

# مطالعات سنگ‌شناسی، شیمی کانی و سنگ‌زایی باتولیت شیورداغ (شمال اهر - آذربایجان شرقی)

سید غفور علوی<sup>(\*)</sup>، محسن مؤید<sup>۱</sup>، محمدرضا حسین‌زاده<sup>۱</sup>

۱. عضو هیأت علمی گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۴

تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱

## چکیده

توده گرانیتوئیدی شیورداغ در استان آذربایجان شرقی و شمال اهر، به داخل واحدهای کرتاسه فوقانی تا ائوسن نفوذ کرده و سبب ایجاد دگرگونی مجاورتی و اسکارن‌زایی شده است. رگه‌ها و دایک‌های کوارتز-آپلیتی این توده را قطع می‌کنند. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، پتاسیم فلدسپار، هورنبلند، بیوتیت و کلینوپیروکسن بوده و بافت‌های پرتیت - آنتی‌پرتیت، پورفیری، گرانولار و آنتی‌راپاکیوی بافت‌های رایج می‌باشند. براساس مطالعات شیمی کانی، ترکیب بیوتیت‌ها بین دو قطب استونیت و سیدروفیلیت و آمفیبول‌های این توده در محدوده منیزیه‌استینگزیت و منیزیه‌استینگزیت هورنبلند قرار می‌گیرند. کلینوپیروکسها بیشتر دیوپسیدی بوده و پتاسیم-فلدسپار به قطب سانیدین متمایل بوده و پلاژیوکلازها در محدوده الیگوکلاز تا آندزین قرار می‌گیرند. دامنه حرارتی تبلور این توده را از  $623^{\circ}\text{C}$  تا  $750^{\circ}\text{C}$  و فشار جایگیری آن را  $1/5$  تا  $2/4$  کیلو بار می‌باشد. در تقسیم‌بندی‌های شیمیایی، این توده در محدوده گرانودیوریت و سینودیوریت قرار گرفته و ویژگی متآلومینوس نشان می‌دهد. با افزایش  $\text{SiO}_2$  مقادیر  $\text{MgO}$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{TiO}_2$  سیر نزولی نشان می‌دهند و در نمودار عنکبوتی، بی‌هنجاری مشخص و مثبتی برای عناصر  $\text{U}$ ،  $\text{Pb}$ ،  $\text{Cs}$ ،  $\text{Hf}$ ،  $\text{Zr}$ ،  $\text{Ta}$ ،  $\text{La}$ ،  $\text{Th}$ ،  $\text{Rb}$ ،  $\text{Ba}$  و  $\text{Pr}$  و نیز ناهنجاری‌های منفی برای عناصر  $\text{Lu}$ ،  $\text{Nd}$ ،  $\text{P}$  و  $\text{Mo}$  مشاهده می‌شود. ماگمای مولد این توده دارای سرشت شوشونیتی و کلسیمی - قلیایی با پتاسیم بالا بوده و در پوسته قاره‌ای با ضخامت زیاد تا متوسط جایگیری کرده و تحت تاثیر تفریق یا ذوب بخشی و آرایش پوسته‌ای متحول شده است. این توده در یک محیط ماگمایی پس‌برخوردی حاشیه فعال قاره‌ای جایگیری کرده است.

واژه‌های کلیدی: پراآلومینوس، شوشونیت، شیورداغ، کلسیمی - قلیایی، گرانیتوئید، متآلومینوس.

## مقدمه

منطقه مورد مطالعه در فاصله ۲۰ کیلومتری از مرکز شهرستان اهر، از توابع استان آذربایجان شرقی و بین طول‌های جغرافیایی شرقی  $3^{\circ} 54' 46''$  تا  $30^{\circ} 12' 47''$  و عرض‌های جغرافیایی شمالی  $48^{\circ} 33' 38''$  تا  $42^{\circ} 4' 38''$  قرار دارد (شکل ۱). باتولیت گرانیتوئیدی شیورداغ از دیرباز بدلیل وفور کانسارهای اسکارنی مس و مولیبدن در حاشیه آن، مورد توجه معدنکاران و متخصصین زمین‌شناسی اقتصادی بوده و در اغلب این مطالعات، اسکارن‌های اطراف این توده مورد بررسی قرار گرفته و کمتر به شیمی کانی‌های تشکیل‌دهنده و شرایط ترمودینامیکی تبلور توجه شده است. از کارهای انجام‌شده قبلی در خصوص پترولوژی و بررسی

اسکارن‌های اطراف این توده می‌توان به حسین‌زاده (۱۳۷۸)، رادمرد (۱۳۸۲)، زریسفی (۱۳۸۲)، عظیم‌زاده (۱۳۷۸)، حسن‌پور (۱۳۸۰)، Karimzadeh (2006)، Hezarkhani (1993)، Mollai (2002) Somarin and Moayyed اشاره کرد. در این مقاله ضمن بررسی دقیق سنگ‌شناسی و سنگ‌زایی این توده، مینرال شیمی کانی‌های شاخص این توده مورد مطالعه قرار گرفته است.

## روش مطالعه

در طی عملیات صحرایی و بررسی رخنمون‌های مختلف سنگی از توده باتولیتی شیورداغ، تعداد ۱۲۰ نمونه برداشت شده و از تعداد ۹۰ نمونه، مقطع نازک میکروسکوپی تهیه و مورد مطالعه

و مایل به صورتی با بافت گرانولار و پورفیری بوده و شامل کانی‌های اصلی کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپاتاسیم، هوربلند، بیوتیت، کلینو-پروکسن و کانی‌های فرعی آپاتیت، تیتانیت، زیرکن و کانی‌های فلزی می‌باشد. نمونه‌های برداشت شده از حاشیه بلافصل همبری در این توده ترکیب مافیک‌تری نسبت به نمونه‌های بخش مرکزی داشته و مربوط به حاشیه انجماد سریع توده می‌باشند. بافت‌های پرتیت و آنتی‌پرتیت، پورفیری، گرانولار و آنتی‌راپاکیوی در این سنگ‌ها شایع است (اشکال ۲-۱).  
 (F و A+B+C+D+E). دگرسانی در این سنگ‌ها اندک است و فقط در حاشیه آن اندواسکارن تشکیل شده است که حاصل آن کانی‌هایی مانند کلریت، اپیدوت، سرسیت و نیز اورالیتیزاسیون پروکسن هاست (شکل ۲-۱ و G). وجود میان‌بارهایی از کانی‌های فرعی از جمله اسفن و زیرکن در داخل پلاژیوکلاز به صورت بافت پوئی‌کلیتیک دیده می‌شود. مودال کانی‌های تشکیل دهنده به شرح زیر است:

پلاژیوکلاز: در اندازه‌های تا ۴ میلی‌متر و در حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد و بصورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، با ماکل پلی‌سنتیک، کارلسباد و گاهی بصورت زونه دیده می‌شود (شکل ۲-۱). در برخی مناطق، به سرسیت، کلریت، و اپیدوت دگرسان شده است. پتاسیم فلدسپار: این کانی به مقدار حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد بصورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و در اندازه ۰/۵ تا ۳ میلی‌متر دیده می‌شود. بافت میرمیکت در حواشی این بلورها و حاصل هم‌رشدی کوارتز و پلاژیوکلاز و در برخی مقاطع بافت گرانوفیر نیز دیده می‌شود. برخی از بلورهای پتاسیم فلدسپار حاوی میان‌بارهایی از بیوتیت، پلاژیوکلاز، اسفن و زیرکن بوده و بافت پوئی‌کلیتیک را به نمایش می‌گذارند (شکل ۲-۱).  
 کوارتز: به صورت بلورهای ریز تا متوسط (۵-۱۰ درصد)، بی‌شکل و نیمه‌شکل‌دار و در فضاهای بین کانی‌های دیگر مانند

پتروگرافی قرار گرفتند. همچنین تعداد ۳۳ نمونه از تنوعات سنگی مشاهده شده به روش ICP-MS (پلاسمای جفت شده القایی) در آزمایشگاه Amdel استرالیا آنالیز شدند (جدول ۷). آنالیز میکروپروپ کانی‌های توده گرانیتوئیدی در مرکز تحقیقات GFZ پتسدام آلمان و نیز دانشگاه لئوبن اتریش انجام گرفت.

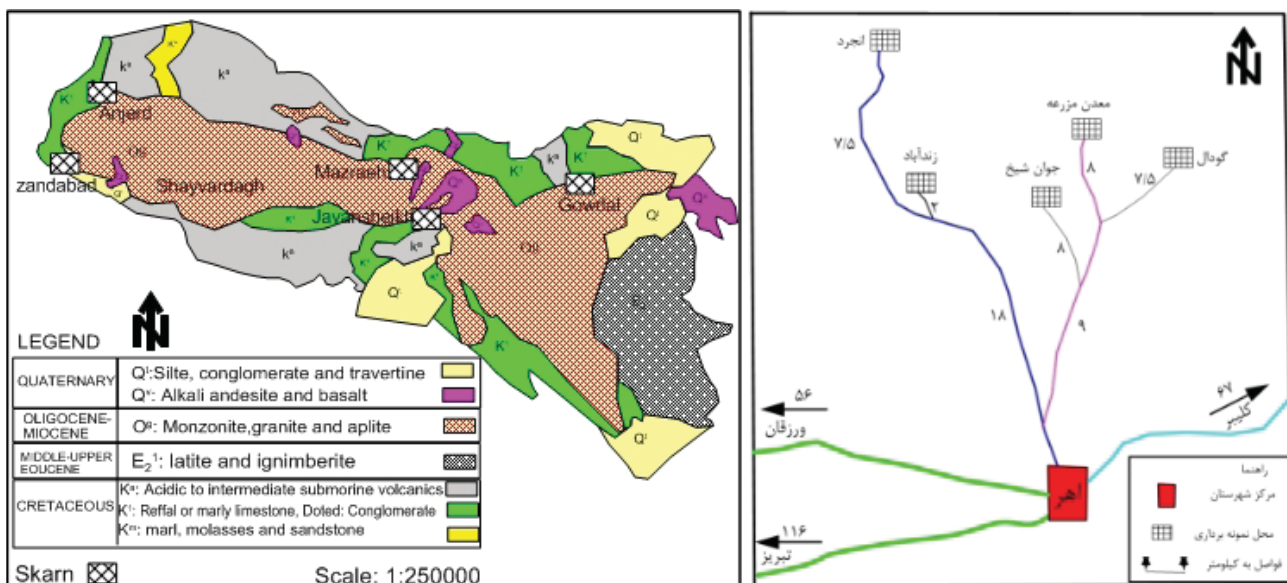
## بحث

### زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد مطالعه در تقسیم‌بندی آقانباتی (۱۳۸۳) و Stocklin (1977) به ترتیب در پهنه مرکزی و زون آتشفشانی ترشیری-کواترنری قرار می‌گیرد. در این ناحیه توده گرانیتوئیدی شیورداغ در محور یک ساختار تاقدیسی پلانژدار به داخل سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و آذرآواری کرتاسه فوقانی تا اتوسن نفوذ کرده و باعث ایجاد دگرگونی مجاورتی و اسکارن‌زایی در سنگ‌های درون‌گیر شده است (شکل ۱). روند این توده شرقی-غربی به طول ۳۰ کیلومتر و عرض ۳ تا ۱۰ کیلومتر می‌باشد. درزه‌های متقاطع که ساختمان مشخص توده‌های گرانیتوئید است در این سنگ‌ها دیده می‌شود که فاصله این درزه‌ها از چند سانتی‌متر تا یک متر متغیر است. هوازگی نیز اکثراً در امتداد درزه‌ها صورت گرفته است. اکثر این درزه‌ها دارای امتداد NW/SE می‌باشند. گسل‌های موجود در این منطقه دارای راستای E-W تا NW-SE و با سازوکار فشاری و فشاری با مولفه راست-لغز راستاگرد بوده و گسل‌های با راستای N-S تا NE-SW دارای عملکرد نرمال می‌باشند.

### سنگ‌شناسی توده نفوذی

جهت انجام مطالعات سنگ‌شناسی باتولیت شیورداغ، از مناطق زندآباد، مزرعه، جوان‌شیخ، جویبند، گودال و انجرد نمونه برداری بعمل آمد (شکل ۱). نمونه‌های دستی دانه درشت، به رنگ روشن



شکل ۱. الف) موقعیت توده نفوذی شیورداغ و سنگ‌های دربرگیرنده در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، ب) راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه و محل‌های نمونه برداری.

هورنبلند: به مقدار ۵-۱۰ درصد بصورت بلورهای ریز تا متوسط شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و با اندازه حدود ۳ mm دیده می‌شود. این کانی از حاشیه‌ها به بیوتیت، کلریت و مگنتیت دگرسان شده است.

فلدسپارها قرار گرفته است (شکل ۲-D و O). گاهی بدلیل حضور میان بارهای زیرکن و اسفن بافت پوئی‌کلیتیک مشاهده می‌شود. خاموشی موجی مشاهده شده در برخی از نمونه‌ها ناشی از تأثیر فشارهای تکتونیک است.



شکل ۲. (A) کوارتز مونوزیست با بافت گرانولار (کوارتز-آمفیبول-پلاژیوکلاز-بیوتیت). (B) بافت پورفیریک با خمیره ریزبلور (پلاژیوکلاز-آمفیبول-بیوتیت). (C) بافت گلووموپورفیری (تجمع بلورهای پلاژیوکلاز). (D) بافت گرانولار در کوارتز دیوریت (پلاژیوکلاز-آمفیبول-بیوتیت-کوارتز). (E) بافت گرانولار (آمفیبول-بیوتیت-پلاژیوکلاز-کوارتز). (F) ارتوز پرتیتی-اسفن-کوارتز. (G) کلریت پنین با رشد اسفرولیتی. (H) زونینگ در بلور پلاژیوکلاز (علائم کانی‌ها بر اساس Whitney and Evans., 2010).

برابر Kv 15 و nA20-10 بوده و همچنین توسط دستگاه Jeol JXA 8200 در دانشگاه لئوبن (اتریش) به روش WDS با ولتاژ شتاب دهنده Kv15 و جریان پرتو الکترونی nA15 شناسایی شد. هدف از تجزیه میکروپروپ کانی‌ها، تعیین ترکیب شیمیایی کانی‌ها، ماهیت ماگمای اولیه، محاسبه فعالیت اعضای نهایی به منظور تخمین شرایط فشار و دمای تبلور سنگ‌ها و بررسی تحولات P-T این سنگ‌ها در طی تبلور ماگمایی است. کانی‌های تجزیه شده شامل بیوتیت، آمفیبول، کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز و پتاسیم‌فلدسپار است.

**بیوتیت:** مقادیر کاتیونی بر اساس ۲۲ اکسیژن و مقادیر  $Fe^{2+}$  و  $Fe^{3+}$  به روش (Dymek (1983) و با استفاده از نرم افزار Mica+ (Yavuz, 2003) محاسبه شده است (جدول ۱). ترکیب بیوتیت‌های مورد بررسی همان طور که از شکل ۳ پیداست به سمت دو قطب سیدروفیلیت و استونیت کشیده شده و براساس مقدار  $Fe / (Fe+Mg)$  ( $< 0.33$ ) از فلوگوپیت‌ها تفکیک می‌شوند. همچنین این نمودار نشان می‌دهد که به نسبت سیدروفیلیت، بیوتیت‌های شیورداغ از لحاظ محتوای استونیت، غنی‌شدگی مشخصی را دارا می‌باشند. طبق نمودارهای (Abdel-Rahman (1994)، در نمودار  $Al_2O_3$  در مقابل  $Al_2O_3$  (شکل ۴- A و B) بیوتیت‌های مورد بررسی در محدوده سری‌های کوهزایی کلسیمی - قلیایی قرار می‌گیرند.

**آمفیبول:** ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی در جدول ۲ آمده است. محاسبه استوکیومتری به صورت میانگین روش 15eNK و 13eCNK و با فرض ۲۳ اکسیژن انجام شده است. لازم به ذکر است که محاسبه به روش‌های فوق، به ترتیب کمترین و بیشترین نسبت آهن فریک را بدست می‌دهند. براساس نمودار Si در مقابل  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  ترکیب آمفیبول‌ها مگنزیوهایستینگزیت و مگنزیوهایستینگزیت هورنبلند می‌باشد (شکل ۵).

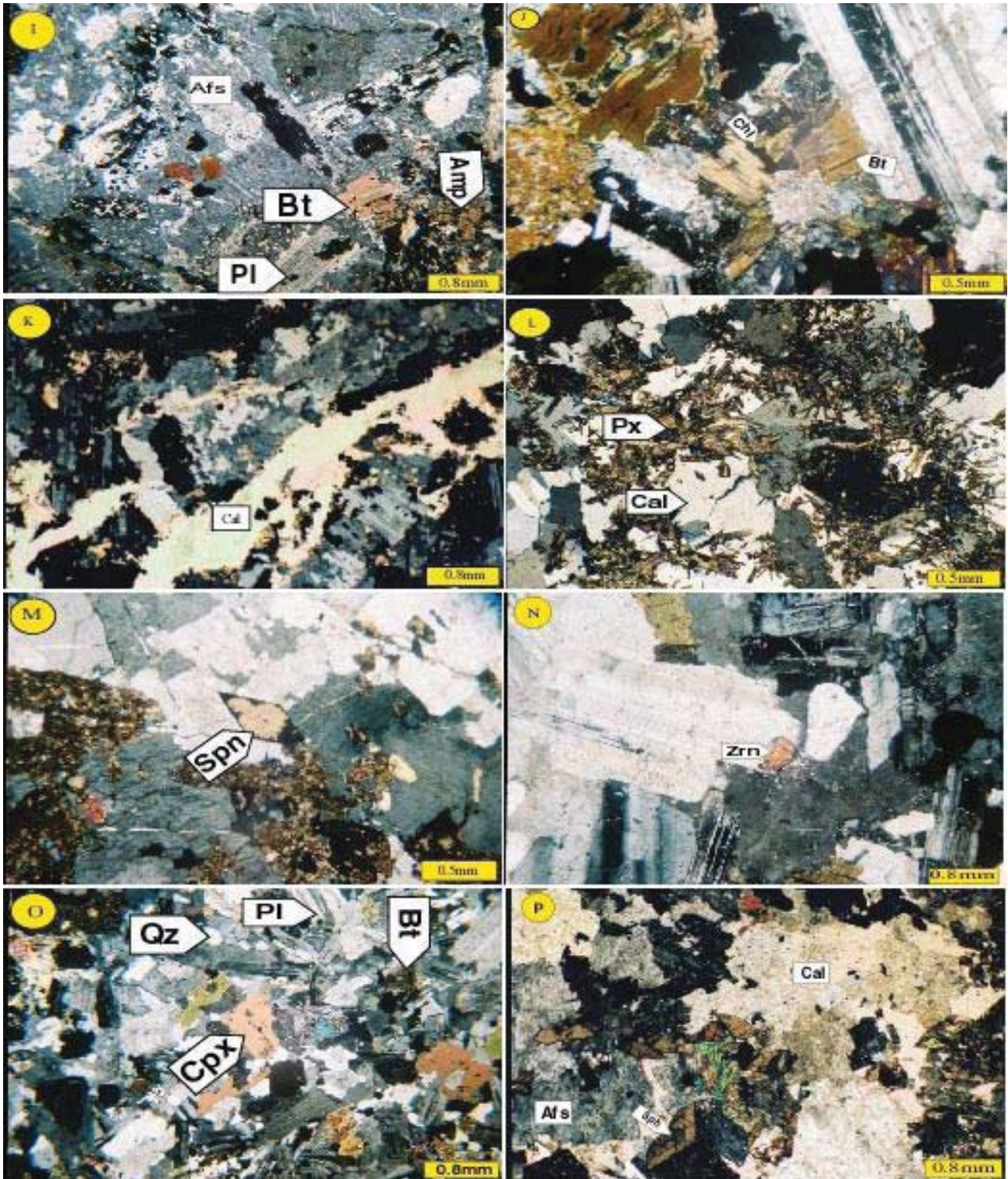
بیوتیت: به مقدار ۵-۰ درصد به صورت نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار و اندازه ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر به رنگ قهوه‌ای و گاهی سبز و با چندرنگی شدید دیده می‌شود. این کانی در اثر دگرسانی به کلریت تبدیل شده است (شکل ۲-J). کلسیت (حدود ۱ درصد) جزو کانی‌های ثانویه بوده و بصورت رگه‌ای و رگچه‌ای و گاهی بصورت بلورین مشاهده می‌شود. رگچه‌های این کانی، توده نفوذی را قطع می‌کنند (شکل ۲-K). پیروکسن (۳-۰ درصد) بصورت شکل‌دار حضور داشته و از حاشیه به آمفیبول و کلسیت تبدیل شده است (شکل ۲-L). اسفن بصورت اولیه و شکل‌دار با برجستگی بالا در بین سایر کانی‌ها دیده می‌شود (شکل ۲-M و P). این کانی گاهی بصورت ثانویه بوده و در نتیجه دگرسانی بیوتیت به کلریت تشکیل شده است. آپاتیت بصورت بلورهای شکل‌دار منشوری در داخل سایر کانی‌ها مانند فلدسپارها بصورت میانبار و معمولاً در اندازه‌های کمتر از ۱ میلی‌متر دیده می‌شود. زیرکن به مقدار بسیار کم و بصورت میانبار در داخل سایر کانی‌ها دیده می‌شود (شکل ۲-N). کلریت در نمونه‌هایی که تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند، مقدار کمی از این کانی حضور دارد که جانشین کانی‌های فرومنیزین بویژه بیوتیت‌ها می‌شود (شکل ۲-G). اپیدوت بصورت ریزدانه و متوسط و به شکل خال‌های ریز رنگی در حاشیه و داخل پلاژیوکلاز حضور دارد. سریست در حاشیه بلورهای فلدسپات و کوارتز ثانویه بصورت پرکننده حفرات و یا بصورت رگچه و نیز کانی‌های تیره (عمدتاً اکسید آهن) به مقدار کم در نمونه‌های دگرسان-شده دیده می‌شود.

## شیمی کانی‌ها

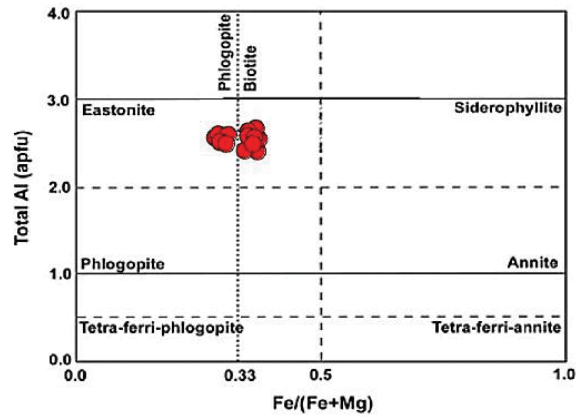
ترکیب شیمیایی دقیق کانی‌ها، که روابط بافتی و کانی‌شناسی آن‌ها در بخش پتروگرافی مشخص شده بود، توسط تجزیه میکروپروپ با دستگاه CAMECA-SX100 در GFZ پتسدام (آلمان) که ولتاژ و جریان مورد استفاده در این آنالیز به ترتیب

جدول ۱. نتایج تجزیه بیوتیت‌ها به روش EPMA از توده شیورداغ.

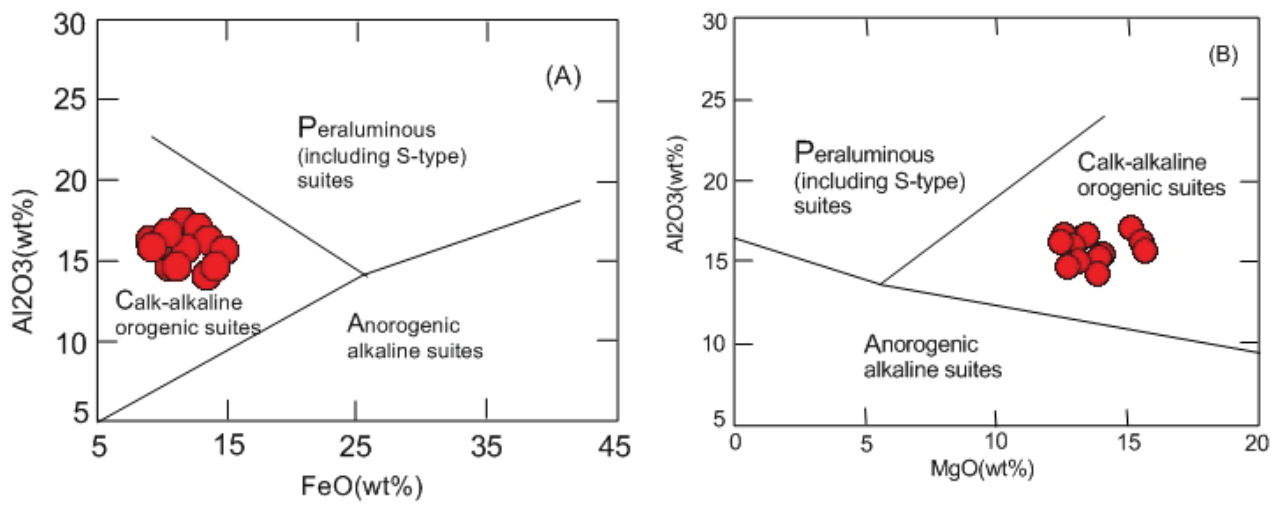
	A-G-6	A-G-6	A-G-6	A-G-6	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	Anj-T-7	Anj-T-7	Anj-T-7	Anj-T-7
SiO2	36.41	36.44	36.51	36.49	37.51	37.55	37.59	37.61	37.23	37.19	37.29	37.26	37.18
TiO2	5.72	5.68	5.66	5.74	4.68	4.71	4.66	4.69	3.86	3.88	3.91	3.94	3.88
Al2O3	14.16	14.11	14.08	14.16	13.69	13.61	13.66	13.71	13.91	13.94	13.89	13.94	13.88
Cr2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	12.48	12.41	12.49	12.45	15.01	14.98	15.06	15.08	15.72	15.74	15.69	15.77	15.81
MnO	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.28	0.31	0.29	0.32	0.26
MgO	16.12	16.18	16.21	16.17	14.68	14.71	14.77	14.66	15.08	15.06	15.03	14.96	14.98
CaO	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02
Na2O	0.36	0.34	0.39	0.35	0.14	0.11	0.17	0.15	0.12	0.09	0.12	0.13	0.08
K2O	9.61	9.48	9.54	9.54	9.61	9.66	9.69	9.62	9.56	9.53	9.59	9.61	9.66
Total	94.89	94.67	94.92	94.92	95.35	95.38	95.63	95.55	95.76	95.74	95.82	95.93	95.75
Formula	11(O)												
Si	2.72	2.63	2.63	2.63	2.69	2.69	2.69	2.69	2.67	2.67	2.67	2.67	2.67
Ti	0.32	0.31	0.31	0.31	0.25	0.25	0.25	0.25	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
Al	1.25	1.20	1.19	1.20	1.16	1.15	1.15	1.16	1.17	1.18	1.17	1.18	1.17
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe3+	0.00	0.75	0.75	0.75	0.90	0.90	0.90	0.90	0.94	0.94	0.94	0.94	0.95
Fe2+	0.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	1.79	1.74	1.74	1.74	1.57	1.57	1.58	1.57	1.61	1.61	1.60	1.60	1.60
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01
K	0.91	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88	0.89	0.88	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88
Total	7.82	7.55	7.56	7.55	7.48	7.48	7.47	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51
Mg/(Mg+Fe2)	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fe2/(Ferot)	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al/(Al+Fe3+Cr)	1.00	0.62	0.61	0.62	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.56	0.56	0.55	0.55
Na/(Na+K)	0.05	0.05	0.06	0.05	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01



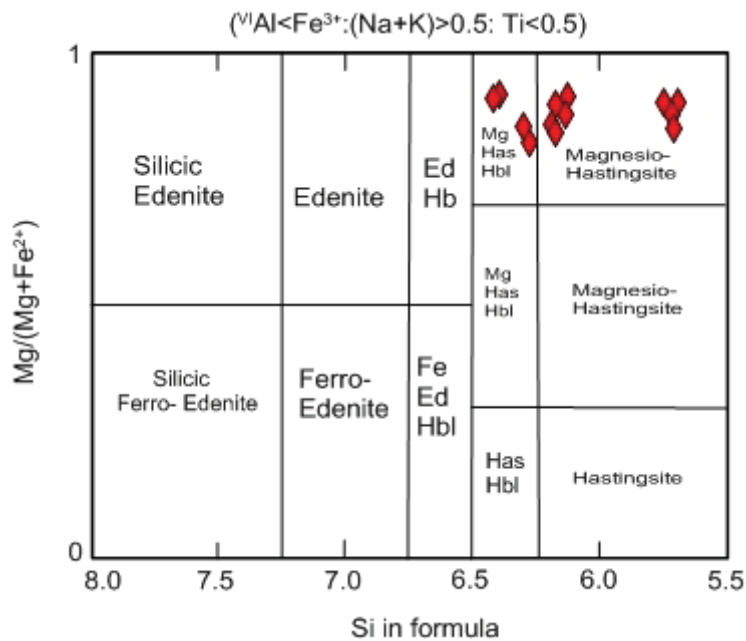
ادامه شکل ۲. I) بیوتیت، آمفیبول، پلاژیوکلاز، میان‌بار در درشت کریستال ارتوکلاز. J) تجزیه بیوتیت به کلریت. K) رگه کلسیت داخل توده نفوذی. L) تیغه‌های پیروکسن تبدیل شده به کلسیت. M) اسفن شکل‌دار. N) زیرکن درشت در توده گرانیتوئید. O) بیوتیت-کلینوپیروکسن-پلاژیوکلاز-کوارتز در گرانودیوریت. P) اسفن شکل‌دار در توده. (کلیه تصاویر در حالت XPL). در تمام تصاویر میکروسکوپی علائم کانی‌ها عبارتند از: Qz=کوارتز؛ Pl=پلاژیوکلاز؛ Afs, Or, Fsp, Kfs= ارتوکلاز (فلدسپارپتاسیم)؛ Bt=بیوتیت، Chl=کلریت؛ Amp=آمفیبول؛ Spn=اسفن؛ Ap=آپاتیت؛ Cal=کلسیت؛ Cpx=کلینوپیروکسن؛ Crd=کوردیریت؛ Ep=ایپدوت؛ Grt=گارنت؛ Prh=پره‌نیت؛ Ser=سرسیت؛ Zrn=زیرکن.



شکل ۳. ترکیب بیوتیت‌های مورد بررسی در نمودار Al در مقابل Fe/(Fe+Mg) (Deer et al., 1992; Rieder et al., 1998)



شکل ۴- ترسیم اکسیدهای (A) \*FeO و (B) MgO در برابر  $Al_2O_3$  بیوتیت‌های مورد بررسی در نمودارهای (Abdel-Rahman (1994).



شکل ۵. طبقه‌بندی آمفیبول‌ها براساس نمودار Si در مقابل  $Mg/(Mg+Fe^{2+})$  (Leake et al., 1997).

جدول ۲. نتایج تجزیه آمفیبول‌ها به روش EPMA از توده شیورداغ.

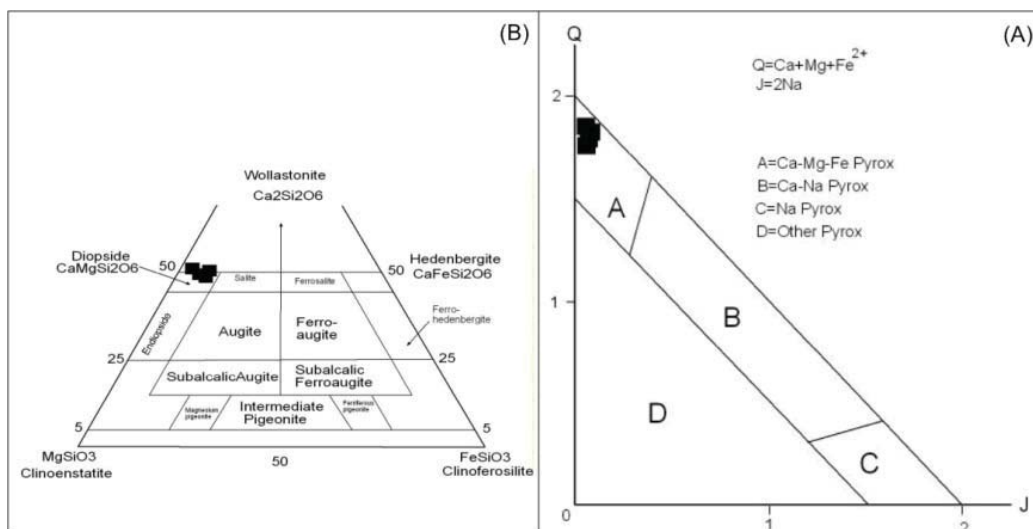
	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	A-G-6	A-G-6	A-G-6	A-G-6	A-J-7	A-J-7	A-J-7	A-J-7	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5
SiO <sub>2</sub>	55.31	55.26	55.29	55.36	49.17	49.15	49.02	49.08	49.41	49.38	49.31	49.35	51.66	51.71	51.69	51.73	51.70
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.11	0.08	0.12	1.03	1.01	1.08	1.04	0.72	0.68	0.73	0.62	0.31	0.33	0.34	0.29	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.48	0.46	0.47	0.51	5.17	4.98	5.18	5.14	4.57	4.61	4.52	4.67	3.06	3.08	3.11	3.04	3.07
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	9.02	9.05	9.11	9.06	9.61	9.72	9.68	9.67	11.72	11.76	11.69	11.66	10.67	10.71	10.62	10.73	10.70
MnO	0.36	0.38	0.37	0.34	0.36	0.41	0.39	0.34	0.62	0.58	0.69	0.57	0.41	0.42	0.45	0.39	0.42
MgO	18.91	18.87	18.89	18.82	17.41	17.43	17.36	17.42	15.92	15.99	16.02	16.06	17.33	17.39	17.41	17.35	17.36
CaO	12.68	12.64	12.69	12.61	11.47	11.68	11.71	11.69	11.61	11.69	11.62	11.71	11.81	11.83	11.79	11.84	11.78
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.13	0.09	0.08	1.28	1.29	1.27	1.31	1.02	1.11	1.08	1.14	0.36	0.75	0.73	0.75	0.71
K <sub>2</sub> O	0.03	0.02	0.01	0.02	0.38	0.36	0.32	0.41	0.38	0.41	0.32	0.39	0.21	0.23	0.19	0.25	0.24
Total	96.99	96.92	97.00	96.92	95.88	96.03	96.01	96.10	95.97	96.21	95.98	96.17	95.82	96.45	96.33	96.37	96.29
Formula	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)	23(O)
Si	7.88	7.88	7.88	7.89	7.20	7.20	7.18	7.18	7.30	7.28	7.29	7.28	7.55	7.52	7.52	7.53	7.53
Ti	0.01	0.01	0.01	0.01	0.11	0.11	0.12	0.11	0.08	0.08	0.08	0.07	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03
Al	0.08	0.08	0.08	0.09	0.89	0.86	0.89	0.89	0.80	0.80	0.79	0.81	0.53	0.53	0.53	0.52	0.53
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>++</sup>	1.08	1.08	1.09	1.08	1.18	1.19	1.19	1.18	1.45	1.45	1.44	1.44	1.30	1.30	1.29	1.31	1.30
Mn	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.08	0.07	0.09	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05
Mg	4.02	4.01	4.02	4.00	3.80	3.80	3.79	3.80	3.51	3.52	3.53	3.53	3.77	3.77	3.78	3.76	3.77
Ca	1.94	1.93	1.94	1.93	1.80	1.83	1.84	1.83	1.84	1.85	1.84	1.85	1.85	1.84	1.84	1.85	1.84
Na	0.03	0.04	0.02	0.02	0.36	0.37	0.36	0.37	0.29	0.32	0.31	0.33	0.10	0.21	0.21	0.21	0.20
K	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.07	0.06	0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04
Total	15.08	15.08	15.08	15.06	15.46	15.48	15.47	15.49	15.41	15.44	15.42	15.45	15.23	15.31	15.30	15.31	15.30
Mg (Mg+Fe <sub>2</sub> )	0.83	0.83	0.83	0.82	1.00	1.02	1.02	1.02	0.89	0.91	0.91	0.92	0.84	0.88	0.88	0.88	0.88
Fe <sub>2</sub> (Fetot)	0.78	0.77	0.77	0.83	-0.01	-0.06	-0.06	-0.06	0.29	0.24	0.23	0.20	0.56	0.38	0.38	0.39	0.41
Al (Al+Fe <sub>3</sub> +Cr)	0.25	0.24	0.24	0.31	0.43	0.40	0.42	0.41	0.44	0.42	0.41	0.41	0.48	0.39	0.40	0.40	0.41
(Na+K)A	0.01	0.00	0.00	0.00	0.20	0.23	0.22	0.24	0.17	0.21	0.17	0.22	0.04	0.06	0.05	0.07	0.05
M (M+Fe <sub>2</sub> +)	0.85	0.85	0.86	0.85	0.91	0.90	0.90	0.89	0.83	0.82	0.84	0.83	0.89	0.87	0.88	0.86	0.87
100Na (Na+Ca)	1.55	1.83	1.27	1.13	16.80	16.66	16.41	16.86	13.72	14.66	14.40	14.98	5.23	10.29	10.08	10.28	9.83
100Al (Al+Si)	1.01	0.97	0.99	1.07	11.03	10.67	11.08	10.99	9.83	9.91	9.75	10.04	6.53	6.56	6.62	6.48	6.54
Al(VI)Fe <sub>3</sub> +TiCr	0.30	0.30	0.31	0.32	0.85	0.78	0.79	0.77	0.76	0.72	0.77	0.73	0.78	0.68	0.71	0.66	0.70

ماگمای سازنده کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه، آلکانل می‌باشد. براساس نمودار Ca+Na در مقابل (Letterier et al., 1982) Ti، که سری‌های توله‌ایتی و کالک‌آلکانل را از آلکانل تفکیک می‌کند، کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه به سری‌های آلکانل تعلق دارند (شکل ۸-۸). از لحاظ محیط تشکیل، می‌توان کلینوپیروکسن‌های تشکیل شده در MORB و توله‌ایت‌ها را از قوس آتشفشانی تمیز داد (Letterier et al., 1982). از نمودار Ca در مقابل Ti+Cr مشخص است اغلب کلینوپیروکسن‌ها در محدوده قوس آتشفشانی واقع می‌گردند (شکل ۸-۸).

فلدسپار: ترکیب فلدسپارهای تجزیه‌شده از توده شیورداغ در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. براساس نمودار Ab-An-Or ترکیب پتاسیم‌فلدسپارها در محدوده سانیدین (ارتوکلاز) و ترکیب پلاژیوکلازها در محدوده آندزین و الیگوکلاز ترسیم می‌گردند.

کلینوپیروکسن: ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. طبقه‌بندی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی براساس نمودار Q-J (Morimoto, 1989) نشان می‌دهد که آن‌ها در ردیف کلینوپیروکسن‌های Ca-Mg-Fe واقع می‌شوند (شکل ۶-۸). همچنین براساس نمودار مثلثی En-Wo-Fs آنها اغلب ترکیب دیوپسیدی داشته (شکل ۶-۸) و تغییرات در اعضای نهایی بیشتر به صورت تبادل En و Fs می‌باشد که جایگزینی انستاتیت توسط فروسیلیت در طول تبلور تفریقی را به نمایش می‌گذارد (Gibb, 1973; Moazzen & Oberhänsli, 2008).

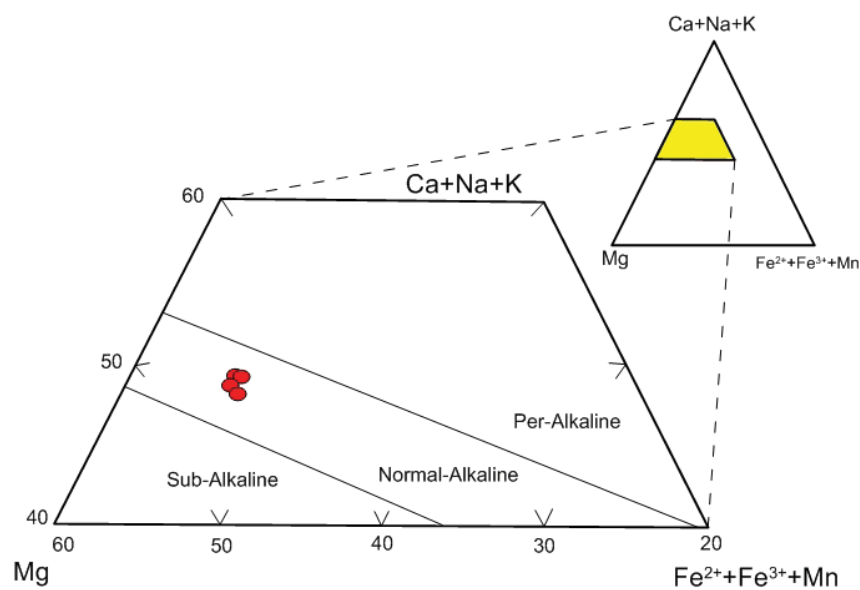
به‌منظور تعیین ماهیت ماگمای منشا کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی، از نمودار مثلثی (Fe<sup>2+</sup>+Fe<sup>3+</sup>+Mn)-Mg-(Ca+K+Na) (Le Bas, 1962) استفاده شده است (شکل ۷)؛ بر این اساس،



شکل ۶. طبقه بندی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی توسط نمودار (Q-J) En-Wo-Fs (Morimoto, 1989) که به ترتیب غالباً در محدوده پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe و دیوپسید واقع می‌گردند.

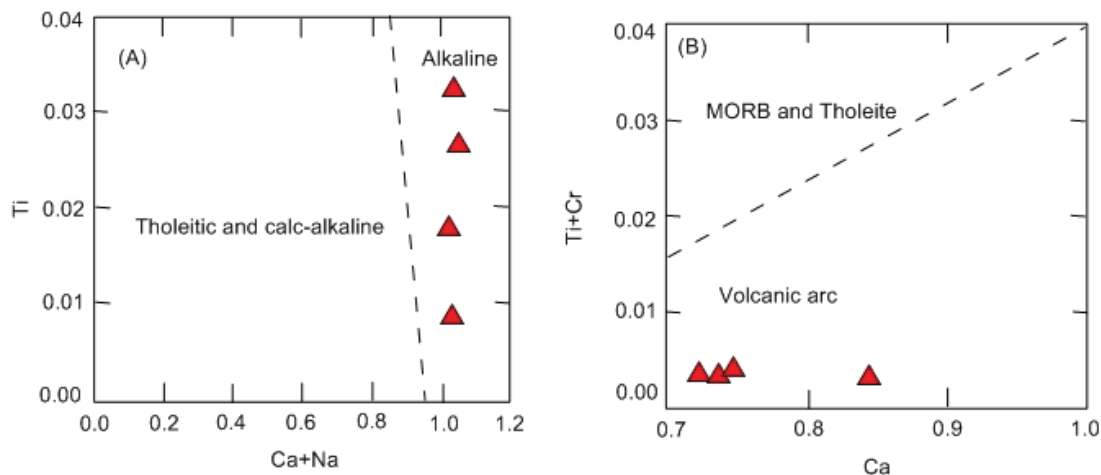
جدول ۳- نتایج تجزیه کلینوپیروکسن‌ها به روش EPMA از توده شیورداغ.

	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2
SiO <sub>2</sub>	53.51	53.48	53.62	53.44
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.03	0.04	0.01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.18	0.17	0.19	0.16
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	5.12	5.16	5.08	5.09
MnO	0.58	0.61	0.63	0.61
MgO	15.41	14.91	15.38	15.52
CaO	24.61	24.72	24.57	24.55
Na <sub>2</sub> O	0.19	0.17	0.21	0.18
K <sub>2</sub> O	0.01	0.00	0.00	0.01
Total	99.63	99.25	99.72	99.57
Formula (corr.)	6(O)	6(O)	6(O)	6(O)
Si	1.98	1.99	1.98	1.98
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	0.01	0.01	0.01	0.01
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>3+</sup>	0.05	0.03	0.04	0.06
Fe <sup>2+</sup>	0.11	0.13	0.11	0.10
Mn	0.02	0.02	0.02	0.02
Mg	0.85	0.83	0.85	0.86
Ca	0.97	0.98	0.97	0.97
Na	0.01	0.01	0.02	0.01
K	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.00	4.00	4.00	4.00
En	0.44	0.42	0.44	0.44
Fs	0.06	0.07	0.06	0.05
Wo	0.50	0.51	0.50	0.50



شکل ۷. تعیین ترکیب کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار مثلثی (LeBas, 1962)  $(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+} + \text{Mn}) - \text{Mg} - (\text{Ca} + \text{K} + \text{Na})$  که بیانگر غنی بودن کلینوپیروکسن‌ها از عناصر آلكالی است.





شکل ۸. نمودارهای (A) جهت تعیین سری ماگمایی و محیط تکتونیکی. (B) کلینوپیروکسن‌های مورد مطالعه به سری‌های آلکانل تعلق دارند، (B) کلینوپیروکسن‌ها در محدوده قوس آتشفشانی واقع می‌گردند.

جدول ۴. نتایج تجزیه پلاژیوکلازها به روش EPMA از توده شیورداغ.

	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	A-J-8	A-J-8	A-J-8	A-J-8	A-Zn-2	A-G-6	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5
SiO <sub>2</sub>	57.78	57.83	57.76	57.82	59.18	59.21	59.31	59.33	60.58	60.61	60.56	60.63	60.65
TiO <sub>2</sub>	0.07	0.07	0.08	0.09	0.04	0.03	0.08	0.07	0.18	0.19	0.17	0.21	0.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.61	25.63	25.59	25.64	24.81	24.86	24.79	24.81	24.51	24.56	24.49	24.50	24.48
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.21	0.19	0.17	0.23	0.02	0.03	0.08	0.06	0.26	0.21	0.23	0.19	0.24
MnO	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
MgO	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.03	0.04	0.06	0.02
CaO	7.14	7.21	7.19	7.16	6.26	6.24	6.31	6.29	5.08	5.06	5.09	5.11	5.13
Na <sub>2</sub> O	6.94	6.89	6.94	6.88	7.81	7.92	7.68	7.89	8.02	8.08	8.12	8.06	8.11
K <sub>2</sub> O	0.41	0.39	0.44	0.42	0.31	0.33	0.28	0.26	0.67	0.69	0.61	0.64	0.67
Total	98.18	98.24	98.19	98.25	98.46	98.66	98.54	98.74	99.32	99.43	99.32	99.40	99.47
Formula	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)
Si	2.63	2.63	2.63	2.63	2.68	2.68	2.68	2.68	2.71	2.71	2.71	2.71	2.71
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	1.37	1.37	1.37	1.37	1.32	1.32	1.32	1.32	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>++</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.31	0.30	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25
Na	0.61	0.61	0.61	0.61	0.69	0.69	0.67	0.69	0.70	0.70	0.71	0.70	0.70
K	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
Total	5.00	5.00	5.00	5.00	5.01	5.02	5.00	5.01	5.00	5.01	5.01	5.00	5.01
Na / (Na+K+Ca)	0.62	0.62	0.62	0.62	0.68	0.68	0.68	0.68	0.71	0.71	0.72	0.71	0.71
K / (Na+K+Ca)	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Ca / (Na+K+Ca)	0.35	0.36	0.35	0.36	0.30	0.30	0.31	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
An%	35.37	35.80	35.47	35.60	30.15	29.76	30.72	30.13	24.91	24.68	24.82	24.98	24.90
Ab%	62.21	61.90	61.95	61.91	68.07	68.36	67.66	68.39	71.18	71.31	71.64	71.30	71.23
Or%	2.42	2.31	2.58	2.49	1.78	1.87	1.62	1.48	3.91	4.01	3.54	3.73	3.87

در سنگ، به خوبی درک شده و کانی‌های سنگ مورد مطالعه در حالت تعادل باشند (Thomas, 1998). در این نوشتار از محتوای Altot در هورنبلندهای موجود در توده گرانیتوئیدی، محتوای Si هورنبلندهای متعادل با پلاژیوکلازها در توده گرانیتوئیدی و واکنش آمفیبول - کلینوپیروکسن در گرانیتوئید استفاده شده است. تنوع ساختاری و ترکیب شیمیایی آمفیبول موجب می‌شود تا این کانی بتواند در گستره بزرگی از انواع سنگ‌ها با شرایط فشار و دمای متفاوت ظاهر شود. زمین دماسنجی با بهره‌گیری از محتوای Altot هورنبلند فقط در سنگ‌های کلسیمی - قلیایی امکان‌پذیر است. به همین دلیل در مطالعه حاضر از روش‌های یاد شده برای محاسبه فشار و دمای جایگزینی باتولیت شیورداغ استفاده شده

(شکل ۹-۱). ترمومتری فلدسپارها براساس نمودار Ab-An-Or (Fuhrman & Lindsley, 1988; Nekvasil, 1992) نشان می‌دهد که تبلور آن‌ها در حرارت حدود ۷۵۰-۷۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند (شکل ۹-۲). چنین دماهای پایینی ممکن است نشانگر دمای اوج تشکیل سنگ‌های مورد بررسی نباشد چرا که می‌تواند حاصل تعادل دوباره فلدسپارها در حالت نیمه‌جامد باشد (Moaz-zen & Droop, 2005).

### ترموبارومتري

روش‌های دماسنجی و فشار سنجی را تنها زمانی می‌توان به کار برد که بافت کانی‌ها در سنگ و روابط همبستگی بین کانی‌های موجود

جدول ۵. نتایج تجزیه پتاسیم فلدسپارها به روش EPMA از توده شیورداغ.

	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	A-Zn-2	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	M-Z-5	A-G-6	A-G-6	A-G-6	A-G-6
SiO <sub>2</sub>	62.71	62.68	62.69	62.77	62.63	62.72	62.70	62.64	62.66	62.71	62.64	62.73	62.81
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.19	0.12	0.14	0.19	0.18	0.11	0.09	0.18	0.21	0.19	0.17	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.38	20.41	20.34	20.36	20.42	20.44	20.39	20.28	20.39	20.41	20.44	20.51	20.49
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.14	0.13	0.16	0.14	0.11	0.17	0.15	0.18	0.14	0.11	0.13	0.16	0.17
MnO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
MgO	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01
CaO	1.18	1.13	1.17	1.12	1.16	1.19	1.21	1.19	1.19	1.21	1.18	1.24	1.23
Na <sub>2</sub> O	4.51	4.48	4.44	4.52	4.58	4.51	4.49	4.46	4.52	4.57	4.53	4.59	4.61
K <sub>2</sub> O	9.27	9.26	9.31	9.21	9.26	9.32	9.34	9.29	9.29	9.31	9.35	9.28	9.36
Total	98.39	98.29	98.24	98.29	98.38	98.53	98.39	98.15	98.39	98.55	98.51	98.72	98.86
Formula	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)	8(O)
Si	2.89	2.89	2.90	2.90	2.89	2.89	2.89	2.90	2.89	2.89	2.89	2.89	2.89
Ti	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Al	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>++</sup>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Na	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.40	0.40	0.40	0.40	0.41	0.41	0.41	0.41
K	0.55	0.55	0.55	0.54	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.55
Total	5.02	5.02	5.02	5.02	5.03	5.02	5.02	5.02	5.02	5.03	5.03	5.03	5.03
Na / (Na+K+Ca)	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
K / (Na+K+Ca)	0.54	0.54	0.55	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Ca / (Na+K+Ca)	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
An%	5.79	5.58	5.77	5.53	5.67	5.82	5.92	5.86	5.83	5.88	5.75	6.02	5.94
Ab%	40.05	40.01	39.60	40.36	4.48	39.91	39.72	39.72	40.04	40.21	39.97	40.33	40.27
Or%	54.16	54.41	54.63	54.11	53.85	54.27	54.36	54.43	54.14	53.90	54.28	53.65	53.80

$$T = \frac{0.667 - 48.98Y}{-0.0429 - 0.008314 \times \ln K}$$

$$K = \frac{(Si - 4)}{(8 - Si)} X_{Ab}^{plg}$$

توده گرانودیوریتی شیورداغ در دمای متوسط ۶۷۵ °C متبلور شده است (جدول ۶).

بر اساس Otten (1984) دمای تبلور توده شیورداغ براساس مقدار Ti آمفیبول، بطور متوسط ۶۲۳ °C تعیین شده است (جدول ۶).

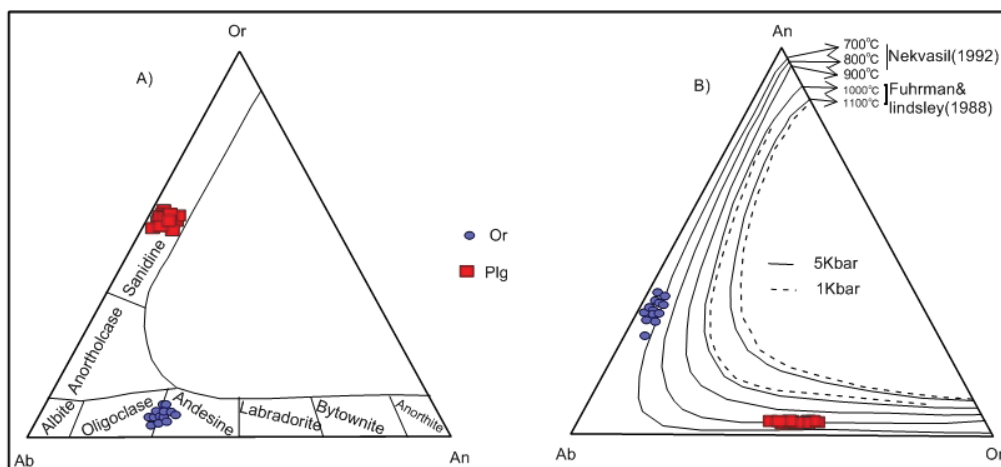
است. بر پایه ترکیب هورنبلند و با استفاده از رابطه Johnson et al. (1989):

$$r^2 = 0.99 P(\pm 0.5 \text{Kbar}) = -3.46 + 4.23 Al^{tot}$$

و رابطه Vyhna et al. (1991)

$$T = 25.3P + 654.9$$

توده گرانودیوریتی شیورداغ در دمای بین ۶۷۰ °C تا ۷۴۰ °C و فشار ۱/۵ تا ۲/۴ کیلو بار، متبلور شده است. براساس ژئوترموتر هورنبلند-پلاژیوکلاز (جدول ۶) و با استفاده از رابطه Blundy et al. (1990):



شکل ۹. ترکیب فلدسپارها در نمودار B، (Ab-An-Or) ترمومتری فلدسپارها در نمودار مثلثی Ab-An-Or.

جدول ۶. ترمومتری و بارومتری باتولیت شیورداغ بر اساس ترکیب پلاژیوکلاز - هورنبلند

Plagioclase-Hornblende Thermobarometry (temperature by Holland and Blundy 1994; Blundy and Holland, 1990;														
Results based on iteration using Anderson and Smith pressure at various thermometers (note: ja prefers HB2 results)												Average		
T (C) HB1*	518.08	525.62	510.81	498.95	766.52	778.86	784.06	777.32	734.13	742.52	747.82	744.50	640.85	674.62
T (C) BH	488.02	486.77	489.54	485.13	678.63	677.92	684.28	680.96	654.49	656.60	655.34	657.96	607.15	607.91
* HB 1 refers to Holland and Blundy Hbl-Plag thermometry calibration reaction edenite + 4 quartz = tremolite + albite														
BH refers to Blundy and Holland Hbl-Plag thermometry calibration reaction edenite + 4 quartz = tremolite + albite														
Temperature based on Ti (Otten, 1984) - warning: semi empirical; best used to determine magmatic versus secondary compositions														
T (C) T+hb1	556.62	559.22	555.33	560.49	680.67	678.24	687.32	682.03	640.61	635.20	642.05	627.20	585.71	622.36

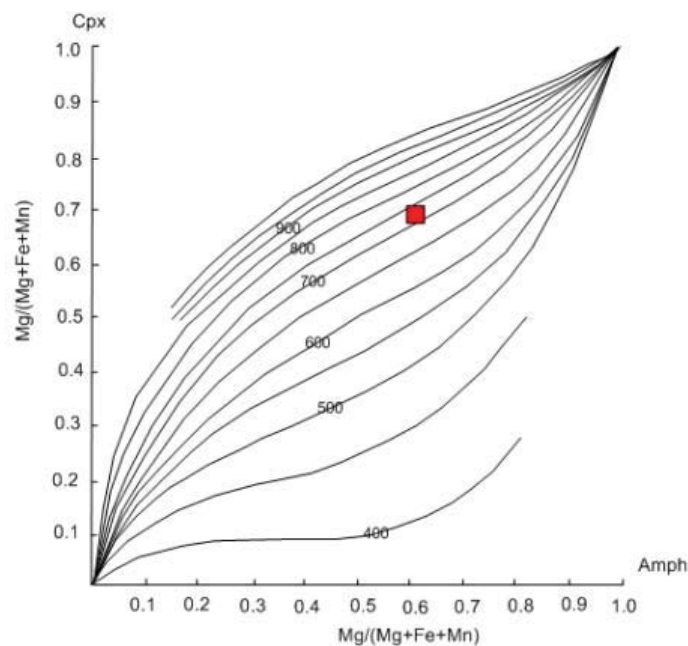
مقدار سیلیس نمونه‌ها از ۵۳/۴٪ تا ۷۶/۹٪ متغیر بوده و میانگین درصد سیلیس در آن‌ها ۶۵/۴٪ است. بیشترین و کمترین میزان  $Na_2O+K_2O$  در این توده برابر ۵/۷۱٪ و ۹/۳۲٪ و میانگین آن‌ها ۷/۴٪ است. میزان  $Na_2O/K_2O$  اکثر نمونه‌ها بیش از ۱ می‌باشد. درصد آلومین نمونه‌ها بین ۱۱/۹۶٪ تا ۱۶/۹۹٪ با میانگین ۱۴/۷۱٪ است و تمام نمونه‌ها ویژگی متآلومینوس و آپلیت‌ها ویژگی پرآلومینوس از خود نشان می‌دهند (شکل ۱۵- A). مقدار  $TiO_2$  این نمونه‌ها از ۰/۱٪ تا ۱/۱٪ با میانگین ۰/۶٪ متغیر می‌باشد.

جهت بررسی روند تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی این سنگ و تعیین مسیر تحولات ماگمایی از نمودارهای هارکر (Harkr-er, 1909) استفاده شده است. در نمودارهای هارکر رسم شده (شکل ۱۲) با افزایش  $SiO_2$  مقادیر  $CaO$ ،  $MgO$ ،  $FeO$  و  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  سیر نزولی نشان می‌دهند. این فرایند می‌تواند نشانگر فرایند تفریق و تشکیل تیتانومگنتیت، آمفیبول، پلاژیوکلاز و جدایش آن‌ها از مذاب سیلیکاته و یا به عبارتی زونینگ ترکیبی در توده باشد، چرا که نمونه‌های مافیک‌تر مربوط به حاشیه توده بوده و

(Anderson 1996)، روش دیگری را جهت ترمومتری سنگ‌های آذرین و دگرگونی بر مبنای ضریب توزیع آهن و منیزیم در دو کانی آمفیبول و کلینوپیروکسن پیشنهاد نموده است. با استفاده از ترکیب شیمیایی کانی‌های یاد شده (جدول ۲ و ۳)، مقادیر XMg این کانی‌ها در توده شیورداغ محاسبه و مقادیر آن‌ها بر روی نمودار منتقل گردید. بر این اساس، توده گرانودیوریتی شیورداغ در دمای ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد، متبلور شده است (شکل ۱۰).

### ژئوشیمی

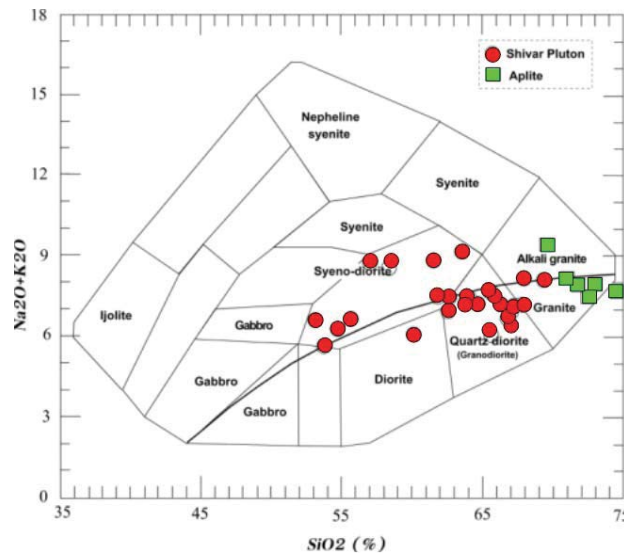
نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های توده شیورداغ به روش ICP-MS در جدول ۷ آورده شده است. در این جدول نتایج اکسیدهای عناصر اصلی بر حسب درصد و عناصر کمیاب بر حسب ppm در نظر گرفته شده‌اند. بر اساس رده‌بندی شیمیایی در نمودار (Cox et al., 1979)  $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ ، نمونه‌ها در محدوده گرانودیوریت و سینودیوریت قرار می‌گیرند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. ارزیابی دمای تشکیل توده گرانودیوریتی شیورداغ با استفاده از مقادیر  $Mg/(Mg+Fe+Mn)$  مربوط به کانی‌های آمفیبول و کلینوپیروکسن (Anderson, 1996).

جدول ۷. نتایج آنالیز نمونه‌های توده شیور داغ به روش ICP-MS

	A-Sh-1	A-Sh-2	A-Sh-3	A-Sh-4	A-Sh-5	A-Sh-6	A-Sh-7	A-Sh-8	A-Sh-9	A-Sh-10	A-Sh-11	A-Sh-12	A-Sh-13	A-Sh-14	A-Sh-15	A-Sh-16	A-Sh-17
SiO <sub>2</sub>	66.3	64.49	64.68	67.69	68.58	67.32	66.95	66.18	67.84	66.1	60.58	63.35	63.15	62.3	61.98	63.14	73.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.3	15.14	15.88	14.8	14.35	14.9	14.75	15.06	14.98	14.68	13.7	15.1	14.48	14.14	15.01	13.98	12.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.88	4.32	3.8	2.65	3.04	3.92	4.75	3.88	5.02	5.65	5.78	3.44	4.32	5.71	4.88	4.14	2.64
CaO	4.72	4.08	3.52	2.8	4.52	4.44	4.24	3.82	3.83	3.94	6.71	6.48	5.21	4.91	4.48	5.14	0.41
MgO	2.05	2.58	2.21	1.79	1.38	1.8	1.92	2.68	1.27	1.27	3.09	2.98	2.42	2.84	2.86	2.74	0.44
Na <sub>2</sub> O	3.24	4.24	4.08	3.96	4.27	3.96	4.08	4.08	4.05	4.04	3.17	3.26	3.98	3.74	4.92	4.28	4.14
K <sub>2</sub> O	2.9	3.0	3.27	3.14	3.8	2.8	3.14	3.54	3.1	3.62	3.0	2.45	2.94	3.72	3.84	3.14	3.71
TiO <sub>2</sub>	0.88	0.71	0.58	0.42	0.48	0.65	0.85	0.89	0.77	0.98	1.14	1.05	0.98	0.72	0.75	0.86	0.19
MnO	0.08	0.09	0.06	0.04	0.06	0.12	0.13	0.09	0.08	0.07	0.18	0.13	0.08	0.06	0.09	0.08	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.62	0.48	0.44	0.39	0.37	0.42	0.47	0.37	0.29	0.31	0.62	0.58	0.36	0.48	0.44	0.51	0.04
LOI	0.08	0.82	0.96	1.08	0.62	0.58	0.24	0.08	0.06	0.08	1.02	0.08	1.14	1.08	1.06	1.81	1.18
Total	101.03	99.97	99.48	98.76	101.47	100.91	101.52	100.67	101.29	100.74	98.97	98.9	99.06	99.86	100.31	99.82	99.46
Ba	820	848	660	585	572	482	662	732	848	379	362	384	684	642	586	602	596
Ce	69.2	72.4	70.8	64.2	58.3	60.8	62.1	58.4	54.2	52.7	82.1	77.4	71.7	73.1	69.2	68.3	34.3
Co	28	44	32	34	18	30	19	32	24	27	42	44	10.1	13.2	14.1	10.9	3.7
Cr	82	84	102	84	58	110	59	72	94	37	62	36	41	38	40	39	10
Cs	4.82	4.91	4.88	3.8	3.72	3.7	4.01	4.23	3.98	3.99	2.21	2.12	3.17	4.12	3.98	4.02	0.71
Cu	202	198	214	208	168	198	172	169	207	189	248	232	313	294	324	318	276
Dy	2.43	2.58	2.62	2.14	2.18	2.24	2.81	2.74	2.67	2.82	3.28	3.7	2.6	2.71	2.98	3.01	1.82
Er	1.8	1.72	2.01	1.92	1.18	1.72	2.02	1.78	1.69	2.14	2.3	2.12	1.44	1.38	1.69	1.82	1.26
Eu	1.21	1.19	1.31	1.28	1.17	1.08	1.18	2.01	1.04	1.28	2.02	2.14	1.38	1.14	1.48	1.54	0.42
Ga	17.4	16.8	16.9	18.1	16.7	15.8	15.4	16.4	14.9	19.1	21.9	20.8	19.6	18.8	18.2	17.9	14.3
Gd	4.54	4.18	4.4	4.18	3.98	3.68	4.12	4.37	4.55	4.8	4.91	4.84	4.61	4.39	3.98	3.84	2.06
Hf	5.2	4.8	4.1	3.9	4.2	5.1	3.7	3.6	4.7	4.2	2.8	2.6	5.3	5.2	3.8	4.9	3.7
Ho	0.42	0.48	0.51	0.5	0.48	0.53	0.61	0.6	0.59	0.64	0.69	0.62	0.42	0.41	0.39	0.48	0.42
La	68.2	99.4	59.8	74.8	68.2	66.7	71.2	58.9	100.2	92.8	68.4	70.8	41.9	42.1	40.9	39.8	19.6
Lu	0.17	0.19	0.14	0.08	0.1	0.12	0.07	0.14	0.19	0.17	0.21	0.24	0.18	0.16	0.17	0.21	0.24
Mo	6	10	7	4	7	8	9	6	5	4	9	10	6	9	8	7	4
Nb	26.7	29.4	24.8	23.7	22.9	20.8	25.4	30.2	29.2	19.8	14.7	13.6	19.6	18.7	17.2	19.2	11.8
Nd	28.4	23.7	26.4	27.2	22.4	21.7	20.6	19.7	16.4	17.2	24.5	16.7	28.6	29.1	28.4	27.6	11.3
Ni	98	114	96	90	101	98	126	84	72	72	61	103	28	30	29	34	10
Pb	59	52	71	62	60	54	80	59	81	76	110	68	80	78	84	87	138
Pr	2.48	3.21	4.82	5.01	1.07	3.41	4.07	4.02	3.84	3.79	6.02	5.85	8.19	7.87	8.21	7.99	3.44
Rb	148	158	124	147	140	138	124	99	152	126	94	92	99.8	98.6	96.7	101.2	97
Sm	3.96	4.8	4.91	1.93	2.85	3.81	3.75	2.01	2.78	1.05	2.98	3.41	4.39	4.81	4.78	4.94	1.97
Sr	720	668	745	672	670	588	754	618	538	740	800	782	706	712	717	736	83
Ta	1.42	1.51	0.92	1.41	1.62	1.77	1.65	1.23	1.19	1.31	0.82	0.93	1.51	1.7	1.42	1.63	1.31
Tb	0.58	0.57	0.49	0.48	0.52	0.47	0.38	0.44	0.51	0.42	0.58	0.61	0.57	0.52	0.57	0.49	0.32
Th	28.12	18.41	41.72	30.81	27.14	30.91	18.82	21.83	19.77	14.83	9.41	11.29	20.81	21.21	20.83	20.42	19.88
Tl	0.8	0.7	1.2	0.9	1.1	0.8	0.6	1.4	0.9	0.8	2.1	2.2	0.8	1.2	0.9	0.9	0.5
Tm	0.21	0.27	0.09	0.18	0.2	0.19	0.14	0.12	0.16	0.22	0.28	0.26	0.26	0.21	0.19	0.28	0.22
U	4.71	5.02	4.37	3.71	4.07	5.17	5.85	2.85	3.74	3.98	2.18	1.46	5.41	5.14	4.98	5.05	2.88
V	47	52	50	48	38	35	27	22	34	52	62	59	78	71	68	66	8
W	12	18	19	14	16	10	7	12	6	10	7	6	4	6	5	3	1
Y	12.61	10.12	14.12	10.27	13.17	15.06	9.86	10.14	17.2	10.7	14.6	15.2	12.62	12.12	12.4	11.89	10.92
Yb	1.26	1.22	1.13	1.18	1.32	1.24	1.08	1.14	2.01	1.14	1.36	2.14	1.24	1.21	1.19	2.01	1.51
Zr	210	196	202	196	148	157	172	202	137	110	154	141	161	96	141	149	169
	A-Sh-18	A-Sh-19	A-Sh-20	A-Sh-21	A-Sh-22	A-Sh-23	A-Sh-24	A-Sh-25	A-Sh-26	A-Sh-27	A-Sh-28	A-Sh-29	A-Sh-30	A-Sh-31	A-Sh-32	A-Sh-33	
SiO <sub>2</sub>	76.9	71.8	72.4	73.2	75.6	54.9	53.9	53.4	56.1	68.44	69.98	70.14	65.18	58.82	57.38	64.13	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.12	14.41	13.85	13.21	11.96	16.66	16.82	16.99	16.54	13.7	13.44	14.86	14.13	16.14	16.14	15.46	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.66	2.24	3.05	2.98	1.98	7.96	8.88	8.45	7.21	3.02	3.16	1.78	4.37	5.34	5.86	3.58	
CaO	0.54	1.71	1.58	1.32	0.64	6.68	6.78	6.48	6.09	3.72	2.71	1.84	4.57	5.41	5.94	3.48	
MgO	0.12	0.61	0.58	0.49	0.21	3.84	3.94	3.41	2.81	1.83	1.26	0.78	2.21	3.36	3.84	2.32	
Na <sub>2</sub> O	3.13	3.99	3.96	3.68	3.84	3.48	3.34	3.64	3.68	3.38	3.66	4.56	3.86	4.62	4.82	4.49	
K <sub>2</sub> O	4.21	4.12	3.89	3.78	3.81	2.81	2.41	3.0	2.94	3.81	4.36	4.76	3.36	3.88	3.82	4.58	
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.18	0.21	0.22	0.11	0.62	0.71	0.73	0.61	0.41	0.42	0.23	0.58	0.82	0.83	0.47	
MnO	0.01	0.04	0.06	0.04	0.02	1.14	1.09	1.16	1.18	0.07	0.07	0.03	0.08	0.09	0.11	0.06	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.08	0.06	0.04	0.03	0.24	0.26	0.24	0.21	0.22	0.14	0.12	0.28	0.43	0.44	0.24	
LOI	1.21	0.98	0.81	1.08	1.81	1.68	1.58	1.88	1.94	1.08	0.68	0.81	0.92	0.88	0.74	0.88	
Total	99.99	100.16	100.45	100.04	100.01	100.01	99.71	99.37	99.31	99.68	99.88	99.91	99.54	99.79	99.92	99.69	
Ba	177	892	612	588	201	586	536	521	486	986	794	496	766	952	904	838	
Ce	5.8	37.1	61.7	32.6	29.6	28.7	30.1	34.6	33.7	62.4	71.2	38.4	63.4	91.4	68.3	38.7	
Co	1.3	2.9	3.2	3.5	1.3	8.9	9.1	9.2	7	17	15	12	21	32	30	16	
Cr	8	11	9	10	8	13	10	11	8	18	24	8	21	38	36	21	
Cs	1.61	2.13	2.14	1.58	1.56	2.32	2.33	2.03	2.36	3.81	3.94	4.18	3.46	2.88	2.47	3.38	
Cu	277	310	312	198	188	341	337	391	371	188	172	112	208	238	244	196	
Dy	0.18	0.89	0.91	0.19	3.18	3.08	3.21	3.06	3.12	2.34	2.15	4.19	3.12	2.81	2.68	4.14	
Er	0.14	2.32	1.28	2.29	2.31	2.3	2.28	2.34	2.31	1.18	1.16	2.52	1.09	1.12	1.06	2.34	
Eu	0.13	0.53	0.44	0.12	1.18	1.17	1.18	1.16	1.17	1.14	1.26	0.78	1.34	1.57	1.64	1.74	
Ga	14.9	15.9	14.3	14.1	15.7	17.7	17.4	17.6	17.5	28.6	29.4	20.8	35.4	24.8	26.7	37.2	
Gd	0.27	1.66	2.07	0.29	3.98	4.01	3.96	3.98	3.03	3.21	3.18	5.18	3.38	3.46	3.51	5.86	
Hf	2.1	3.2	3.6	2.3	2.9	2.7	2.8	2.9	3.1	1.67	1.6	0.2	1.4	1.3	1.4	1.2	
Ho	0.09	0.18	0.43	0.08	0.78	0.81	0.79	0.74	0.54	0.41	0.44	0.92	0.41	0.36	0.34	0.88	
La	4.9	24.6	23.2	7.6	15.6	15.8	14.9	14.7	18.2	36.2	35.7	12.6	41.7	46.7	48.1	51.2	
Lu	0.04	0.09	0.08	0.03	0.37	0.35	0.37	0.36	0.18	0.16	0.15	0.31	0.12	0.17	0.13	0.32	
Mo	9	6	3	2	7	6	4	3	4	3	4	6	10	9	4	2	
Nb	13.6	13.7	12.2	9.7	3.7	48.2	52.7	50.8	24.2	20.8	23.6	14.2	24.1				



شکل ۱۱. موقعیت نمونه‌های توده شیورداغ و آپلیت‌ها در دیاگرام TAS (Cox et al., 1979).

دارای سرشت شوشونیتی و کلسیمی-قلیایی با پتاسیم بالا می‌باشد. در نمودار A/CNK - A/NK (Shand, 1943) نمونه‌های مربوط به توده نفوذی دارای ویژگی متآلومینوس و نمونه‌های مربوط به آپلیت‌ها ویژگی پرآلومینوس نشان می‌دهند (شکل ۱۵- Frost et al., 2001). در نمودار  $SiO_2 - FeO_t / FeO_t + MgO$  (A) نمونه‌های مربوط به توده نفوذی در گستره گرانیتهای کردیلرایی و داری ترکیب منیزین قرار می‌گیرند (شکل ۱۵-B). برای شناسایی محیط زمین‌ساختی توده نفوذی، از نمودارهای مختلف به شرح زیر استفاده شده است: در نمودار  $Zr / Al_2O_3 - TiO_2 / Al_2O_3$  (Muller and Groves., 1997) نمونه‌ها در محدوده وابسته به قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۱۶-A). برای تفکیک قوس‌های ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای و قوس‌های ماگمایی پس برخوردی نیز از نمودار  $Ce/P_2O_5 - Zr/TiO_2$  (Muller and Groves, 1997) استفاده شده است که در این نمودار بیشتر نمونه‌ها در محدوده قوس‌های پس‌برخوردی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۶-B). در نمودارهای سه متغیره  $Rb / 30-Hf-3 \times Ta$  (Harris et al., 1986) بیشتر نمونه‌ها در محدوده بعد از تصادم و تعدادی در محدوده درون‌صفحه‌ای قرار گرفته‌اند و در نمودار  $Rb/10-Hf-3 \times Ta$  نمونه‌ها در محدوده برخوردی و درون-صفحه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۱۷).

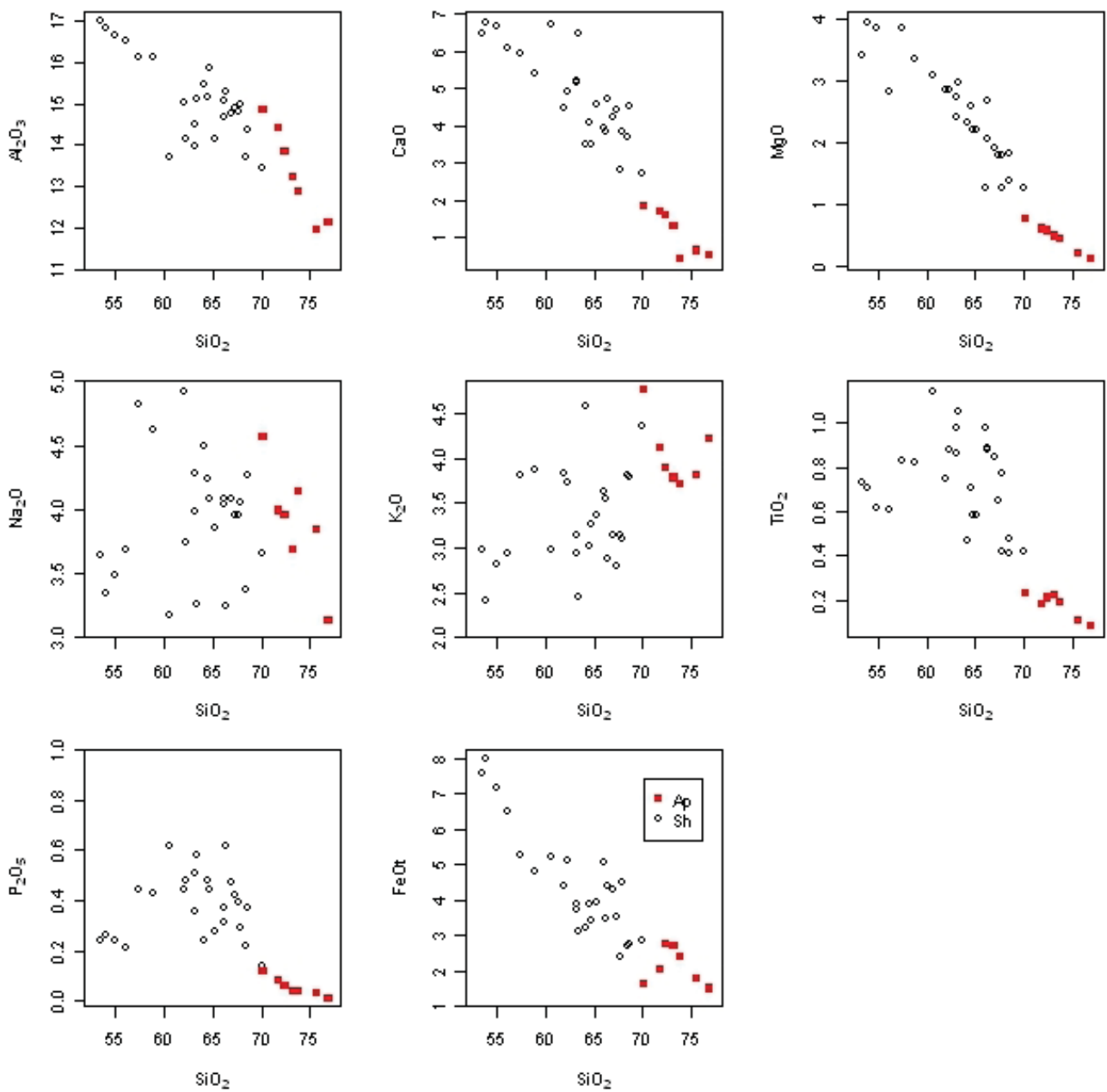
الگوی نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب که نسبت به پلاژیوگرانیتهای شکاف میان اقیانوسی بهنجار شده‌اند (شکل ۱۸)، سازگاری با توده نفوذی شیلی یا گرانیتهای آتشفشانی نشان می‌دهد (Pearce et al., 1984). این توده دارای بی‌هنجاری‌های مثبت و مشخص از  $Ba, Rb, K_2O, Th$  و بی‌هنجاری منفی  $Y, Zr, Hf$  و  $Yb$  دارند که نشان می‌دهد توده یاد شده در پوسته قاره‌ای با ضخامت زیاد تا متوسط جایگیری کرده و تحت تاثیر ذوب بخشی و آرایش پوسته‌ای قرار گرفته است. بی‌هنجاری منفی عناصر نادر خاکی سنگین می‌تواند مربوط به پدیده تفریق باشد.

نمونه‌های اسیدی‌تر مربوط به بخش‌های مرکزی توده نفوذی هستند. روند مشابه  $CaO, MgO, FeO$  نشانگر تبلور بخشی کلینوپیروکسن می‌باشد. روند نزولی  $TiO_2$  نشانگر حضور  $Ti$  در ساختار مگنتیت، آمفیبول و کانی‌های دیگر آهن و منیزیم‌دار است. روند تقریباً نزولی  $Al_2O_3$  بیانگر تفریق بخشی پلاژیوکلاز و پتاسیم‌فلدسپار است. روند صعودی  $Na_2O$  و  $K_2O$  نشانگر تبلور بخشی پلاژیوکلاز سدیک و ارتوکلاز همزمان با افزایش سیلیس ماگمایی می‌باشد. میزان  $P_2O_5$  تا مقدار سیلیس حدود ۶۶٪ افزایش نشان می‌دهد. این روند صعودی مقدار  $P_2O_5$  را می‌توان به تشکیل آپاتیت در طی تفریق ماگمایی تا میزان ۶۶٪ سیلیس نسبت داد.

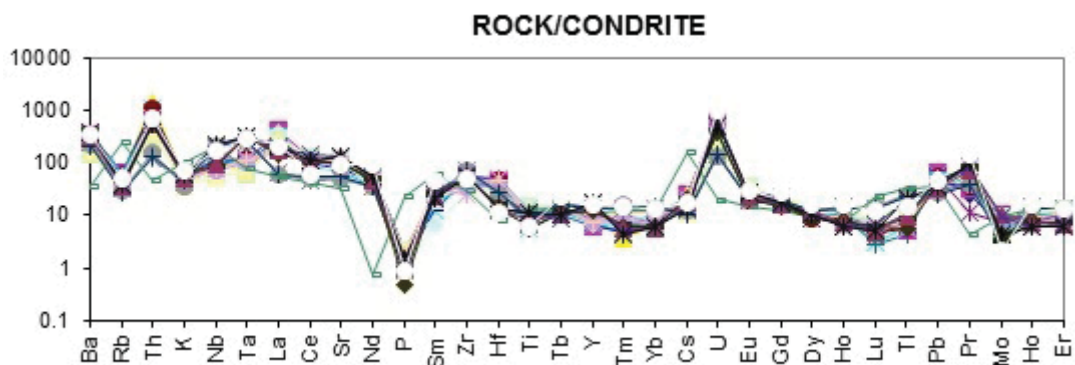
در نمودار عنکبوتی رسم شده برای عناصر کمیاب (شکل ۱۳)، بی‌هنجاری مشخص و مثبتی برای عناصر  $Ba, Rb, Th, La, Ta, Pr, Zr, Hf, Cs, U, Pb, Mo, P, Nd, Lu$  مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد تبلور بخشی آپاتیت سبب ناهنجاری منفی  $P$  شده است (Fam et al., 2003; Machado et al., 2005). تأثیر پوسته قاره‌ای در تکوین و تحول ماگمای مولد این توده نفوذی سبب ایجاد بی‌هنجاری‌های مثبت این عناصر می‌باشد. بی‌هنجاری مثبت  $Zr$  و  $Hf$  می‌تواند بدلیل حضور کانی زیرکن در این توده باشد.

### سری ماگمایی و محیط تکتونیکی

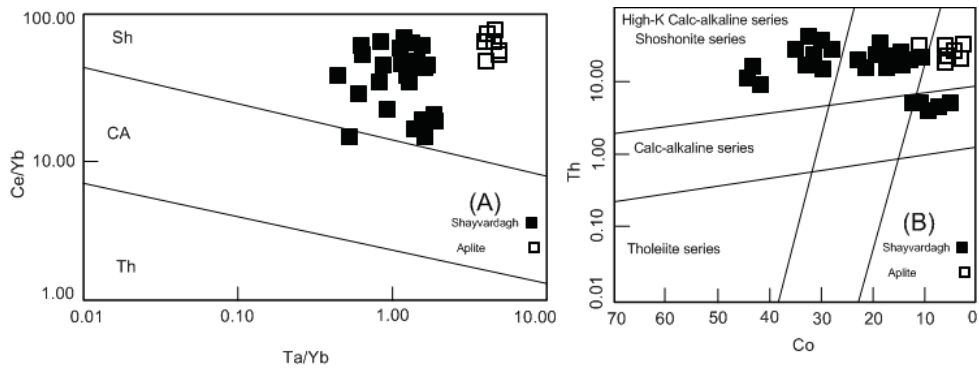
برای تعیین سری ماگمایی توده نفوذی از دیاگرام  $Ce/Yb - Ta/Yb$  (Pearce et al., 1984) استفاده شده است. در این نمودار که از عناصر نامتحرک HFSE استفاده شده است (شکل ۱۴-A)، بیشتر نمونه‌ها در گستره شوشونیتی و کمتر کلسیمی-قلیایی قرار گرفته‌اند. در نمودار  $Co - Th$  (Hastie et al., 2007) که از عناصر نامتحرک استفاده شده (شکل ۱۴-B)، نمونه‌ها در گستره کلسیمی-قلیایی با پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند. با توجه به این نمودارها می‌توان گفت که ماگمای مولد توده نفوذی شیورداغ



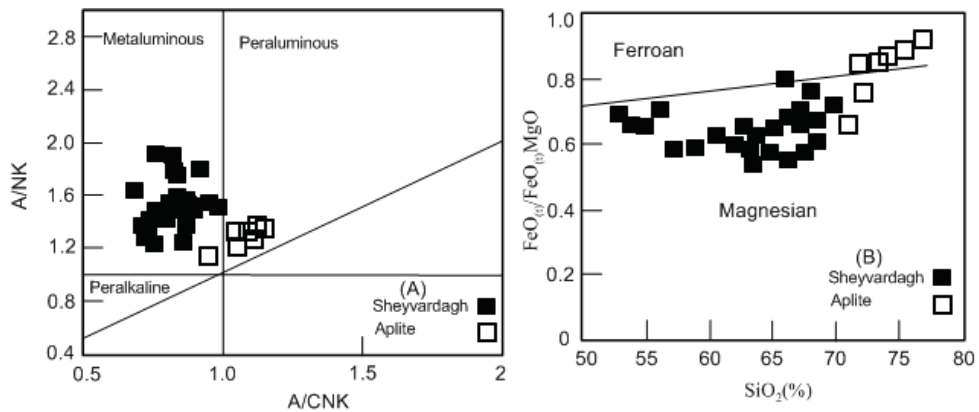
شکل ۱۲. نمودارهای اکسید-اکسید هارکر ((Harker, 1909) توده نفوذی شیورداغ.



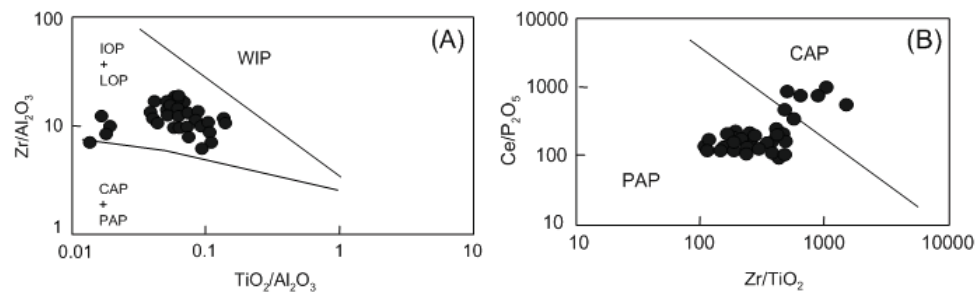
شکل ۱۳- نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب توده شیورداغ که برحسب کاهش ناسازگاری مرتب شده‌اند.



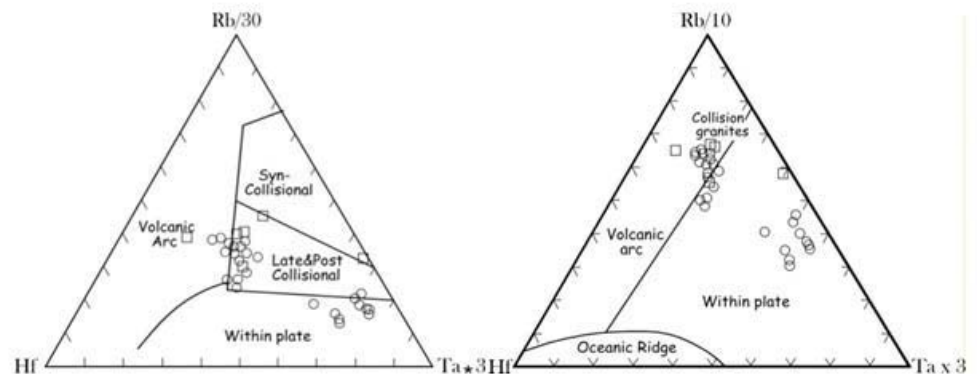
شکل ۱۴. (A) نمودار  $Ce/Yb - Ta/Yb$  (Pearce et al., 1984) و (B) نمودار  $Co - Th$  (Hastie et al., 2007) برای تعیین سری ماگمایی توده نفوذی شیورداغ.



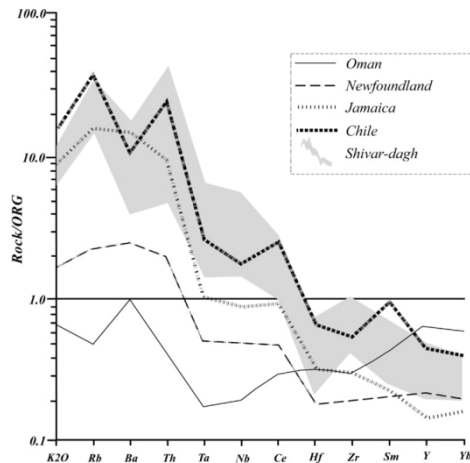
شکل ۱۵. (A) نمودار  $A/CNK - A/NK$  (Shand, 1943). نمونه‌های توده نفوذی ویژگی متآلومینوس و آپلیت‌ها ویژگی پراآلومینوس نشان می‌دهند و (B) نمودار  $SiO_2 - FeO_T/FeO_T+MgO$  (Frost et al., 2001).



شکل ۱۶. نمودارهای شناسایی محیط زمین‌ساختی  $Zr/Al_2O_3 - TiO_2/Al_2O_3$  (Muller and Groves., 1997) (A) که نمونه‌ها در محدوده وابسته به قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند و (B) نمودار  $Ce/P_2O_5 - Zr/TiO_2$  که اغلب نمونه‌ها در محدوده قوس‌های پس برخوردی (PAP) قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۷. نمودارهای سه متغیره (Harris et al., 1986) برای شناسایی محیط زمین‌ساختی توده نفوذی.



شکل ۱۸. نمودار عنکبوتی ترسیم شده برای عناصر کمیاب توده شیورداغ که نسبت به پلاژیوگرنیت‌های شکاف میان اقیانوسی (ORG) (Pearce et al., 1984) به‌نحار شده‌اند و مقایسه با داده‌های دیگر.

ترکیبی در توده است. افزایش میزان  $P_2O_5$  همراه با افزایش  $SiO_2$  مربوط به تشکیل آپاتیت طی تحول ماگمایی می‌باشد. عناصر  $Pr$  و  $Ba$ ،  $Rb$ ،  $Th$ ،  $La$ ،  $Ta$ ،  $Zr$ ،  $Hf$ ،  $Cs$ ،  $U$ ،  $Pb$ ،  $Mo$  و  $P$ ،  $Nd$ ،  $Lu$ ،  $Tl$  آنومالی منفی در نمودارهای عنکبوتی ترسیم شده نشان می‌دهند. براساس مطالعه رفتار ژئوشیمیایی عناصر نامتحرک، ماگمای مولد این توده نفوذی سرشت شوشونیتی و کلسیمی - قلیایی با پتاسیم بالا نشان می‌دهد. محیط زمین ساختی این توده نفوذی قوس‌های پس برخوردی (PAP) می‌باشد.

نمودارهای عنکبوتی ترسیم شده و رفتار ژئوشیمیایی عناصر کمیاب، نشان می‌دهند که این توده در پوسته قاره‌ای با ضخامت زیاد تا متوسط جایگیری کرده و تحت تاثیر ذوب بخشی و آلیش پوسته‌ای متحول شده است.

### منابع

- آقاناتی، س.ع، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۶۸.
- حسن‌پور، ش.، رساء، ا.، ۱۳۸۰. مقایسه کانسارهای اسکارنی انجرد و گودال در شمال اهر. همایش ششم انجمن زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- حسین‌زاده، ق.، ۱۳۷۸. بررسی کانسار مس تپ اسکارنی انجرد، شمال غرب اهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۱۸.
- رادمرد، ک.، ۱۳۸۲. کانی‌سازی، ژئوشیمی و ژنز اسکارن زند آباد. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.
- زریسفی، ا.، ۱۳۸۲. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اسکارن منطقه گودال اهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ۱۱۸.
- عظیم‌زاده، ز.، ۱۳۷۸. بررسی پترولوژی سنگ‌های ولکانیکی و پلوتونیک منطقه زندآباد (شمال غرب اهر) با نگرشی بر پتانسیل

اغلب نمونه‌های گرانیتوئیدی ویژگی **Magnesian** داشته و آپلیت‌ها گرایش به سمت **Ferroan** دارند. نمودار  $Rb/30-Hf-3 \times Ta$  اغلب نمونه‌ها در محدوده بعد از تصادم و تعدادی در محدوده درون‌صفحه‌ای قرار گرفته‌اند و در نمودار  $Rb/10-Hf-3 \times Ta$  نمونه‌ها در محدوده برخوردی و درون‌صفحه‌ای قرار گرفته‌اند.

### نتیجه گیری

توده گرانیتوئیدی شیورداغ به سن الیگوسن به داخل سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و آذرآواری به سن کرتاسه فوقانی تا ائوسن نفوذ کرده و سبب ایجاد دگرگونی مجاورتی و اسکارن زایی شده است.

دایک‌های کوارتز-آپلیتی به درون توده گرانیتوئیدی شیورداغ نفوذ کرده‌اند.

بافت غالب این توده شامل پرتیت و آنتی‌پرتیت، پورفیری، گرانولار و آنتی‌راپاکیوی می‌باشد.

بررسی شیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب بیوتیت‌ها بین دو قطب استونیت و سیدروفیلیت قرار داشته و غنی شدگی از استونیت بیشتر است و آمفیبول‌های این توده در محدوده منیزپروهاستینگزیت و منیزپروهاستینگزیت هورنبلند قرار می‌گیرند. ترکیب کلینوپیروکسن‌ها بیشتر دیوپسیدی بوده و پتاسیم فلدسپار به قطب سانیدین متمایل بوده و پلاژیوکلازها در محدوده الیگوکلاز تا آندزین قرار می‌گیرند.

ترمومتری براساس روش‌های مختلف، دامنه حرارتی تبلور این توده را از  $623^\circ C$  تا  $750^\circ C$  و فشار جایگیری آن را  $1/5$  تا  $2/4$  کیلوبار نشان می‌دهند.

در رده بندی شیمیایی، این توده در محدوده گرانودیوریت و سینودیوریت قرار می‌گیرد.

اکسیدهای  $CaO$ ،  $MgO$ ،  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  با افزایش  $SiO_2$  سیر نزولی دارند که مربوط به تشکیل کانی‌هایی مانند تیتانومگنتیت، آمفیبول، پلاژیوکلاز و جدایش آنها از مذاب سیلیکاته و یا زونینگ



- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. and Mitchell, S.F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: Development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*, 48, 2341-2357.
- Hezarkhani, A., 2006. Geochemistry of the Enjerd skarn and its association with copper mineralization, northwestern Iran. *Journal international Geology review*, 48, 10, 3-10.
- Holland, T. and Blundy, J., 1994. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 116, 433-47.
- Johnson, M.C. and Rutherford, M.J., 1989. Experimental calibration of an aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley Caldera (California) volcanic rocks. *Geology*, 17, 837-841.
- Karimzadeh Somarin, A. and Moayyed, M., 2002. Granit and granodiorite associated skarn deposits of NW Iran. *Ore geology reviews*, 20, 178-138.
- Le Bas, M.J., 1962. The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal Science*, 260, 267-288.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, M.C., Grice, J. D., Hawthorne, F. C., Kato, A., Kisch, H. J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J. A., Aresch, W. V., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W. and Youzhi, G., 1997. Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *American Mineralogist*, 82, 1019-1037.
- Leterrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D. and Marchel, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters*, 59, 139-154.
- Machado, A., Rocha, F., Araujo, M.F., Vitali, F., Gomes, C. and Dias, J.A., 2005. Geochemical characterization of surficial sediments from the southwestern Iberian continental shelf. *Ciencias Marinas*, 31, 1B, 161-177.
- Moazzen, M. and Droop, G.T.R., 2005. Application of mineral thermometers and barometers to granitoid igneous rocks: the Etive Complex, W Scotland. *Mineral Petrol* 83, 27-53.
- اقتصادی منطقه. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی، ۱۹۳.
- Abdel-Rahman, A.M., 1994. Nature of biotites from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *Journal of Petrology*, 35, 2, 525-541.
- Anderson, J.L., 1996. Status of thermobarometry in granitic batholiths. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 87, 125-138.
- Blundy, J.D. and Holland, T.J.B., 1990. Calcic amphibole equilibria and new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 104, 208-224.
- Cox, K.G., Bell, D., Pakhurst, R.J., 1979. *The Interpretation of Igneous Rocks*. London, Allen and Unwin, 450.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J., 1992. *An Introduction to the Rock Forming Minerals*. Second Edition, Longman, London, 696.
- Dymek, R.F., 1983. Titanium, aluminum and interlayer cation substitutions in biotite from high-grade gneisses, west Greenland. *American Mineralogist*, 68, 880-899.
- Fam, W.M., Gue, F., Wang, Y.J., Lin, G., 2003. Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of postorogenic extension in the north Da Hinggan Mountains, north eastern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121, 115-135.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins W.J., Arculus R.J., Ellis D.J. and Frost C.D.A., 2001. Geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42, 2033-2048.
- Fuhrman, M.L. and Lindsley, D.H., 1988. Ternary-feldspar modeling and thermometry. *American Mineralogist*, 73, 201-215.
- Gibb, F.G.F., 1973. The zoned clinopyroxenes of the Shiant Iseles, Scotland. *Journal of Petrology*, 14, 203-230.
- Harker, A., 1909. *The Natural History of Igneous Rocks*. Macmillan, New York, 384.
- Harris, C., 1983. The petrology of lavas and associated plutonic incursions of Ascension Island. *Journal of Petroleum Science and Technology*, 24, 424-470.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G., 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M.P., Reis, A.C., (eds.), *Collision tectonics*. Geological Society of America Special Publication, 19, 67-81.

- Moazzen, M. and Oberhänsli, R., 2008. Whole rock and relict igneous clinopyroxene geochemistry of ophiolite-related amphibolites from NW Iran – Implications for protolith nature. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 185,1, 51–62.
- Mollai., H., 1993. Petrochemistry and Genesis of the granodiorite and associated iron- copper skarn deposit of Mazraeh, Ahar, East-Azarbayjan, Iran. Ph.D. Thesis, University of Roorkee, 278.
- Morimoto, N., 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Canadian Mineralogist* 27, 143–56.
- Muller D. and Geroves D.I., 1997. Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper Mineralization, Sec. Updated. Springer-Verlag, 242.
- Nekvasil, H., 1992. Ternary feldspar crystallization in high-temperature felsic magmas. *American Mineralogist*, 77, 592-604.
- Otten, M.T., 1984. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites. *Contribution to Mineralogy and Petrology*. 86, 189-99.
- Pearce J.J. A., Harris N.W., Tindle, A.G., 1984. Trace elemnt discrimination digrams for the tectonic iterpretion of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25. 956-983.
- Rieder, M., Cavazzini, G., Yakonov, Y.D., Frank-Kanetskii, V.A., Gottardi, G., Guggenheim, S., Koval, P.V., Müller, G., Neiva, A.M.R., Radoslovich, E.W., Robert, J.L., Sassi, F.P., Takeda, H., Weiss, Z. and Wones, D.R., 1998. Nomenclature of the micas. *Canadian Mineralogist* 36,3, 905–912.
- Shand, S.J., 1943. *The Eruptive Rocks*. 2nd edn, New York, John Wiley, 444.
- Stoklin, J., 1977. Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia: *Memoir Hors serie de la Societe Geologique de France*, 8, 333-335.
- Thomas, W.M., 1998. *Phase Equilibria in Metamorphic Rocks: Thermodynamic Background and Petrological Applications*. Springer-Verlag, Berlin, 315.
- Vyhnal, C.R., McSween, H.Y.J. and Speer, A., 1991. Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: implication for aluminum hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability. *American Mineralogist*, 76, 176-188.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95, 158-187.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 16, 325- 343.
- Yavuz, F., 2003. Evaluating micas in petrologic and metallogenic aspect: I–definitions and structure of the computer program MICA+. *Computers and Geosciences*, 29, 1203–1213.