



## ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی توده‌های گرانیتوئیدی کرتاسه غرب سامن و جنوب آوزمان (غرب ملایر) براساس تجزیه سنگ کل و شیمی کانی بیوتیت

پروانه راموز<sup>\*</sup>، رضا زارعی سهامیه<sup>آ</sup>، ندا ماسوری<sup>ب</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم‌آباد، ایران

۲- استادیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- مدرس مدعو پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: sh\_8235011@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۲/۱۷، پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۶/۸

### چکیده

توده گرانیتوئیدی جنوب آوزمان با سن کرتاسه در غرب ملایر قرار دارد و از نظر زمین‌ساختی به عنوان بخشی از حوادث پلوتونیسم پهنه سنندج-سیرجان به‌شمار می‌رود. تزریق این توده در رسوبات تریاس بالا-ژوراسیک زیرین با دگرگونی درجه خفیف باعث ایجاد هاله‌های دگرگونی متشکل از هورنفلس و اسکارن کانه‌دار در منطقه شده است، با توجه به شواهد صحرایی و سنگ‌نگاری، پیکره اصلی این توده از سنگ‌های گرانودیوریتی، مونزوگرنیتی و کوارتزیدیوریتی متوسط تا درشت‌دانه همراه با مقادیری فرعی تونالیت و سینوگرنیت تشکیل شده‌اند. دایک‌های متعدد آپلیتی و کوارتزی، توده نفوذی و سنگ‌های میزبان را قطع کرده‌اند. بافت غالب توده دانه‌ای و پورفیروئید است. در این تحقیق علاوه بر سنگ کل از تجزیه کانی بیوتیت برای بررسی ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی توده استفاده شد. نتایج حاصل از سنگ کل و تجزیه کانی‌ها نتایج مشابهی را نشان دادند. از نظر شیمیایی، ماگمای تشکیل‌دهنده این توده از نوع کالک آلکان و غنی از پتاسیم است. از نظر درجه اشباع از آلومینیم، در محدوده پرآلومین تا کمی متاآلومین قرار می‌گیرد و ماهیت غالباً S-type را نشان می‌دهد، اما تمایلاتی به I-type نیز مشاهده می‌شود. توده گرانیتوئیدی منطقه با استفاده از ترکیب بیوتیت، ماهیت کالک آلکان و پرآلومین دارد و محیط زمین‌ساختی کمان ماگمایی را آشکار ساخته است. غنی‌شدگی نمونه‌های مورد مطالعه از LREE نسبت به HREE و تهی‌شدگی از عناصر Nb، Sr، P، Ti و واقع شدن آنها در محدوده VAG حاکی از آن است که توده گرانیتوئیدی منطقه در محیط کمان آتشفشانی و در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر صفحه ایران تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: گرانیتوئید، کالک آلکان، پرآلومین، کمان آتشفشانی، سنندج-سیرجان، آوزمان

سامن انجام داد. پس از آن مجیدی، (۱۳۷۵) و سپس حسین‌پور، (۱۳۸۲)

همان توده را بررسی کردند و دگرشکلی و فازهای مختلف آن نیز بررسی شده‌است. دیوسالار، (۱۳۸۷) و احدنژاد، (۱۳۸۹) توده‌های گرانیتوئیدی جنوب ملایر را بررسی کردند و همچنین (Mahmoudi et al., 2011) با تعیین سن توده‌های گرانیتوئیدی بخش شمالی پهنه سنندج-سیرجان توانستند طول دوره کوهزایی و ماهیت توده‌های منطقه را تخمین بزنند.

### ۲- روش تحقیق

استفاده از شیمی کل سنگ برای بررسی ژئوشیمی توده‌های گرانیتوئیدی بسیار متداول است، امروزه با مطالعه شیمی کانی‌های مختلف سنگ‌های تشکیل‌دهنده یک توده نفوذی می‌توان شرایط دما، فشار (عمق) تشکیل و سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی سنگ‌ها را برآورد کرد. در این مقاله سعی شده با استفاده از تجزیه سنگ کل و همچنین براساس داده‌های میکروپروپ کانی بیوتیت تشکیل‌دهنده سنگ به بررسی خصوصیات ژئوشیمی و زمین‌ساختی سنگ‌های منطقه و تعیین نام دقیق کانی پرداخته شود.

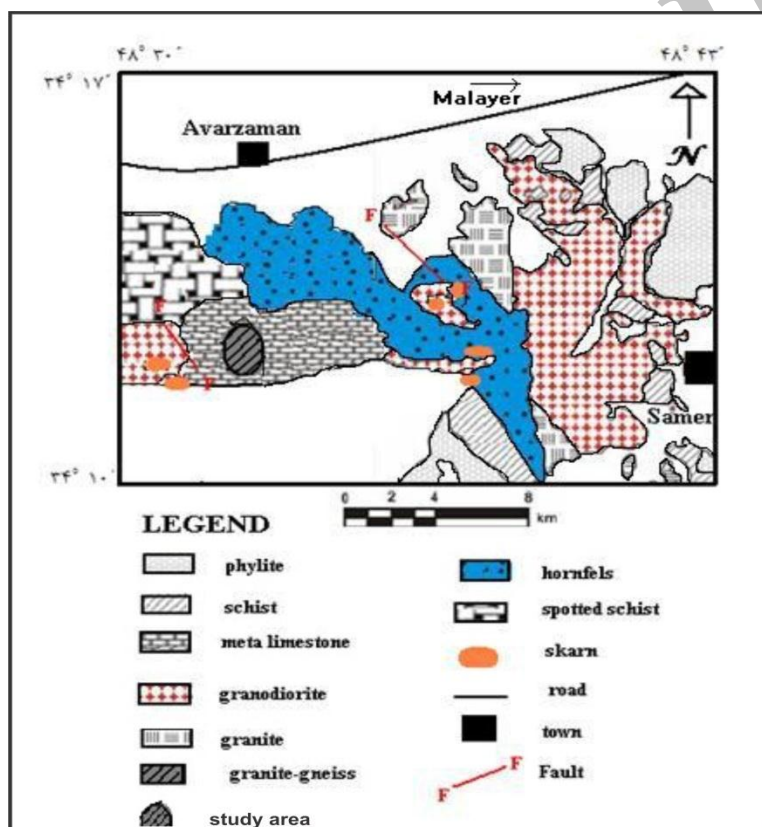
توده‌های گرانیتوئیدی در غرب ملایر و بخشی از پهنه زمین‌ساختی سنندج-سیرجان رخنمون دارند. پهنه سنندج-سیرجان، جزو ناآرام‌ترین و پرتکاپوترین پهنه ساختاری ایران به‌شمار می‌رود که در ادوار مختلف، مورد هجوم توده‌های متعدد گابرویی و گرانیتوئیدی بوده است. اما در مناطق شمال غربی این پهنه، که محدوده مورد مطالعه نیز در آن واقع شده، گرانیت‌های ژوراسیک بالایی و کرتاسه بالایی تا پالئوسن فراوانی بیشتری دارند. پهنه سنندج-سیرجان به‌صورت یک نوار با روند شمال غرب-جنوب شرق در شمال شرق زاگرس رورانده قرار گرفته است. طول آن ۵۰۰ کیلومتر و پهنای آن ۱۵۰-۲۰۰ کیلومتر است و در ارتباط با بسته‌شدن اقیانوس نئوتیس به علت باز شدن دریای سرخ به‌همراه ماگماتیسیم کالک آلکان بوده است (Berberian & King, 1981; Alavi, 1994). توده نفوذی که در بخش شمالی این پهنه دارای گسترش بیشتری بوده توسط محققان بررسی شده است که اولین مطالعات را مدنی، (۱۳۵۹) بر روی توده نفوذی در

شرقی و  $۱۰' ۳۴''$  تا  $۱۷' ۳۴''$  عرض شمالی در جنوب غرب ملایر قرار دارد و از نظر تقسیم‌بندی ساختاری پوسته زمین‌شناسی ایران، در بخش شمالی غربی پهنه سندانج- سیرجان قرار دارد. قدیمی‌ترین نهشته‌های این منطقه به ترتیب از پایین به بالا شامل سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های رسوبی دگرگون شده در حد رخساره شیست سبز خفیف (پهنه کلریت) به همراه لایه‌های ضخیم سنگ آهک دگرگون شده با رنگ روشن است (شکل ۱). بیشتر رخنمون‌های سنگی منطقه را فیلیت و اسلیت‌های ژوراسیک با رنگ خاکستری تیره تشکیل داده‌اند که تپه‌ها و بلندی‌های کم‌ارتفاع منطقه را به وجود آورده‌اند. توده‌های گرانیتوئیدی در کرتاسه پسین، به درون سنگ‌های رسوبی و دگرگونی ناحیه‌ای منطقه (سنگ آهک متبلور، اسلیت و فیلیت) متعلق به تریاس بالا- ژوراسیک زیرین تزریق شده و باعث ایجاد دگرگونی همبری و هاله دگرگونی شده و شیست‌های لکه‌دار و هورنفلس‌ها و اسکارن‌ها را به وجود آورده است.

بدین منظور پس از مطالعه دقیق میکروسکوپی ۷۴ مقطع نازک ۲۴ نمونه که دارای کمترین دگرسانی بودند، انتخاب شدند و برای تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب به ترتیب با استفاده از روش XRF و ICP/MS در آزمایشگاه SGS Mineral Services کانادا (جدول ۱ و ۲) تجزیه شدند. شیمی کانی‌های بیوتیت در ۶ نمونه منتخب نیز به روش تجزیه نقطه‌ای (EPMA) در آزمایشگاه دانشگاه آدلاید استرالیا و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به منظور درک بیشتر مسائل سنگ‌زادی این توده‌ها (جدول ۳) تجزیه شدند.

### ۳- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی  $۳۰' ۴۸''$  تا  $۴۳' ۴۸''$  طول



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ساده‌شده و برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ملایر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

(جعفریان و زمانی، ۱۳۶۶)

متوسط تا درشت هستند. دارای کانی‌های کوارتز ( $۲/۱$  تا  $۱$  میلی‌متر)، پلاژیوکلاز ( $۱/۱$  تا  $۰/۸$  میلی‌متر)، فلدسپار قلیایی ( $۰/۱$  تا  $۱$  میلی‌متر)، بیوتیت و کانی‌های فرعی زیرکن و آپاتیت است. بافت دانه‌ای متوسط- درشت‌بلور دارند و فلدسپارهای قلیایی اغلب درشت‌دانه و نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و به صورت ارتوکلاز و میکروکلین است (شکل ۲- الف). میانگین مقدار کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و بیوتیت براساس تجزیه مودال به ترتیب ۲۰ تا ۳۵، ۲۵ تا ۴۰، ۳۰ تا ۵ درصد است. شدت دگرسانی در آن وسیع بوده و بیشتر پلاژیوکلازها سریستی شده‌اند (شکل

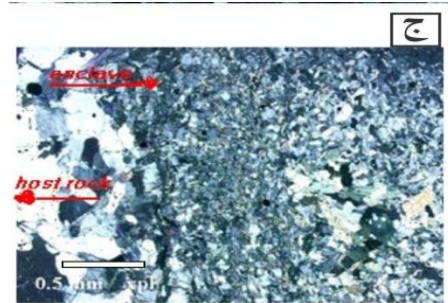
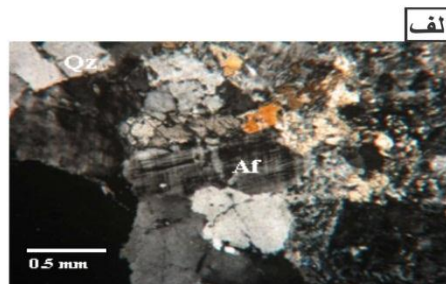
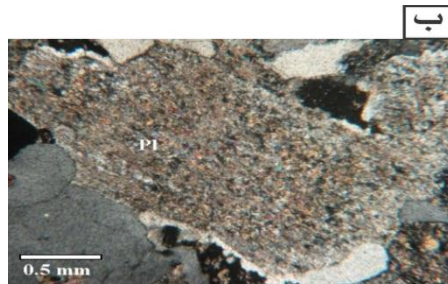
### ۴- سنگ‌نگاری

پیکره اصلی این توده‌ها به طور کلی شامل گرانودیوریت، مونوزوگرنایت و کوارتزیدیوریت است که به صورت بیضوی تا گرد در میان سنگ‌های دگرگون شده تریاس و ژوراسیک جایگیر شده‌اند. واحد گرانودیوریت: این واحد گسترش زیادی در منطقه دارد و به دلیل هوازگی زیاد، این توده ارتفاع کمی دارد و به زمین‌های کشاورزی منطقه تبدیل شده‌است. در نمونه دستی عمدتاً به رنگ خاکستری تیره و دانه

۲- ب).

مواد فرار و سیالات ماگمایی در پیشرفت تبادلات شیمیایی بین آنکلاو و سنگ میزبان به‌ویژه در ناحیه مرزی در مذاب یا نیمه‌مذاب و حتی جامد را نشان داده است و با توجه به برقراری تعادل در ترکیب شیمیایی از طریق واکنش بینابینی در طی آمیختگی ماگمایی، تشکیل گسترده بیوتیت در آنکلاوها، به‌ویژه در مرز آنها با میزبان است، که می‌توان آن را به انتقال گسترده پتاسیم از سنگ میزبان (نمونه‌های میزبان ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم بالا دارند) به آنکلاو و ترکیب آن با آهن موجود در ماگمای آنکلاو نسبت داد.

آنکلاوهایی با اشکال کروی و عدسی با اندازه کمتر از ۱۰ سانتی‌متر تا بیش از ۷۵ سانتی‌متر و رنگی تیره‌تر و بافتی ریزدانه‌تر از سنگ میزبان درون واحد کوارتز دیوریت حضور دارند. شدت دگرسانی در آنها به حدی است که تشخیص ترکیب واقعی چندان میسر نیست. با این حال، از بلورهای دیده‌شده در آن می‌توان از پیروکسن، آمفیبول، بیوتیت نام برد (شکل ۲- ث و ج). براساس مطالعاتی که (Ahadnejad et al., 2008) بر روی آنکلاوهای ماگمایی مجموعه پلوتونیک ملایر انجام داده‌اند، نقش تأثیرگذار



شکل ۲- الف) تصویر میکروسکوپی دوقلوبی شبکه توری در میکروکلین (xpl). ب) سرسیتی شدن پلاژیوکلازها، شدت سرسیتی شدن در هسته کانی بیشتر از حاشیه است (منطقه‌بندی ترکیبی) (xpl). ث) نمونه‌ای آنکلاوهای موجود در توده نفوذی منطقه. ج) بافت ریزدانه‌ای در آنکلاو و دانه‌ای در سنگ میزبان

## ۵- ژئوشیمی

### ۵-۱- شیمی سنگ کل

(Middlemost, 1985) انجام شد که بیشتر نمونه‌ها در محدوده گرانودیوریت قرار گرفتند (شکل ۵- الف). نمونه‌های گرانیتوئیدی منطقه بر روی نمودار مجموع قلیایی در برابر سیلیس برای تعیین سری ماگمایی (Irvine & Baragar, 1971) در محدوده نیمه‌قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵- ب) و در نمودار مثلثی AFM در محدوده سنگ‌های کالک‌آلکان قرار دارند (شکل ۵- پ). رده‌بندی براساس شاخص اشباع آلومین نشان می‌دهد که نمونه‌ها مت‌آلومین تا پرآلومین هستند (شکل ۵- ت).

برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی و محیط تشکیل توده‌های نفوذی رخنمون‌یافته در منطقه، از نمودارهای پیشنهادی (Pearce et al., 1984) استفاده شد که تمایز گرانیت‌ها در آن براساس ژئوشیمی عناصر کمیاب انجام می‌شود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بیشتر نمونه‌ها در محدوده گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG) قرار گرفته‌اند. بر روی نمودارهای Nb در برابر Y و Rb در مقابل Ta+Yb (شکل ۶)، سنگ‌های گرانیتوئیدی هر دو منطقه در محدوده گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG) با گرایش اندکی به سمت گرانیتی‌های برخوردی قرار می‌گیرند که این می‌تواند ناشی از آلودگی پوسته‌ای باشد.

ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب: در تفسیر تحولات ماگمایی از نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و جزئی در برابر سیلیس استفاده شده است. روندهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی (شکل ۳) در نمودار هارکر، اکسیدهای  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  با افزایش سیلیس بر اثر تفریق کاهش می‌یابد. توزیع عناصر جزئی بجز در چندین عنصر پراکنده و نامنظم است به‌گونه‌ای که روند خاصی را نشان نمی‌دهند. پراکندگی عناصر اصلی و کمیاب موجود در نمودارها می‌تواند به علت دگرسانی، آرایش ماگمایی و یا حتی آمیختگی ماگمایی صورت گرفته باشد (شکل ۴) که در نمونه‌های مورد نظر، به احتمال زیاد حاصل دگرسانی است.

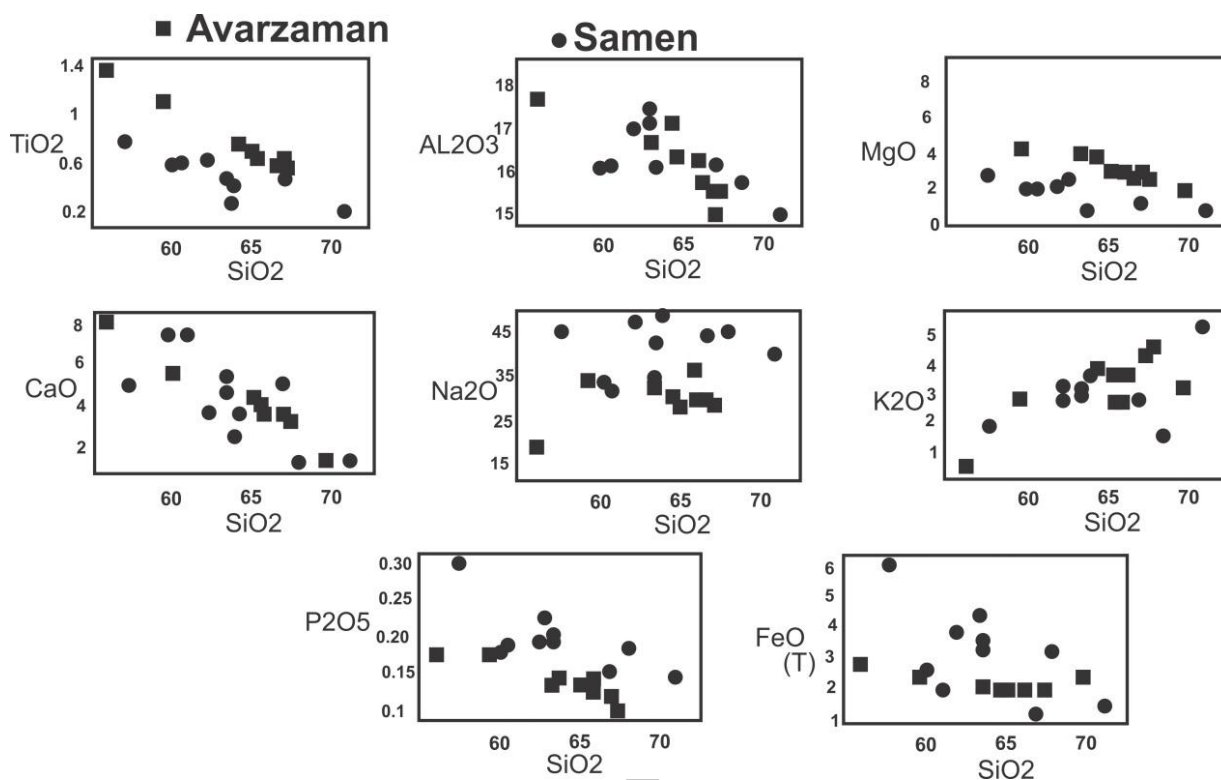
نامگذاری نمونه‌های گرانیتوئیدی منطقه با استفاده از مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس برای سنگ‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های توده نفوذی جنوب آوزمان (اکسیدهای اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر جزئی ppm)

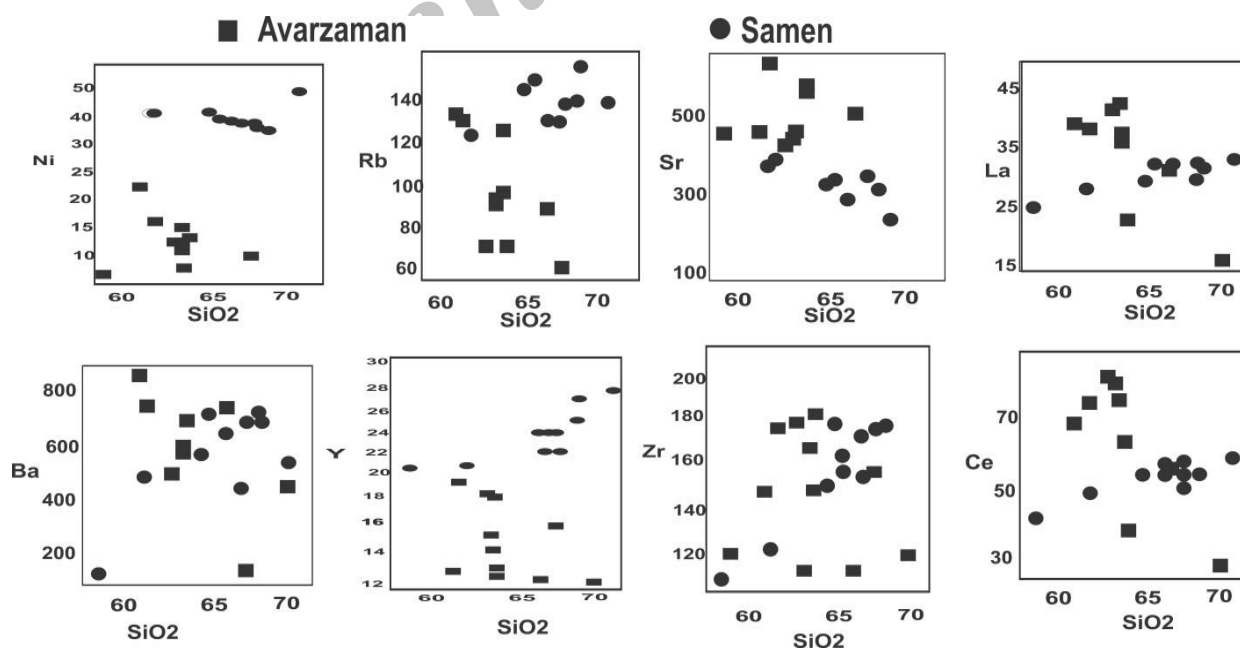
Sample	N-An <sub>8</sub>	N-An <sub>6</sub>	N-An <sub>9</sub>	N-Ir <sub>9</sub>	N-Ir <sub>12</sub>	N-Ir <sub>11</sub>	N-Ir <sub>1</sub>	N-Ir <sub>10</sub>	N-Ir <sub>4</sub>	N-Sr <sub>6</sub>	N-Sr <sub>4</sub>	M-T <sub>1</sub>
SiO <sub>2</sub>	64.65	64.55	58.9	69.17	61.44	63.62	72.08	62.31	64.54	68.04	64.84	65.09
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.58	0.68	0.49	0.54	0.58	0.11	0.59	0.52	0.43	0.46	0.26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.7	16.2	16.9	14.7	15.5	16.6	14.4	15.9	16.3	15.4	16.5	17.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.54	4.85	6.35	3.39	2.78	4.3	1.61	2.04	2.24	1.2	4.06	3.64
MnO	0.06	0.09	0.1	0.03	0.1	0.09	0.02	0.04	0.06	0.03	0.07	0.06
MgO	1.82	2.09	2.52	2.96	1.87	2.36	0.31	2.17	2.13	1.46	1.93	0.97
CaO	4.13	3.8	4.69	1.24	7.28	3.81	1.15	7.53	5.17	5.03	3.36	2.6
Na <sub>2</sub> O	4	3.2	4.1	4.2	3.2	4.7	3.8	3.2	4	4.1	4.1	4.6
K <sub>2</sub> O	3.08	2.79	1.82	1.6	5.45	2.69	5.02	5.11	3.04	2.72	2.84	3.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.19	0.22	0.28	0.18	0.17	0.2	0.14	0.19	0.21	0.15	0.19	0.12
LOI	1.03	1.2	1.6	1.8	1.7	1.01	1.23	1.1	1.6	1.4	1.6	1.7
TOTAL	99.68	99.57	97.94	99.76	100.03	99.96	99.87	100.18	99.81	99.96	99.95	99.93
Ni	8	10	6	10	22	12	<5	16	15	25	13	30
Co	8.1	10.9	14.6	6	7.8	9.6	2.1	4.3	5.8	10.3	2.7	8.5
V	84	130	157	116	112	113	15	137	75	80	60	54
Cs	1.8	1.9	2.5	1.2	1.8	1.4	1.9	1.3	1.2	7.8	2	4.4
Rb	96.3	85.7	78	58.4	132	69.2	156	128	83.3	88.9	69.5	126
Sr	460	550	440	100	450	400	260	630	460	490	570	540
Ba	590	560	330	110	860	490	440	750	590	730	540	690
Th	16.2	15.2	13.6	21	17	20.1	25	17.8	13.8	12.9	17.4	7.7
U	2.8	2.9	3.5	3.1	6.5	3.4	4.6	3.9	3	2.5	3.7	1.5
Ta	1.2	1.2	0.9	1.4	1	1.5	1.1	1.5	1.2	1	1.4	0.7
Nb	16	17	18	19	16	19	9	20	16	13	16	12
La	41.5	37.5	34.3	48.5	38.6	40.9	15	37.2	36.1	30.7	34.8	21.8
Ce	79.4	74.3	66.1	86.1	68.8	80.4	26.7	74.9	79.2	54.8	63.7	38.2
Pr	7.3	7.5	6.8	8.2	6.1	7.8	2.6	7.5	7.9	5.3	5.9	3.7
Nd	24.5	27.1	26	27.4	20.7	27.7	9.7	26.6	26.1	18.5	19.1	12.9
Sm	3.6	4.7	4.8	4.3	3.4	4.7	2.1	4.6	4	3.1	3.3	2.4
Eu	0.8	0.8	0.6	0.6	0.8	0.8	0.6	0.9	0.6	0.9	0.8	0.8
Gd	2.9	3.8	3.5	3.2	2.4	3.5	1.6	3.4	2.9	2.1	2.1	1.9
Tb	0.4	0.6	0.5	0.4	0.3	0.5	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3
Dy	2.4	3.2	3.1	2.6	2	2.9	2	3	2.5	2	1.9	2
Ho	0.5	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.3	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4
Er	1.4	1.8	1.7	1.5	1.3	1.7	1.3	1.6	1.5	1.2	1.2	1.2
Tm	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
Yb	1.5	1.8	1.6	1.4	1.3	1.7	1.3	1.8	1.5	1.2	1.2	1.2
Lu	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1
Y	14.3	17.5	17.6	15.7	13	17.7	12.1	18.6	15	12.4	12.5	13
Hf	4	4	3	4	4	5	4	4	3	3	3	4
Zr	166	181	121	155	147	176	121	174	114	113	106	147
Zn	106	100	47	30	38	47	26	25	18	23	33	45
Ga	16	18	18	15	15	15	14	15	16	17	15	20
Sn	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	4
W	1	<1	3	4	20	<1	<1	2	1	<1	4	<1

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های توده نفوذی غرب سامن (اکسیدهای اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر جزئی ppm)

Sample	SR <sub>02</sub>	SR <sub>04</sub>	SR <sub>07</sub>	SR <sub>09</sub>	SR <sub>12</sub>	SR <sub>14</sub>	SR <sub>16</sub>	SR <sub>20</sub>	SR <sub>24</sub>	SR <sub>25</sub>	SR <sub>30</sub>	SR <sub>35</sub>
SiO <sub>2</sub>	68.72	64.66	68.38	61	67.79	65.51	67.44	66.16	66.38	57.31	67.18	70.82
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.64	0.59	1.08	0.61	0.7	0.61	0.64	0.65	1.43	0.66	0.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.51	16.77	14.96	18.66	15.91	17.32	16.35	16.46	16.43	17.8	16.19	17.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.07	2.24	2.17	2.8	2.2	2.32	2.22	2.22	2.25	3.15	2.29	2.62
MnO	0.08	0.11	0.08	0.12	0.11	0.1	0.09	0.1	0.1	0.26	0.09	0.12
MgO	2.23	3.75	2.83	4.31	2.99	3.36	3.03	3.06	3.09	9.05	2.88	2.06
CaO	3.02	4.9	3.4	4.9	3.2	3.27	3.29	4.05	4.08	7.16	3.82	0.74
Na <sub>2</sub> O	2.53	2.9	2.84	3.04	2.52	2.93	2.7	2.56	2.17	1.95	3.12	1.33
K <sub>2</sub> O	3.8	3.12	3.5	2.79	3.07	3.27	3.14	3.27	3.16	0.34	2.27	2.58
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.14	0.11	0.18	0.12	0.15	0.13	0.13	0.13	0.18	0.15	0.14
LOI	1.23	0.8	1.02	1.06	1.12	0.99	1.02	1.03	1.05	1.03	1.06	0.5
Total	99.82	100.03	99.88	99.94	99.64	99.92	100.02	99.68	99.49	99.66	99.71	99.77
Ni	32	47	33	46	38	41	40	40	40	130	38	60
Co	13	19	14	22	14	14	16	15	16	37	16	19
V	94	141	97	205	96	117	100	110	100	186	111	148
Cs	3.4	4.2	5.2	4.4	4.5	5.4	3	4	5	4.4	3.8	4.6
Rb	139	153	171	124	143	162	128	130	129	26.5	126	144
Sr	300	360	350	400	350	370	370	340	480	200	360	90
Ba	510	430	530	370	550	540	510	510	680	80	330	400
Th	28.8	9.7	17.9	7.7	16	16.4	16	16	16	2.9	18.5	15.1
U	6.3	2.8	3.4	1.9	4.4	3	3.9	2.4	2.4	0.5	3	2.8
Ta	0.8	0.8	0.7	0.7	1.2	0.8	1	1	1	0.5	0.6	1
Nb	12	13	12	12	12	13	10	10	10	8	12	18
La	89.4	25.7	32.6	24.8	27.4	32.2	24.1	33	94.3	15.4	33.5	33.9
Ce	168	60.4	64	48.3	58.8	62.6	50.9	69.1	163	29.3	68.8	71.9
Pr	15.2	7.4	6.9	5.4	6.4	6.6	5.8	7.3	14.5	3.5	7	7.7
Nd	48.7	30.4	26.6	20.7	25.4	25.3	22	26.4	46.2	14.8	26.1	29.3
Sm	7.3	6.4	5.1	4	5	5	4.4	5.5	6.6	3.5	4.6	5.5
Eu	1	1	0.9	1.1	0.82	0.9	0.9	0.8	1.1	1.1	0.9	1.1
Gd	5.9	5.8	4.6	3.9	4.4	4.2	4.1	4.2	4.8	3.9	4.4	4.5
Tb	0.7	0.8	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.6	0.5	0.6	0.7
Dy	4.5	5	4	3.3	4	3.6	3.7	3.8	3.6	3.5	3.4	4.3
Er	2.8	3.4	2.8	2.1	2.8	2.5	2.3	2.5	2.3	2.2	2.3	2.9
Tm	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4
Yb	2.5	2.9	2.4	2	2.6	2	2	2	2	2	2	2.7
Y	27.2	30.5	25.1	20.9	27.9	24.1	24	24	22	20.7	22.1	27.7
Hf	5	4	5	3	5	5	1	1	1	3	5	6
Zr	186	154	183	121	207	183	160	165	158	104	181	221
Zn	47	56	48	64	75	65	63	51	83	165	56	74
Ga	19	21	19	22	19	21	20	20	20	19	19	23
Sn	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2	4	3
W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2

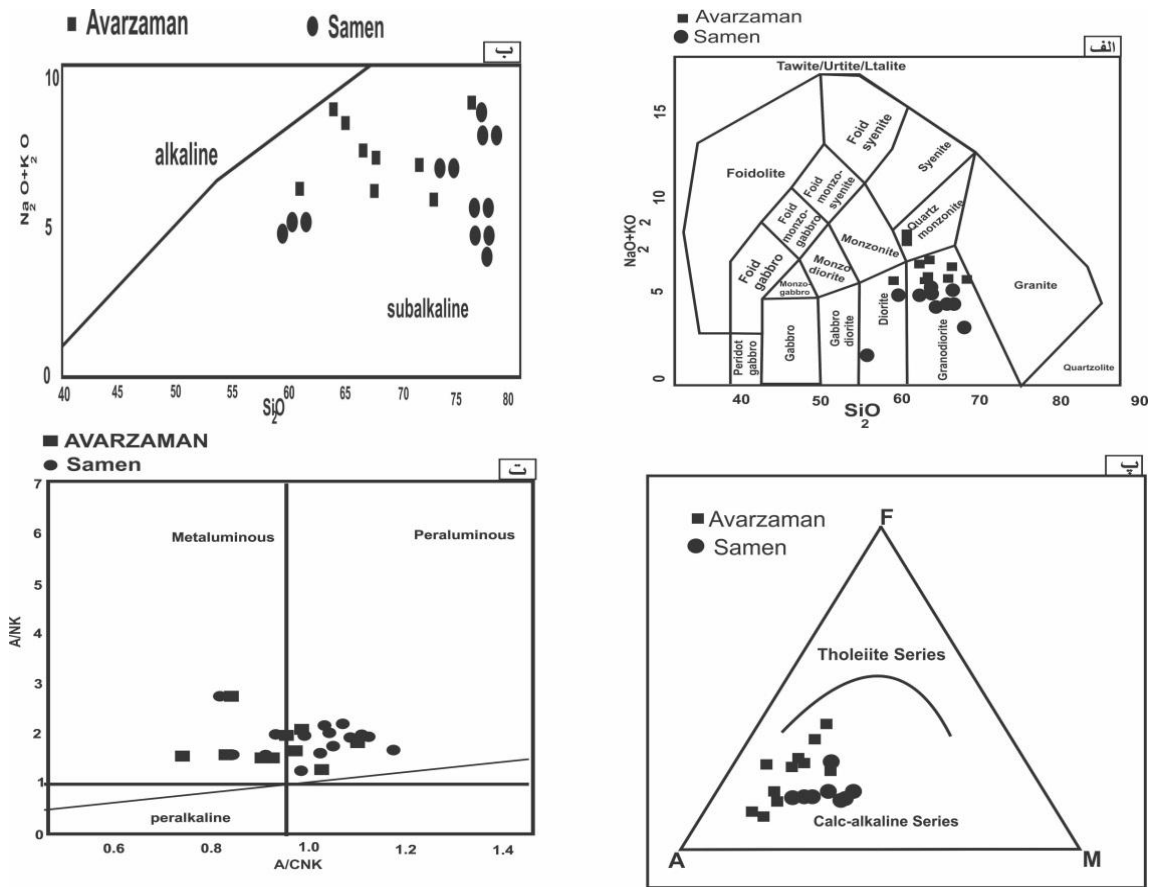


شکل ۳- موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار تغییرات عناصر اصلی در برابر  $SiO_2$

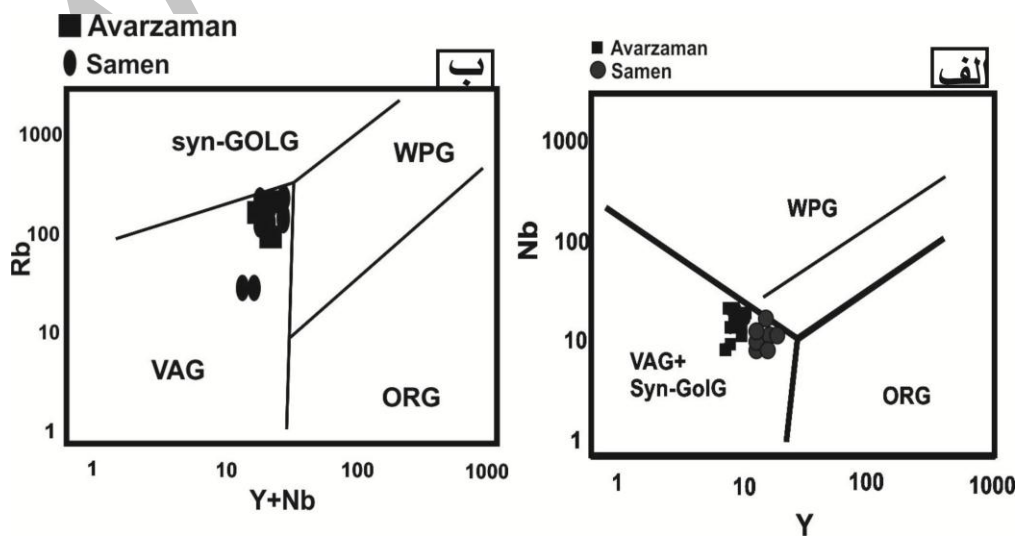


شکل ۴- موقعیت نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی نمودار تغییرات عناصر جزئی در برابر  $SiO_2$





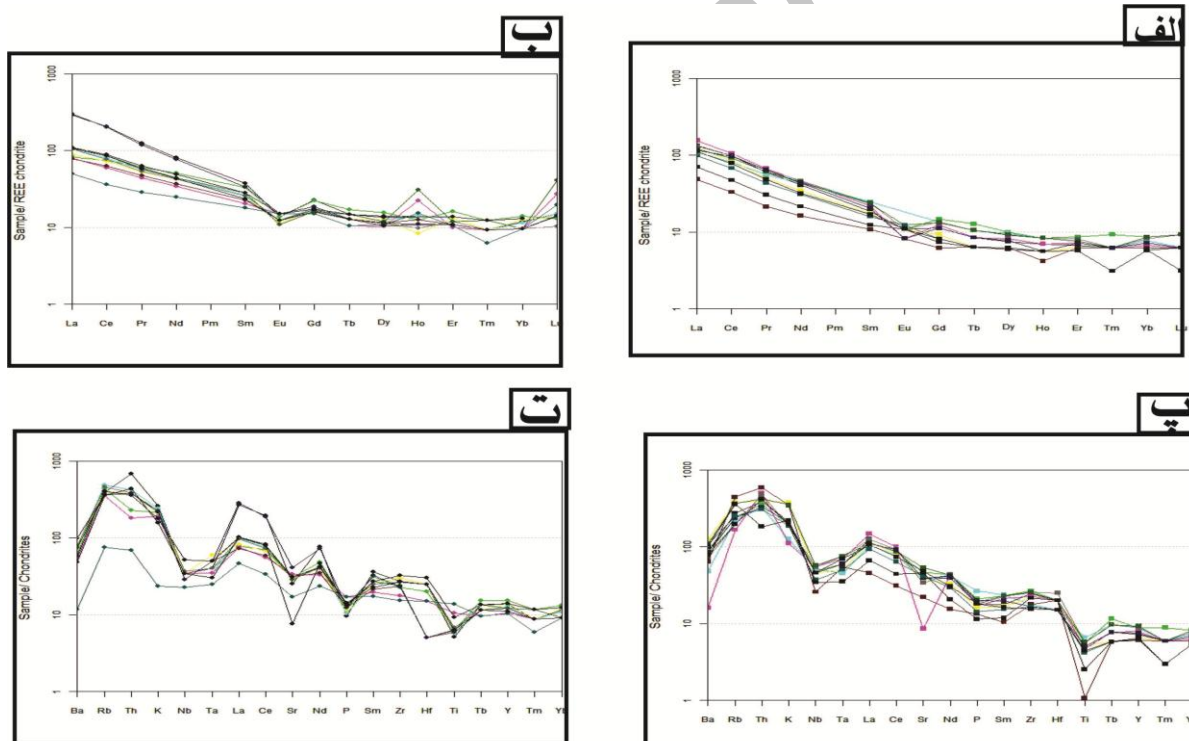
شکل ۵- الف) نامگذاری با استفاده از مجموع قلیایی در برابر سیلیس برای سنگ‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه (Middlemost, 1985) ب) نمودار مجموع قلیایی در برابر سیلیس برای تعیین سری ماگمایی (Irvine & Baragar, 1971). پ) نمودار مثلی AFM (Irvine & Baragar, 1971) و موقعیت نمونه‌های سنگی غرب سامن و جنوب آورزمان بر روی آن. ت) نمودار A/NK در برابر A/CNK به منظور تفکیک ماگماهای پرآلومین، مت‌آلومین و پرقلیایی (Maniar & Piccoli, 1989; Shand, 1927).



شکل ۶- نمودار متمایز کننده محیط تکتونیکی گرانیتوئیدها و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی آن (Pearce et al., 1984)

در نمودار توزیع عنکبوتی عناصر خاکی کمیاب، بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984) عنصر LREE غنی‌شدگی نشان می‌دهند و الگوی HREE در بیشتر نمونه‌ها مسطح و یکنواخت است (شکل ۷-۷-الف و ب). روندهای موازی در الگوی عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های گرانیتوئیدی منطقه مورد مطالعه، نشان‌دهنده تشابه فرایندهای ماگمایی در طی تشکیل آنهاست همچنین، در این الگو بی‌هنجاری منفی Eu به روشنی دیده می‌شود که ناشی از تبلور تفریقی پلاژیوکلاز از ماگماست. همراهی بی‌هنجاری منفی Eu و بی‌هنجاری منفی Sr می‌تواند بر اثر تفریق پلاژیوکلاز بوده و همراهی آن با بی‌هنجاری منفی Ba نیز می‌تواند ناشی از تفریق فلدسپار پتاسیم باشد (Wu et al., 2003). بر این اساس و با توجه به هر سه بی‌هنجاری منفی در نمونه‌های منطقه، تفریق پلاژیوکلاز و فلدسپار پتاسیم به‌طور همزمان عامل مهمی در تحول ماگمایی سنگ‌های منطقه به‌شمار می‌آید. همان‌طور که دیده می‌شود در این نمودارها، عنصر HREE نسبت به LREE مرکز پایین‌تری دارند که این خود می‌تواند تا حدودی به دلیل عواملی چون درجه پایین ذوب-بخشی، وجود گارنت باقیمانده سنگ منشأ و آغشتگی ماگما باشد (Hoskin et al., 2001).

نمونه‌های مورد نظر در نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب نسبت به کندریت (Thompson, 1982) غنی شده از (LILE) گروه عناصر سنگ‌دوست درشت‌یون نسبت به (HSFE) عناصر با میدان پایداری بالا (شکل ۷-۷-پ و ت) نشان می‌دهند. بنابر پیشنهاد Chappell & White, (1974) غنی‌شدگی از عناصر ناسازگار La, Rb, Th, K و بی‌هنجاری منفی Ba, Sr, Nb, Ti بیانگر مذاب حاصل از منشأ پوسته‌ای است. (Thuy et al., 2004) (Taylor & McLennan, 1985) نیز فراوانی عناصر LILE مانند La, K, U, Th, Rb به همراه Pb و تهی‌شدگی عناصر Nb, Ti را به مذابی با منشأ پوسته قاره‌ای نسبت داده‌اند. غنی‌شدگی از Th, Ce, Rb, K<sub>2</sub>O و بی‌هنجاری منفی Ti و Nb در توده‌های نفوذی مورد مطالعه، با تمرکز این عناصر در جایگاه کمان قاره‌ای سازگار هستند. همچنین افت و خیزهای واضح در نمودارهای عنکبوتی نیز یکی از خصوصیات ماگمای مرتبط با فرورانش است (Wilson, 1989). تهی‌شدگی Sr در برخی نمونه‌ها ناشی از کاهش فراوانی فلدسپار در حین تفریق بلورین است. چرا که Sr به جای کلسیم و پتاسیم در شبکه فلدسپار وارد می‌شود. Ba نیز به دلیل جانشینی با پتاسیم در ارتوکلاز و بیوتیت و P به دلیل تشکیل آپاتیت، با تفریق این کانی‌ها بی‌هنجاری منفی پیدا کرده‌اند.



شکل ۷-۷-الف و ب) به ترتیب الگوی REE عادی شده به کندریت از سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه سامن و آورزمان (Boynton, 1984)، پ و ت) به ترتیب الگوی عناصر کمیاب عادی شده به کندریت از سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه سامن و آورزمان (Thompson, 1982).

طوری جایگزین می‌شوند که می‌توانند شرایط زمین‌ساختی و سنگ‌زادی زمان تشکیل ماگمای مادر را در خود ثبت کنند. در جدول ۳ نتایج تجزیه شیمی بیوتیت در نمونه‌های غرب سامن و جنوب آورزمان نشان داده شده است. بر اساس نمودار تمایز بیوتیت‌های اولیه از بیوتیت‌هایی که دچار تعادل

#### ۵-۲- شیمی کانی

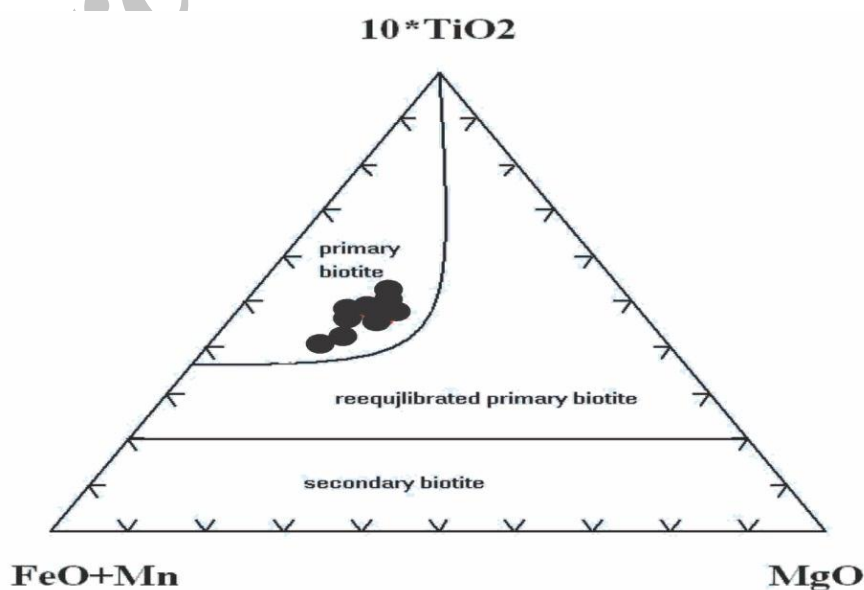
بیوتیت کانی فرومنیزین غالب در سنگ‌های گرانیتی است. ترکیبات و نسبت اکسیدهای سه عنصر اصلی آهن، آلومینیم و منیزیم در این کانی



دوباره در محیط شده‌اند و یا از بیوتیت‌های ثانوی، از نمودار ( Nachit et al., 2005) استفاده شد. موقعیت نمونه‌های این پژوهش در این نمودار نشان می‌دهد که بیوتیت‌های موجود در گرانیتوئیدهای منطقه همگی از نوع اولیه هستند (شکل ۸). بر اساس رده‌بندی شیمیایی میکاها ( Deer et al., 1962) همه میکاها در رده بیوتیت قرار می‌گیرند (شکل ۹). همچنین تعیین سری ماگمایی گرانیتوئیدهای مورد مطالعه براساس ترکیب شیمیایی بیوتیت (Abdel-Rahman, 1994) سنگ‌های منطقه در محدوده پراومین قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). براساس نمودار تغییرات Mg در برابر Al در کانی بیوتیت (Nachit, 2005)، ترکیب بیوتیت در نمونه‌های مورد پژوهش در محدوده کالک‌آکالن قرار می‌گیرند (شکل ۸).

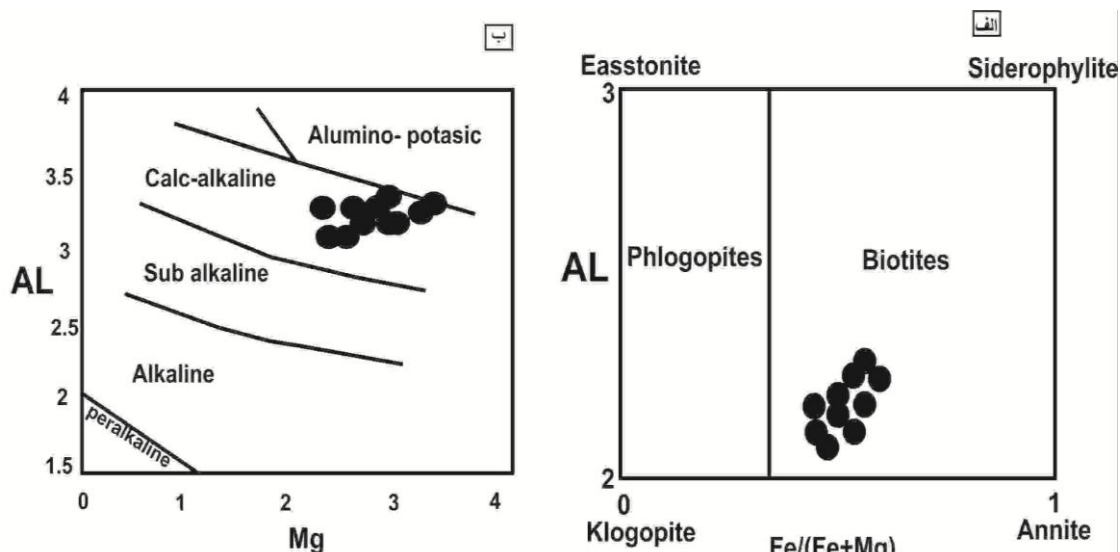
جدول ۳- نتایج تجزیه نقطه‌ای از کانی بیوتیت انتخابی از توده نفوذی منطقه مورد مطالعه (اعداد ترتیبی)

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8
petrology	Gd	Gd	Q-d	Gd	Q-d	Gd	Gd	Gd
SiO <sub>2</sub>	37.01	37.72	36.97	35.73	35.51	37.22	37.07	37.3
TiO <sub>2</sub>	4.10	3.60	3.97	4.00	3.95	1.04	1.04	1.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.16	15.47	15.50	14.89	15.56	16.15	16.46	16.44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.29	18.89	18.29	18.22	18.81	18.59	18.35	18.89
MnO	0.25	0.18	0.22	0.19	0.1	0.21	0.18	0.21
MgO	12.35	11.71	11.56	12.98	10.64	10.66	10.8	10.63
CaO	0.41	0.04	0.13	0.14	0.1	0.17	0.28	0.17
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.07	0.04	0.07	0.11	0.06	0.12	0.05
K <sub>2</sub> O	9.44	9.80	9.51	6.65	9.99	9.61	9.54	9.71
LOI	2.61	2.75	2.21	2.82	2.5	2.71	2.8	2.63
Total	96.22	98.52	98.38	94.99	98.16	96.51	96.64	98
Si	521	532	530	536	530	533	536	528
Fe	290	285	288	287	282	280	586	534
Al	324	351	345	354	331	327	349	347
Mn	3	3	4	3	4	3	4	4
Mg	235	249	254	203	241	210	236	250
Fe+Mg	550	543	562	556	560	557	561	543
Fe/Fe+Mg	0.5	0.54	0.51	0.55	0.51	0.51	0.56	0.54
AllV	0.31	0.33	0.33	0.34	0.3	0.32	0.32	0.3

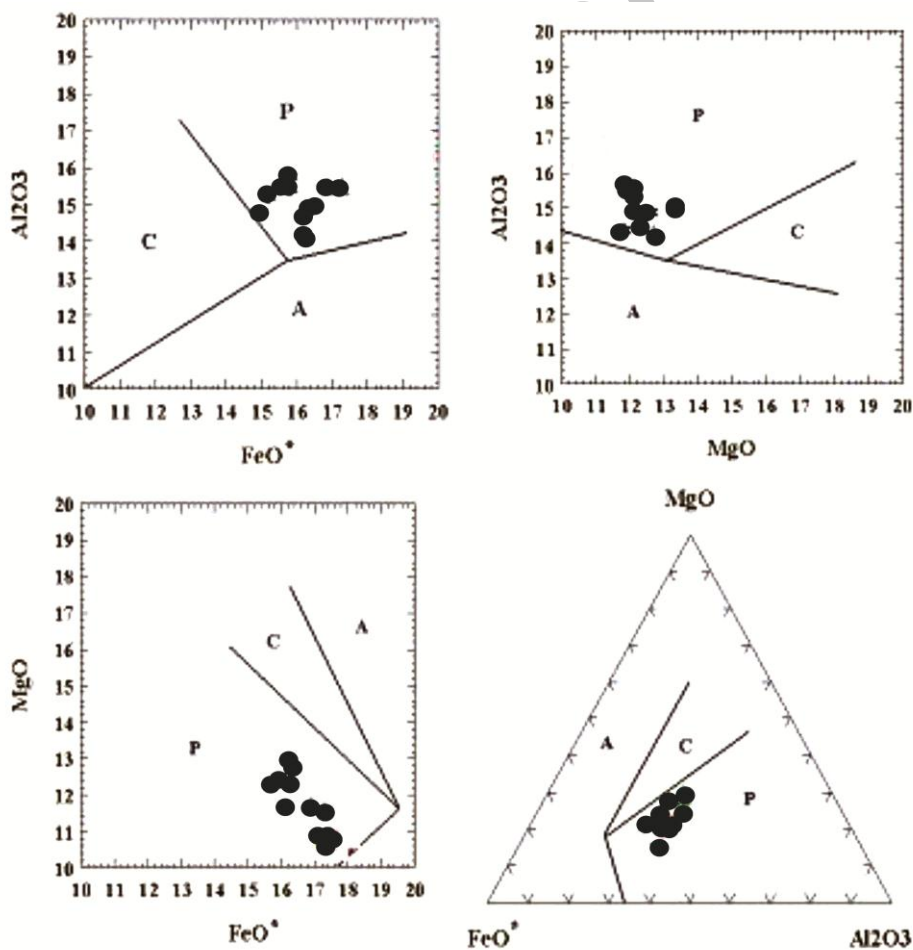


شکل ۸- نمودار سه‌تایی 10MgO-TiO<sub>2</sub>-FeO\*+MnO (Nachit et al., 2005) به منظور تمایز بیوتیت‌های اولیه و بیوتیت‌های

دچار تعادل دوباره از بیوتیت‌های ثانویه



شکل ۹- الف- رده‌بندی شیمیایی میکاهای توده مورد مطالعه و نمونه‌های غرب ملایر (احدنژاد، ۱۳۸۹) (Deer et al., 1962). ب- موقعیت نمونه‌ها در نمودار تغییرات Mg در برابر Al در کانی بیوتیت (Nachit, 2005)



شکل ۱۰- ترکیب بیوتیت در نمونه‌های توده نفوذی منطقه مورد مطالعه در نمودارهای (Abdel-Rahman, 1994)

(محیط‌های برخوردی (P), مناطق فرورانش (C), مناطق کششی (A))

Iran: new data and interpretations", *Tectonophysics*, 229, P.211-238.

**Berberian, M. and King, G.C. P., 1981**, "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Can. J. Earth Sci.*, 18(2), P.210-285.

**Boynton, W.V., 1984**, "Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies", In: *Henderson, P. (Ed), Rare Earth Element Geochemistry Elsevier, Amsterdam, P.63-114.*

**Chappell B. W., White A.J.R., 1974**, "Two contrasting granite types", *Pac. Geol.*, P.173-174.

**Deer W. A., Howie, R. A. and Zussman, J., 1962**, "Rock-forming minerals, 3rd Volume", *Sheet silicates, Longman, London, P.178.*

**Hoskin, P. W. O., 2001**, "Patterns of chaos: fractal statistics and the oscillatory chemistry of zircon", *Geochimica Acta*, 64(11), P.1905-1923.

**Irvine T.N. & Baragar, W. R. A., 1971**, "A guide to the chemical classification of the Common Volcanic Rocks", *Canadian Journal of Earth Science*, 8, P.523-48.

**Mahmoudi S, Corfu F, Masoudi F, Mehrabi B, Mohajjel M, 2011**, "U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences, Volume 41, Issue 3, P.238-249.*

**Maniar P.D., Piccoli P.M., 1989**, "Tectonic discrimination of granitoids", *Geol. Soc. Amer. Bull.* 101: P.635-643.

**Middlemost, E.A.K., 1985**, "Magma and magmatic rocks. An introduction to igneous petrology", *Longman, New York. P.266.*

**Nachit, H., 2005**, "Abderrahmane magmatic biotites, re-equilibrated biotites and neofomed biotites", *C. R. Geosciences*, 337(16): P.1415-1420.

**Pearce, J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., 1984**, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of petrology*, 25, P.956-983.

**Taylor, S.R. and McLennan, S.M., 1985**, "The Continental Crust: Its Composition and Evolution", *Blackwell, Oxford, P.312.*

**Thuy, N.T.B., Satir, M., Siebel, W., Vennemann, T. and long T.V., 2004**, "Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of granitoids from the dalat zone", *Southern Vietnam. J. Asian Earth Sci.* 23, P.467-482.

**Thompson, A.B., 1982**, "Fertility of crustal rocks during anatexis", *Transactions of the Royal Society of Edinburg, Earth Sciences*, 87:P.1-10.

**Wilson, M., 1989**, "Igneous petrogenesis", *Unwin Hyman, P.324.*

**Wu F.Y., Jahn B.M., Wildes S.A., LOC-H., Yui T-F., Lin Q.Ge W-c., Sun D-y., 2003**, "Highly fractionated I-type granites in NE chine (I)", *geochronology and petrogenesis. Lithos*. 66: P.241-273.

## نتیجه‌گیری

توده‌های گرانیتوئیدی غرب سامن و جنوب ملایر به‌عنوان بخشی از حوادث پلوتونیزم پهنه سنندج-سیرجان در اواخر کرتاسه و فرورانش نئوتیس به‌شمار می‌روند. بر اساس نمودارهای تمایز زمین‌ساختی ماگمایی عناصر کمیاب، توده‌های گرانیتوئیدی منطقه مرتبط با محیط کمان‌های حاشیه فعال قاره‌ای (نوع آندی) هستند. سنگ‌های گرانیتوئیدی در محدوده گرانودیوریت‌های با ماهیت کالک‌آلکان، پرآلومین و از نوع انتقالی بین I و S و بیشتر متمایل به S بوده و غنی‌شدگی LREEs نسبت به HREEs دال بر نقش مهم پوسته در تشکیل این گرانیتوئیدها و همچنین بی‌هنجاری منفی عناصر Ti, P, Sr, Nb و خاص گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان کم‌آبی است. با توجه به ترکیب شیمیایی بیوتیت‌ها می‌توان نتیجه گرفت که سنگ میزبان آنها در یک محیط زمین‌ساختی مشابه توده‌های کوهزایی کالک-آلکان تشکیل شده است. بنابراین ماگمای مولد سنگ‌های منطقه از نوع آهکی-قلیایی و به عبارتی کالک‌آلکان است.

## مراجع

- احدزاد و، ۱۳۸۹، "پترولوژی، ژئوشیمی و انیزوتروپی خودپذیری مغناطیسی پلوتون گرانیتوئیدی ملایر (غرب ایران)" رساله دکترا، ۱۲۰ صفحه.
- جعفریان، م، ب، زمانی پدرام، م، ۱۳۶۶، "نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه ملایر" سازمان زمین‌شناسی کشور.
- دیوسالار ر، ولی‌زاده م، احدزاد و، ۱۳۸۷، "موقعیت و خاستگاه تکتونیک مجموعه پلوتونیک ملایر" نشریه علوم، دانشگاه تربیت معلم، جلد ۸، صفحه ۲۰۶-۲۲۵.
- مدنی، ح، ۱۳۵۹، "پتروگرافی و پترولوژی توده آذرین گرانیتوئیدی منطقه سامن و سنگ‌های همبری آن" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۸ صفحه.
- مجیدی فیض‌آبادی ت، ۱۳۷۵، "بررسی پترولوژی و ژئوشیمی توده نفوذی غرب سامن" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، صفحه ۲۴-۵۶.
- حسین‌پور ز، ۱۳۸۲، "پتروگرافی و پترولوژی توده‌های نفوذی سامن و دگرگونی اطراف" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم صفحه ۳۵.
- Abdel-Rahman A., 1994**, "Nature of biotites from alkaline, calcalkaline, and peraluminous Magmas", *Journal of petrology*, 32(2): P.525-541.
- Ahadnejad V., Valizadeh M.V., Esmaeily D., 2008**, "The role of shear zone on the emplacement of Malayer Granitoid Complex", *NW Iran. J. Appl. Sci.* 8: P.4238-4250.
- Alavi, M., 1994**, "Tectonics of the Zagros orogenic belt of