، اسدیان و همکاران (۱۳۸۶)، Kazmin and Tikhonova (2008)، Reuter et al. (2007)، Verdle (2009)، Bin and Meiyin

منطقه مورد مطالعه، بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ گرمسار (امینی و رشید، ۱۳۸۳) است که در مختصات جغرافیایی ۵۲° ۰۰' تا ۵۲° ۲۰' طول شرقی و ۱۰' ۳۵° تا ۲۰' ۳۵° عرض شمالی، در ۱۵ کیلومتری غرب و شمال غرب شهرستان گرمسار

\* نویسنده مرتبط h-ghasemi@shahroodut.ac.ir

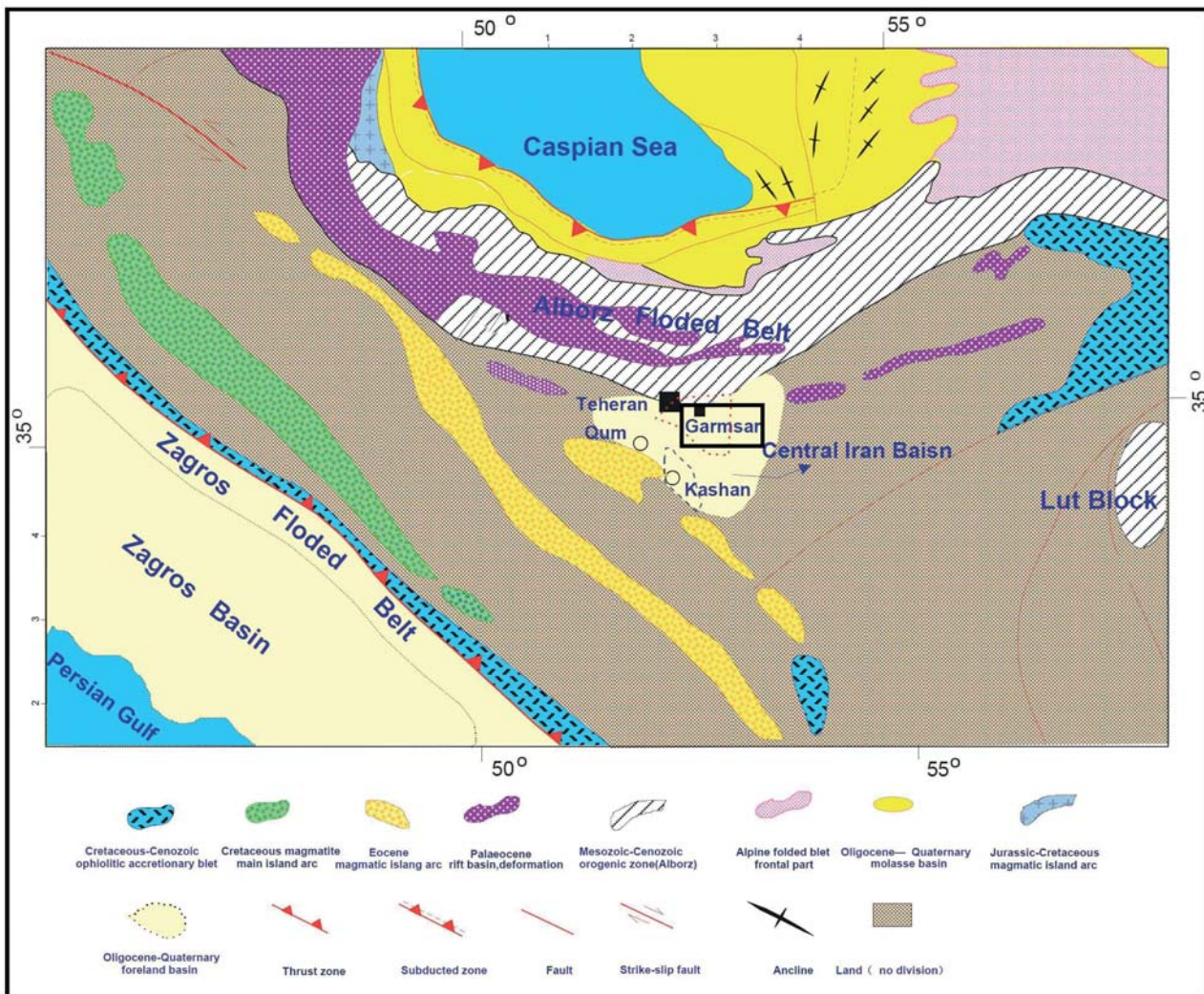
قرمز فوقانی رسوب‌گذاری کرده است. به‌نظر علیجانی (۱۳۷۸)، سازند قرمز زیرین در یک کرانه دریایی حاشیه‌ای کم‌عمق (با عمق حدود ۲۰ متر) و با ابعاد حوضه‌ای وسیع تشکیل شده و فرونشست حوضه، هم‌زمان با نهشته شدن تبخیری‌ها، منجر به انباشته شدن حجم عظیمی از رسوبات بر روی یکدیگر شده است.

### زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

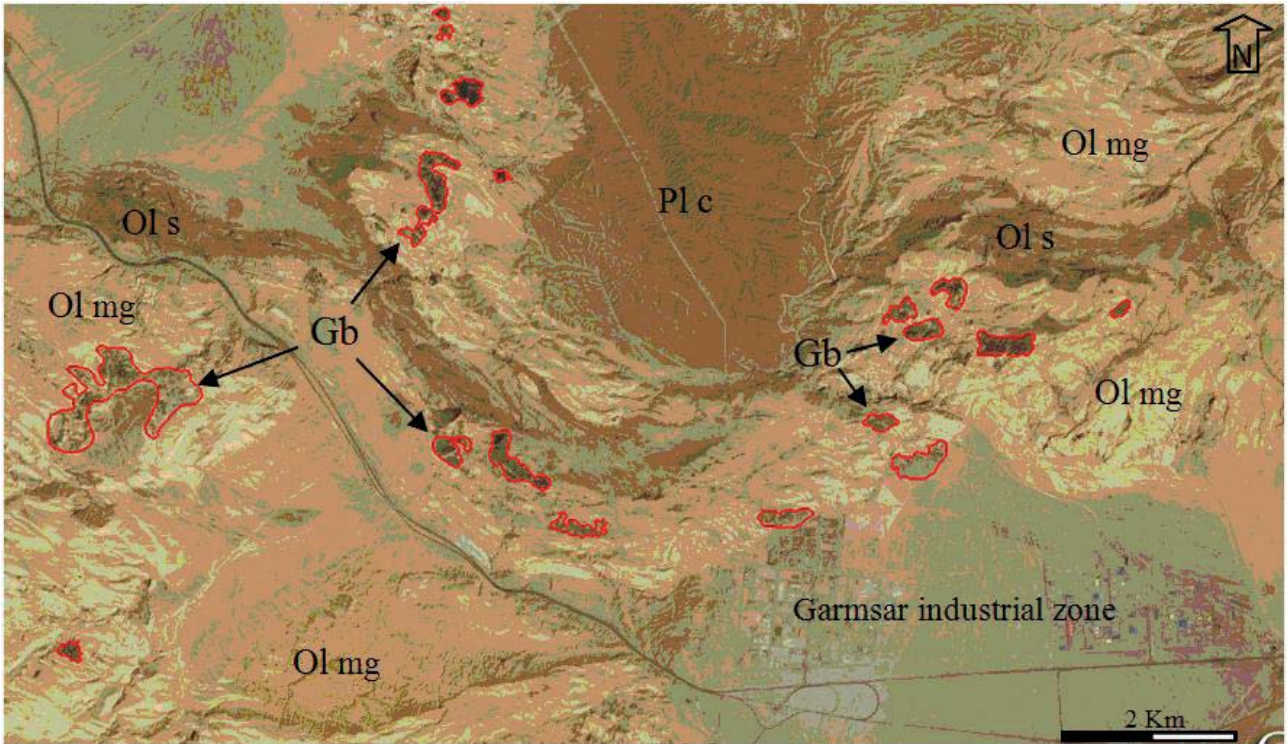
مجموعه‌های آذرین نیمه‌عمیق این منطقه شامل توده‌های متعدد گابرویی و دیوریتی هستند که به‌صورت سیل، دایک و استوک‌های کوچک (شکل‌های ۱ و ۳- الف و ب)، به درون واحد مارنی - ژیبسی (Olmg) سازند قرمز زیرین در عمق کم نفوذ کرده و به‌دلیل ماهیت خشک، عمق کم تزریق، حجم کوچک توده‌ها و سرد شدن سریع آن‌ها، صرفاً سبب پختگی در سنگ‌های میزبان شده‌اند، اما در واحدهای بالاتر از جمله سازند قم دیده نمی‌شوند. بنابراین، سن تزریق این توده‌ها را می‌توان به الیگوسن میانی - پسین نسبت داد (برهمند، ۱۳۸۹). در تحقیقات پیشین، این

(2010) و برهمند (۱۳۸۹) جایگاه زمین‌ساختی حوضه گرمسار را یک محیط کششی پشت کمانی اولیه نابالغ در زمان الیگوسن - میوسن، در پشت کمان ماگمایی اصلی ارومیه - دختر در نظر گرفته‌اند.

سازند قرمز زیرین در منطقه گرمسار شامل توالی ضخیمی از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و مارن‌های ژیبس‌دار قرمز رنگ، به همراه لایه‌های نمکی می‌باشد که در آن یک سری توده‌های آذرین بازیک - حدواسط نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). بربریان و یاسینی (۱۹۸۳)، جایگاه زمین‌ساختی گستره تبخیری شمال و غرب گرمسار را یک فروزمین واقع در حاشیه شمالی حوضه پشت کمانی ایران مرکزی در نظر گرفته‌اند. به اعتقاد اسدیان و همکاران (۱۳۸۶)، این فروزمین شرقی - غربی، در امتداد بخشی از مرز البرز جنوبی با ایران مرکزی (ایوانکی تا سرخه)، قابلیت فرونشست تدریجی و فعالیت‌های آذرین آکالن داشته است. این وضعیت تا رسوب‌گذاری سازند قم ادامه یافته، اما به دنبال پسروی دریای قم و برقراری رژیم فشارشی در حوضه پشت کمانی ایران مرکزی، به تدریج شرایط قاره‌ای حاکم گشته و سازند



شکل ۱. موقعیت منطقه گرمسار در بخشی از نقشه زمین‌ساختی ایران (Bin and Meiyin, 2010).



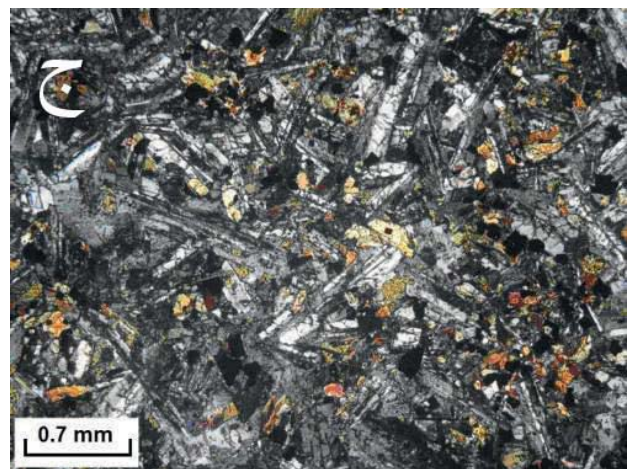
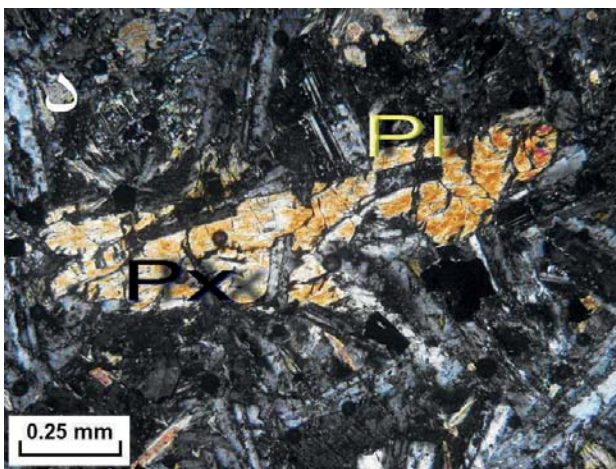
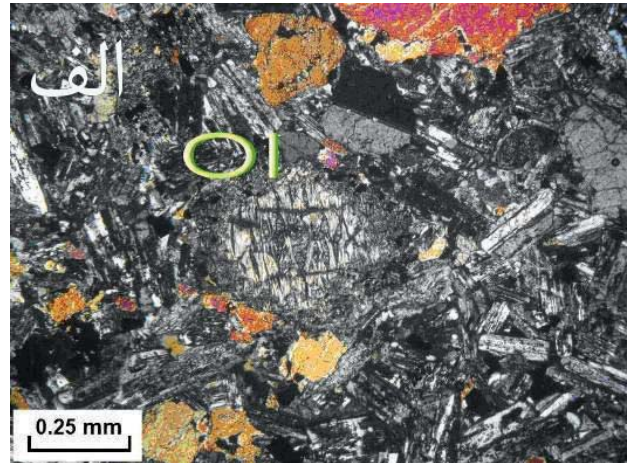
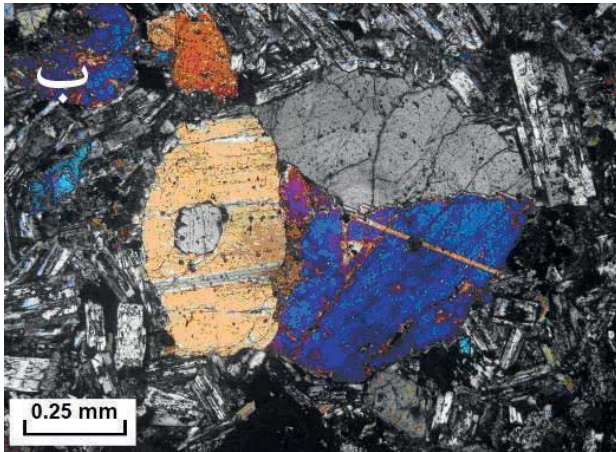
شکل ۲. تصویر ماهواره‌ای بخشی از منطقه مورد مطالعه در شمال و غرب شهرک صنعتی گرمسار. Olmg = مارن‌های گچ‌دار الیگوسن، Gb = گابرو/دیوریت‌های الیگوسن که با رنگ تیره در داخل مارن‌ها مشخص هستند، Ols = ماسه‌سنگ‌های الیگوسن و Plc = کنگلومرای پلیوسن.

و کانی‌های فرعی و عارضه‌ای آن‌ها نیز شامل، الیوین، فلوگوپیت، آپاتیت و مگنتیت می‌باشند. از کانی‌های ثانویه آن‌ها می‌توان به سرپانتین، زئولیت، کلریت و سیریسیت اشاره کرد. دیوریت‌ها از نظر بافتی متنوع‌ترند و در آن‌ها بافت‌های گرانولار، اینترگرانولار، ساب‌افیتیک و افیتیک مشاهده می‌شود. کانی‌های اصلی و فرعی دیوریت‌ها شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن اوزیتی، بیوتیت، آمفیبول، فلدسپارپتاسیم، آپاتیت، مگنتیت و اسفن می‌باشند. همچنین، کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها را کلریت، پرهنیت، اسفن، اورالیت، کوارتز و کلسیت تشکیل می‌دهند (شکل ۴).

سنگ‌های نیمه‌نفوذی را شهریاری و همکاران (۱۳۷۸)، صفایی (۱۳۷۹) و امینی و رشید (۱۳۸۳) تحت عناوین آکالی بازالت، میکروآکالی بازالت و دیاباز، به صورت آتشفشانی‌های زیردریایی و دایک معرفی کرده‌اند، اما مشاهدات صحرائی و بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهند که توده‌های مذکور عمدتاً از نوع نفوذی‌های گابرویی - دیوریتی بوده و آتشفشانی نیستند. از لحاظ پتروگرافی، گابروها دارای بافت‌های میکروگرانولار - گرانولار، پورفیروئیدی و اینترگرانولار هستند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن اوزیتی



شکل ۳. الف) نمای از یک استوک کوچک گابرودیوریتی در داخل سازند قرمز زیرین در شمال شهرک صنعتی فجر گرمسار. ب) نمای نزدیک از مرز نفوذی یک توده گابرودیوریتی با سازند قرمز زیرین و پختگی گچ‌ها در محل تماس.



شکل ۴. بافت‌ها و کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های گابرو/دیوریتی منطقه گرمسار، (الف) بافت اینترگرانولار به همراه بلور الیون دگرسان شده به سرپانتین در گابروها (نور XPL). (ب) بافت پورفیروئید - اینترگرانولار متشکل از بلورهای درشت و ریز پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن اوزیتی در سنگ‌های گابرویی منطقه، (نور XPL). (ج) بافت اینترگرانولار ناشی از قرارگیری بلورهای ریز کلینوپیروکسن در بین بلورهای پلاژیوکلاز در دیوریت‌ها (نور XPL). (د) بافت ساب افیتیک متشکل از پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن اوزیتی در سنگ‌های دیوریتی منطقه (نور XPL).

است (Thornton and Tattle, 1960). در تمامی این نمودارها، بین نمونه‌های گابرو/دیوریتی یک روند خطی منطبق بر خط نزول مایع وجود دارد که بیانگر انجام تبلور تفریقی در یک ماگمای والد گابرویی است. بر این اساس، با افزایش ضریب تفریق، مقادیر  $Fe_2O_3$ ,  $SiO_2$  (آهن کل) و  $Na_2O+K_2O$ , Ba, Sr, Ce افزایش و مقادیر  $CaO$ , Cr, V, Ni, MgO,  $Al_2O_3$  کاهش می‌یابند. نظر به این‌که در جریان فرایند تبلور تفریقی، مقادیر عناصر ناسازگار و نسبت آن‌ها به انواع سازگار، در مذاب باقیمانده افزایش و برعکس مقادیر عناصر سازگار کاهش می‌یابند، لذا از این نوع نمودارها نیز برای تأیید منشأ تفریقی نمونه‌ها استفاده شده است. به اعتقاد Rogers et al. (1984)، روندهای خطی افزایش در نمودارهای عناصر ناسازگار - ناسازگار که از مبدأ نمودار می‌گذرند و روندهای خطی کاهشی در انواع ناسازگار - سازگار، از مشخصات بارز دخالت فرایند تبلور تفریقی در تحول سنگ‌های ماگمایی است (شکل ۸).

در نمودار به‌هنجار شده به کندریت عناصر نادر خاکی (Boyn-ton, 1984) می‌توان مشاهده کرد: (الف) کلیه نمونه‌های مورد

### ژئوشیمی

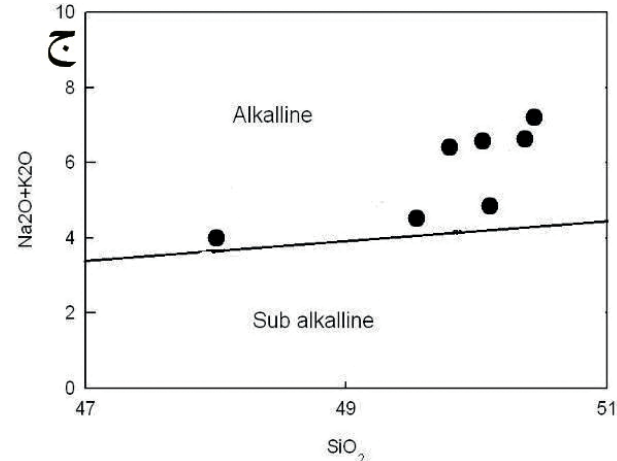
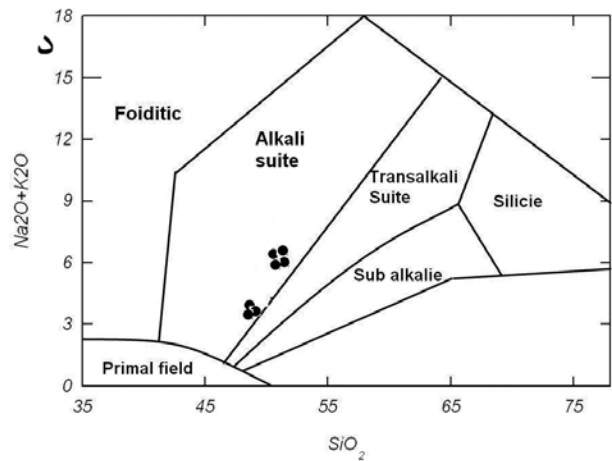
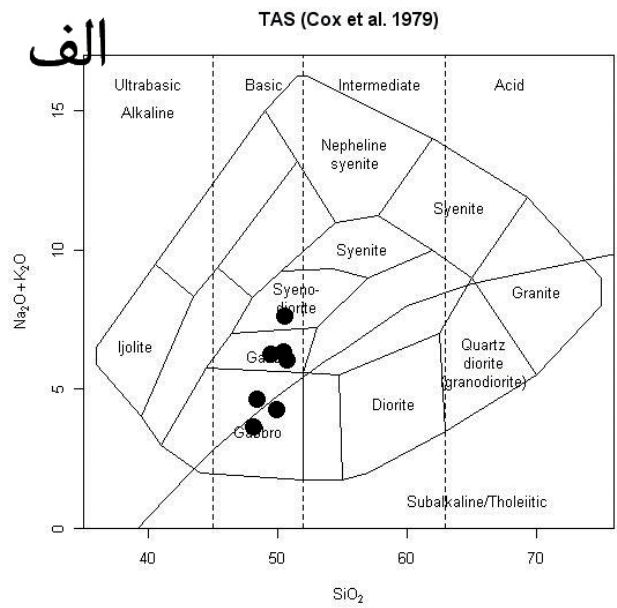
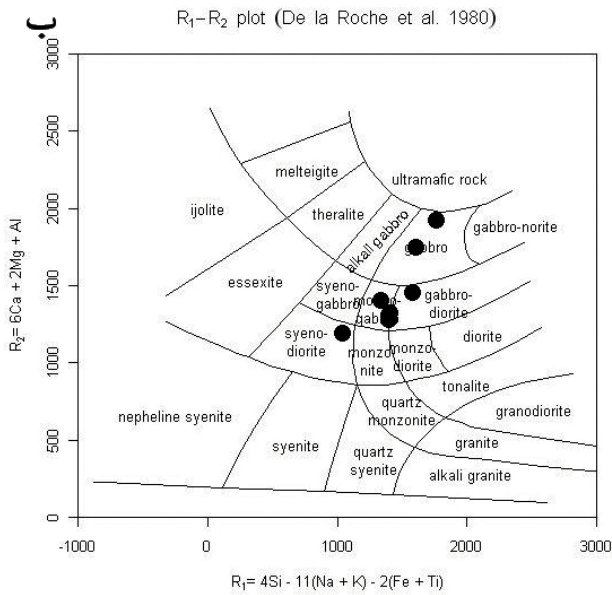
در این پژوهش به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه، تعداد ۷ نمونه از این سنگ‌ها، در آزمایشگاه ALS Chemex کانادا، به روش بسته ترکیبی با کد CCP-PKG01 متشکل از روش ICP-AES برای عناصر اصلی و فلزات پایه و روش ICP-MS برای عناصر نادر خاکی و ناسازگار آنالیز شدند (جدول ۱).

سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه گرمسار در نمودار رده‌بندی شیمیایی (Cox et al. 1979) در محدوده گابرو تا سینودیوریت (شکل ۵-الف) و در نمودار رده‌بندی کاتیونی De la Roche (1980) در قلمرو گابرو، گابرو/دیوریت تا سینودیوریت (شکل ۵-ب) و در نمودارهای تعیین سری ماگمایی Irvine and Baragar (1971) (شکل ۵-ج) و Middlemost (1994) (شکل ۵-د) در محدوده سری آلکالن قرار می‌گیرند.

به منظور بررسی روند تغییرات ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه، از نمودارهای فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی (شکل ۶) و مقادیر عناصر نادر (شکل ۷) در برابر ضریب تفریق استفاده شده

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی  
 نمونه‌های سنگی منطقه گرمسار پس از حذف مواد فرار و تصحیح مقادیر نسبت  $Fe_2O_3/FeO$

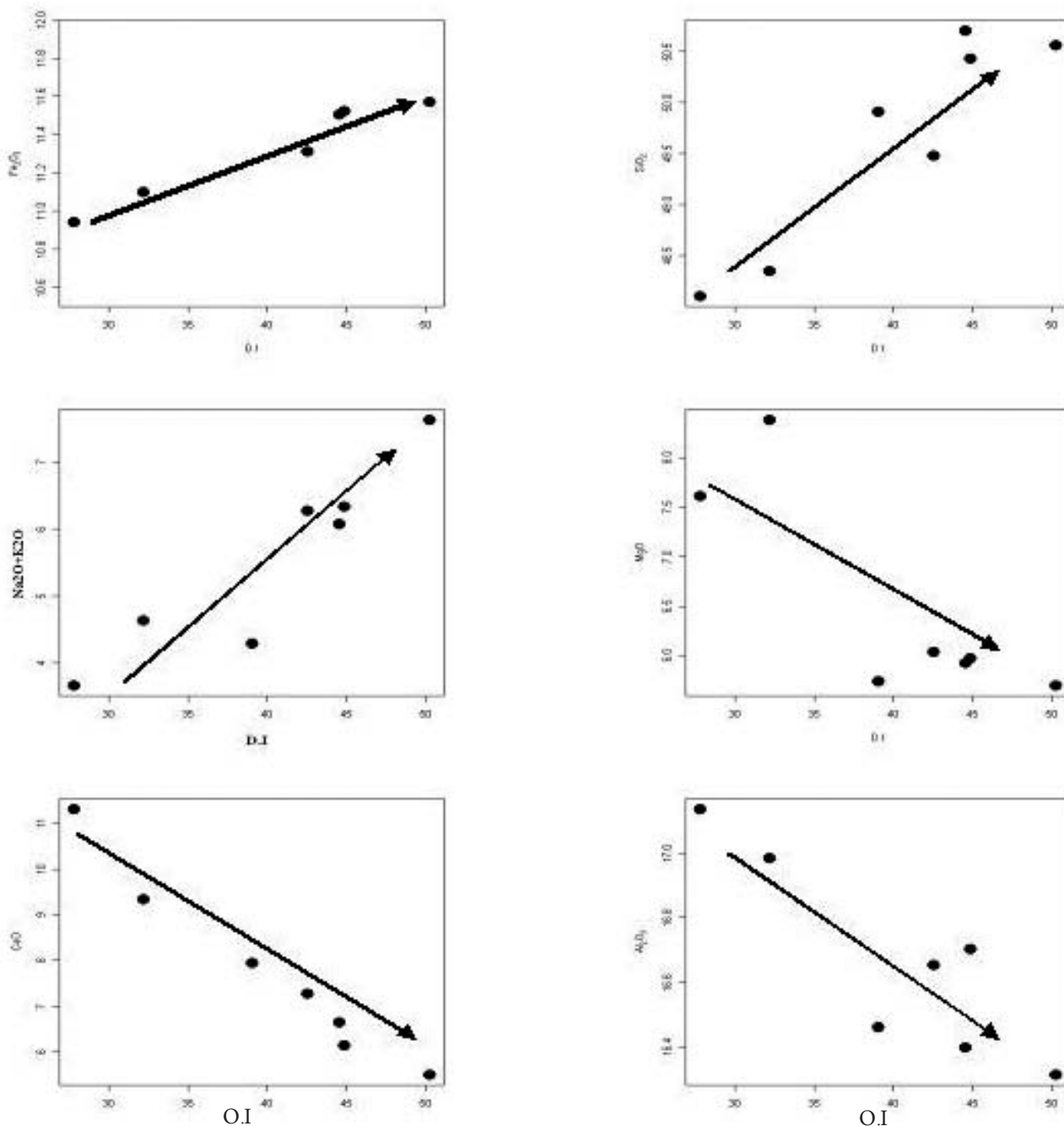
sample	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
Major oxides(Wt%)							
SiO <sub>2</sub>	48.11	48.35	49.48	49.91	50.43	50.56	50.70
TiO <sub>2</sub>	0.87	0.84	1.64	1.72	1.66	1.53	1.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.14	16.99	16.65	16.46	16.70	16.31	16.40
FeOt	10.94	11.10	11.31	12.71	11.52	11.57	11.50
FeO	9.23	9.09	9.58	8.675	8.85	8.79	8.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.85	1.82	2.12	2.60	2.65	2.64	2.99
MnO	0.19	0.21	0.38	0.22	0.33	0.24	0.24
MgO	7.61	8.38	6.04	5.74	5.97	5.70	5.92
CaO	11.30	9.34	7.27	7.95	6.14	5.50	6.65
Na <sub>2</sub> O	2.41	1.90	1.42	3.17	1.25	1.77	1.83
K <sub>2</sub> O	1.26	2.73	4.85	1.12	5.09	5.85	4.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.17	0.95	1.00	0.91	0.96	0.93
Trace elements (ppm)							
Ba	123.5	160.5	723	449	528	817	887
Cs	0.44	0.49	0.12	0.28	0.17	0.35	0.28
Ga	14.2	14.1	16.1	16.5	16.5	17.1	15.7
Hf	1.3	1.3	3.7	3.8	3.9	4.3	3.9
Nb	2.5	2.7	22.6	22.8	24.3	24	24.5
Rb	23.2	39.3	37.3	9.3	33.5	51.7	24.3
Sr	555	728	974	701	1085	2100	1250
Ta	0.20	0.20	1.10	1.2	1.2	1.2	1.2
Th	1.5	1.46	1.5	1.6	1.78	1.77	1.74
U	0.51	0.44	0.48	0.57	0.59	0.61	0.56
V	259	253	182	189	173	171	166
Zr	44	44	165	166	176	193	179
Y	26.6	28.2	26.4	25.7	24.8	14.3	14.8
Co	36.9	38.2	22.1	26.2	25.2	26.4	25.2
Cr	130	140	70	100	80	90	90
Ni	42	42	28	37	31	28	31
Rare earth elements (ppm)							
La	8.6	8.9	37.6	39.3	39.1	42.2	39.7
Ce	19	19.6	81.8	82	83	86.9	85.8
Pr	2.83	2.74	10.55	10.45	10.8	11.05	11.2
Nd	12.1	12.1	40.4	41.3	42	42.7	42.8
Sm	3.08	2.92	7.21	7.87	8.08	8.13	8.12
Eu	0.98	0.97	2.4	2.2	2.35	2.29	2.33
Gd	3.09	3.01	6.65	7.22	7.48	7.19	7.57
Tb	0.52	0.51	0.99	1.08	1.1	1.14	1.08
Dy	2.97	2.82	4.96	5.26	5.53	5.64	5.37
Ho	0.62	0.61	1.01	1.04	1.06	1.12	1.06
Er	1.75	1.75	2.85	3.03	3.08	3.26	3.14
Tm	0.26	0.23	0.38	0.42	0.43	0.46	0.41
Yb	1.52	1.49	2.39	2.51	2.63	2.9	2.57
Lu	0.24	0.23	0.4	0.38	0.42	0.45	0.42
Sm/Yb	2.03	1.96	3.02	3.14	3.07	2.80	3.16



شکل ۵ موقعیت نمونه‌های گابرویدوریتی گرمسار در (الف) نمودار رده‌بندی شیمیایی (Cox et al, 1979)، (ب) نمودار رده‌بندی شیمیایی (De la Roche, 1980)، (ج) نمودار تعیین سری ماگمایی (Irvine and Baragar, 1971)، (د) نمودار تعیین سری ماگمایی (Middlemost 1994).

در مذاب‌ها، به احتمال زیاد می‌تواند ناشی از وجود گارنت در ناحیه منشأ مذاب باشد. همچنین، الگوی نسبتاً مسطح HREEs که در تمامی نمونه‌ها دیده می‌شود، می‌تواند نقش گارنت را در طول ذوب بخشی یک منبع گوشته‌ای گارنت‌دار نشان دهد (Morata et al., 2005). نکته مهم دیگر در الگوی عناصر نادر خاکی نمونه‌ها، نبود ناهنجاری Eu می‌باشد که اساساً توسط پلاژیوکلاز کنترل می‌شود و به فوگاسیته اکسیژن وابسته است. خروج فلدسپار در اثر تفریق بلوری در شرایط فوگاسیته پایین اکسیژن، باعث ایجاد ناهنجاری منفی Eu در مذاب باقیمانده می‌شود. پلاژیوکلاز از کانی‌های اصلی و فراوان موجود در سنگ‌های گابرویدوریتی منطقه است و نبود ناهنجاری Eu، نشان می‌دهد که تفریق آن نقش چندانی در تحول ماگمای سنگ‌های منطقه نداشته و یا این‌که تبلور و تفریق این کانی در شرایط فشار پایین رخ داده است. در نمودار چندعنصری (عنکبوتی) به‌هنجار شده به کندریت (Thompson, 1982) نیز: (الف) تمامی نمونه‌های نفوذی

بررسی به طور نسبی از عناصر نادر خاکی سبک (LREEs)، غنی‌شدگی و از عناصر نادر خاکی سنگین (HREEs)، تهی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۹). (ب) میزان نسبت تمامی این عناصر در نمونه‌های تفریقی تا ده برابر بیشتر از مقادیر آن‌ها در نمونه‌های تفریق نیافته‌تر است. (پ) طرح کلی نمودار هردو گروه سنگی تفریق یافته و تفریق نیافته به موازات همدیگر است. (ت) شیب نمودارهای نمونه‌های تفریق یافته (یعنی نسبت LREEs/HREEs) بیشتر از شیب نمودارهای ترکیبات اولیه است. تمامی این ویژگی‌ها حاکی از منشأ تفریقی نمونه‌ها و اشتقاق آن‌ها از یک منبع ماگمایی بازیک‌تر سازنده گابروها می‌باشد. زیرا عناصر نادر خاکی سبک نسبت به فازهای تبلور یافته اولیه (نظیر الیون، منیتیت، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و ...) ناسازگارند و در خلال تفریق، به‌طور فزاینده‌ای در مایعات باقیمانده تحول یافته‌تر متمرکز می‌شوند. به‌علاوه، تهی‌شدگی نسبی عناصر نادر خاکی سنگین (HREEs) نسبت به عناصر نادر خاکی سبک (LREEs)



شکل ۶ موقعیت نمونه‌های گابرویدوریتی منطقه گرمسار در نمودارهای تغییرات عناصر اصلی در برابر ضریب تفریق (Thornton and Tattle, 1960).

موقعیت نمونه‌ها در نمودار چندعنصری بهنجار شده به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) نیز ضمن تأیید تمامی ویژگی‌های ذکر شده در نمودار شکل ۱۰، نابهنجاری مثبت از عناصر لیتوفیل بزرگ یون و نابهنجاری منفی Nb را که می‌تواند ناشی از آرایش پوسته‌ای ماگما باشند، در تمام نمونه‌ها نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

در خصوص نابهنجاری مثبت Sr در سنگ‌های آذرین منطقه می‌توان به ذوب پلاژیوکلاز موجود در ناحیه منشأ ماگما (مثلاً پلاژیوکلاز - اسپینل لرزولیت) (Defant and Drummond, 1990) و یا به حضور فراوان پلاژیوکلاز در این سنگ‌ها اشاره

منطقه گرمسار از LREEs و عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILs) غنی‌شدگی و از HREEs تهی‌شدگی نشان می‌دهند و طرح نمودار هردو گروه سنگی نیز به موازات همدیگر است (شکل ۱۰)، (ب) نمونه‌های تفریق‌یافته در مقایسه با نمونه‌های اولیه، در مجموع از تمامی عناصر نادر خاکی غنی‌ترند، (پ) در هردو سری سنگی، غنی‌شدگی از K، Ba، Rb و Sr دیده می‌شود، (ت) نمونه‌های گابرویی از Nb و Ta تهی‌شدگی شدید و از Zr تهی‌شدگی ناچیز دارند ولی از Ti و P هیچ‌گونه تهی‌شدگی نشان نمی‌دهند، (ث) نمونه‌های تفریق‌یافته از هیچکدام از عناصر Nb، Ta، Zr، P و Ti تهی‌شدگی شاخصی ندارند.