

Geochemical study of garnet-vesuvianite-wollastonite-pyroxene mineral assemblage in Hosh Skarns, west of Taft (Yazd)

M. Rahgoshay¹, M. Mackizadeh², T. Amoui Ardekani¹, H. Shafaii Moghadam³

1-Earth Sciences Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2-Department of Geology, Faculty of Sciences, Isfahan, Iran

3- School of Earth Sciences, Damgan university of basic Science, Damgan, Iran

E-mail: m-rahgoshay@sbu.ac.ir

(Received:11/9/2006, in revised form:5/7/2007)

Abstract: The injection of I-type granitoid bodies (Hosh intrusion) with calc-alkaline affinity into Lower Cretaceous limestones (Taft Formation) has produced the various types of related skarns and marbles. Thereby, those skarns formed can be undoubtedly divided into four groups, clinopyroxene-plagioclase skarns, clinopyroxene skarns, clinopyroxene-vesuvianite skarns and moreover garnet skarns. Additionally, calc-silicate bearing marbles also show an especial mineral assemblage consisting of olivine, clinopyroxene, garnet and vesuvianite. Based upon geochemical studies, two types of garnet can be distinguished in these skarns. The first, Type is the garnets with grossular composition in which they are found with calc-silicate assemblages in skarns and the second, Type is the garnets with andradite composition present in garnet skarns. Clinopyroxenes in those skarns feature a composition varying between Ca-rich diopsides, salite and fassaite. Based on the chemical composition of the intrusive body and the related skarns, one can conclude the close relationship of these skarns with Cu and Zn skarns.

Keywords: *Skarn, Marble, Granitoids, Mineral Geochemistry, Garnet, Clinopyroxene, Olivine, Vesuvianite.*



مطالعه ژئوشیمی مجموعه کانیایی گارنت-وزوویانیت-ولاستونیت-پروکسن در اسکارن‌های حوش، غرب تفت (استان یزد)

محمد رهگشای^۱، محمد علی مکی زاده^۲، طاهره عمویی اردکانی^۱، هادی شفائی مقدم^۳

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

۲- بخش زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

۳- دانشکده علوم زمین، دانشگاه علوم پایه دامغان، دامغان

پست الکترونیکی: m-rahgoshay@sbu.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۶/۲۰، نسخه نهایی ۱۳۸۶/۴/۱۴)

چکیده: تزریق توده‌های گرانیتوئیدی (توده نفوذی حوش) نوع I و با گرایش کالکوالکالین به درون سنگ آهک‌های کرتاسه زیرین (سازند تفت) منجر به تشکیل مرم‌های کالک سیلیکات‌دار، و انواع اسکارن شده است. اسکارن‌های تشکیل شده را می‌توان به چهار دسته اسکارن‌های کلینوپروکسن-پلاژیوکلاز، اسکارن‌های کلینوپروکسن، اسکارن‌های کلینوپروکسن-وزوویانیت و اسکارن‌های گارنت تقسیم‌بندی کرد. علاوه بر این مرم‌ها نیز دارای مجموعه کانیایی مشتمل بر الیون، کلینوپروکسن، گارنت و وزوویانیت هستند. براساس مطالعات ژئوشیمیایی دو نوع گارنت قابل تشخیص‌اند: نخست گارنت‌هایی با ترکیب گراسولر که همراه با مجموعه‌های کالک سیلیکاته موجود در اسکارن‌ها دیده شده، و دوم گارنت‌هایی با ترکیب آندرادیت که در گارنت اسکارن‌ها یافت می‌شوند. کلینوپروکسن‌های موجود در این اسکارن‌ها دارای ترکیب دیوپسیدهای غنی از کلسیم، سالییت، و فاسایت هستند. ترکیب شیمیایی سنگ‌های نفوذی مورد مطالعه از یک طرف، و ترکیب کلینوپروکسن‌ها و گارنت‌ها از طرف دیگر نشان دهنده این است که اسکارن‌های همراه گرانیتوئیدهای حوش قرابت نزدیکی با اسکارن‌های مس و تا حدودی اسکارن‌های روی را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: اسکارن، مرم، گرانیتوئید، ژئوشیمی کانی، گارنت، کلینوپروکسن، الیون، وزوویانیت.

مقدمه

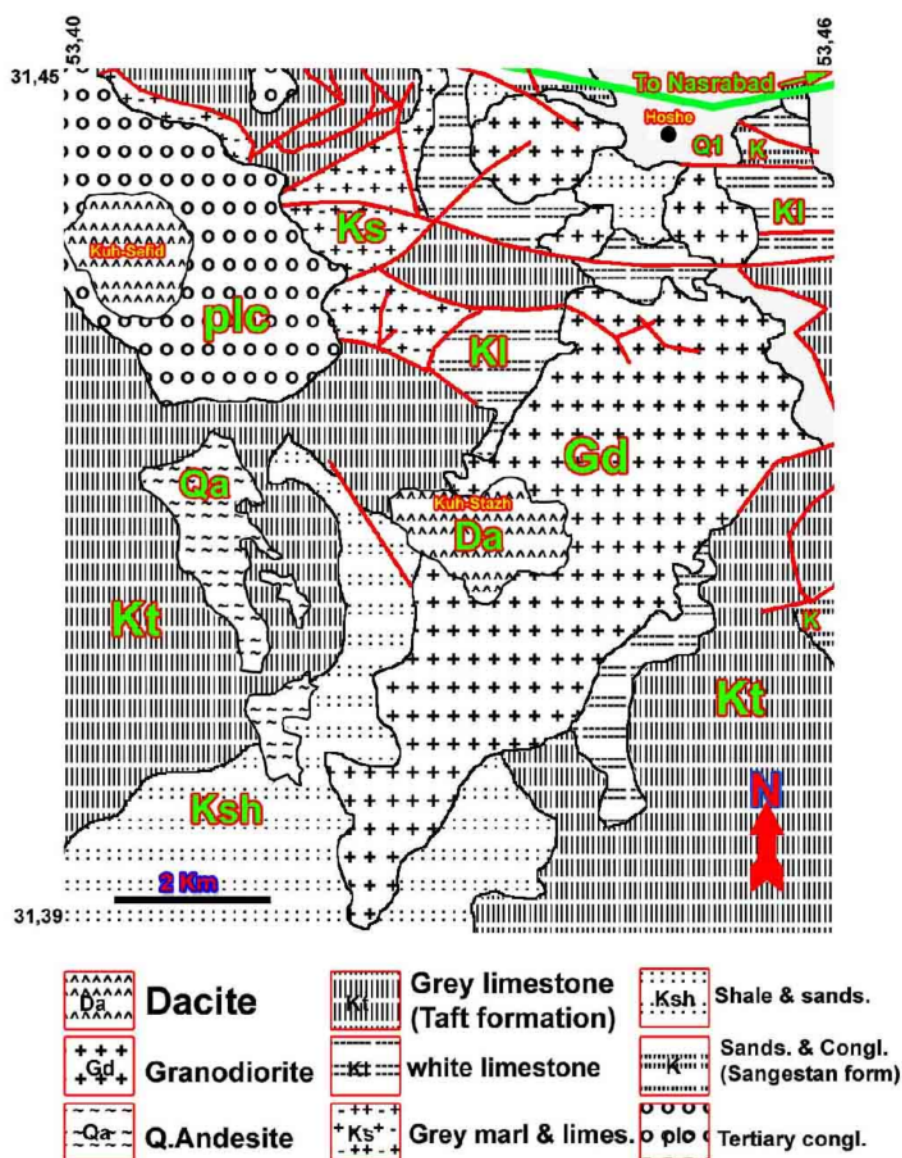
جغرافیایی، تزریق توده نفوذی حوش با ترکیب کوارتز دیوریت، کوارتز مونزودیوریت و کوارتز گابرو در سنگ آهک‌های (به طور بخشی با ترکیب دولومیتی) کرتاسه زیرین (سازند تفت) باعث اسکارن‌زائی و مرم‌زائی شده است (شکل ۱). این توده نفوذی با سن الیگومیوسن، بخش کوچکی از توده نفوذی بزرگ آدرلنداد در غرب نصرآباد است [۴].

اسکارن‌ها در این منطقه دارای گسترش وسیعی بوده و از نظر سنگ‌شناسی به دو دسته اندواسکارن‌ها و اگزواسکارن‌ها (و حتی Oreskarns) قابل تقسیم‌بندی هستند. اسکارن‌ها به طور

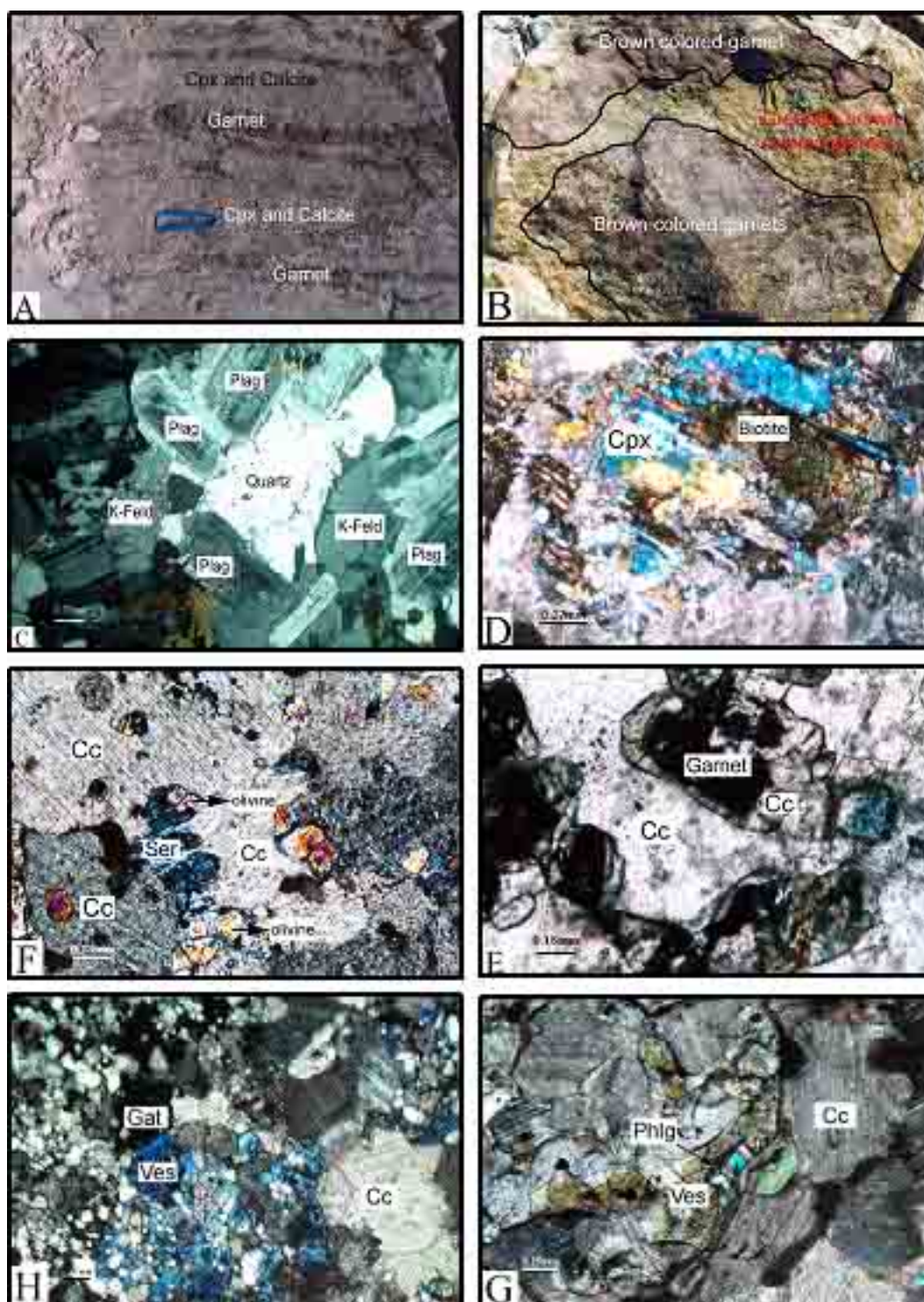
فعالیت‌های ماگمایی گسترده در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر، اساسا در سنوزوئیک، منجر به تزریق توده‌های نفوذی متعدد در امتداد این کمربند و در نتیجه در بسیاری از موارد، باعث اسکارن‌زائی شده است. این توده‌های اسکارنی در بیشتر موارد توسط زمین‌شناسان مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند (برای مثال [۳-۱]). در منطقه جنوب غرب یزد و در فاصله ۴۵ کیلومتری شهرستان تفت، در گستره ۴۵ و ۵۳ تا ۵۰ و ۵۳ درجه عرض و ۴۰ و ۳۱ تا ۴۵ و ۳۱ درجه طول

زونهای غنی از گارنت، به طور کلی همراه با گارنت‌های قهوه‌ای متمایل به سبز، دیده می‌شوند. کانی‌زایی مس به صورت ذرات پراکنده کالکوپیریت و یا به صورت رگچه‌های مالاکیت و آزوریت‌اند و علاوه بر این، کانی‌زایی آهن نیز به صورت نواری یا داربستی دیده می‌شود. از توده نفوذی به سمت سنگ آهکهای منطقه یک منطقه‌بندی در اسکارنها دیده شد که به ترتیب شامل اسکارنهای کلینوپیروکسن - پلاژیوکلاز (اندواسکارن)، اسکارنهای کلینوپیروکسن (Proximal skarn)، اسکارنهای کلینوپیروکسن - وزووانیت (Distal skarn)، اسکارنهای گارنت و زون مرمهای کالک سیلیکات‌دار هستند.

کلی دارای ساخت توده‌ای بوده ولی در برخی موارد به صورت نواری (مربوط به لایه‌بندی اولیه سنگ مادر)، دیده می‌شوند. در واقع این نوارها از تراکم متناوب کلینوپیروکسن و گارنت تشکیل شده‌اند (شکل A۲). احتمالا لایه‌های غنی از کلینوپیروکسن موید لایه‌های دولومیتی در سنگ مادر و لایه‌های غنی از گارنت، لایه‌های ماری-آهکی بوده‌اند. در فواصل کمی دورتر از این اسکارن‌های نواری، به سبب دگرتهادی گرمایی، زونهای غنی از گارنت دیده می‌شوند که در آن زونها گارنت‌های قهوه‌ای متمایل به سبز، گارنت‌های قهوه‌ای رنگ را در برگرفته‌اند (شکل B۲). کانی‌زایی آهن و مس همراه با این



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه خوش (با تغییرات از [۴]).



شکل ۲ A- تناوب نوارهای کلسیت-کلینوپیروکسن و گارنت در اسکارنهای نواری. B- گارنت‌های قهوه‌ای متمایل به سبز، گارنت‌های قهوه‌ای را احاطه کرده‌اند. C- در این شکل دو نوع پلاژیوکلاز یعنی پلاژیوکلازهای بازیک و دگرسان (به سریسیت) و نیز انواع اسیدی‌تر و نادگرسان قابل مشاهده‌اند. D- دگرسانی پیروکسن به بیوتیت. E- فنوبلاست‌های گارنت با حاشیه کلسیتی در زمینه کلسیت درشت‌دانه. F- تراکم ریز دانه‌های الیوین در مرمرهای الیوین‌دار. چنانکه در شکل دیده می‌شود، الیوین‌ها در طول حاشیه به سرپانتین دگرسان شده‌اند. G- تراکم ریز دانه‌های فلوگوپیت همراه با کلسیت و وزوویانیت در مرمرهای وزوویانیت‌دار. H- تشکیل فنوبلاست‌های گارنت و وزوویانیت بین دانه‌ای و بی‌شکل بین دانه‌های کلسیت.

سنگ شناسی و سرشتیهای کانایی

۱- سنگ شناسی توده نفوذی: توده نفوذی منطقه به طور کلی دارای ترکیب کوارتز دیوریتی، کوارتز مونزودیوریتی و کوارتز گابرو است که دایک های آپلیتی-گرانیتی آن را قطع کرده اند. پلاژیوکلاز از فراوانترین کانی های موجود در این مونزونیت های کوارتزی - دیوریت های کوارتزی بوده و به طور کلی به دو صورت دیده می شوند: پلاژیوکلازهای شکل دار که دارای منطقه بندی به خوبی گسترش یافته ای هستند و به کانی های رسی و سریسیت دگرسان شده اند. پلاژیوکلازهای نوع دوم دگرسان نبوده و اسیدی تر از پلاژیوکلازهای نوع اول اند (شکل C۲). کوارتز، آلکالی فلدسپار، آپاتیت، اسفن، بیوتیت، و هورنبلند از دیگر کانی های موجود در این سنگ ها هستند. به سمت کوارتز گابروها بر مقدار کلینوپیروکسن افزوده می شود و این کانی در برخی موارد به بیوتیت تبدیل شده اند (شکل D۲).

۲- سنگ شناسی سنگ های دگرگون

۱-۲- مرمهرای کالک-سیلیکات دار: این سنگ ها با درصد حجمی بسیار کمی از کانی های کالک سیلیکات در مقایسه با اسکارنها مشخص می باشند، بنابراین آنها را می توان مرمهرای کالک سیلیکات دار نامید. بر حسب نوع کانی شاخص در این مرمهرها، آنها را می توان به مرمهرای کلسیتی، مرمهرای وزوویانیت دار، مرمهرای فلوگوپیت دار و مرمهرای الیوین دار تقسیم بندی کرد. مرمهرای کلسیتی دارای بافت گرانوبلاستیک چندگوشی بوده و کلسیت، کانی اصلی است. در مرمهرای وزوویانیت دار، کانی های کلینوپیروکسن، گارنت، و مگنتیت نیز یافت می شوند. کلینوپیروکسن ها معمولاً در طول حاشیه خود، به اپیدوت و یا کلسیت دگرسان شده اند. علاوه بر این در برخی از موارد کلسیت دانه های گارنت را (در طول حاشیه گارنت) در بر گرفته است (شکل E۲).

مرمهرای فلوگوپیت دار با کانی های کلینوپیروکسن، گارنت، و وزوویانیت مشخص می شوند (شکل H۲). فلوگوپیت در این مرمهرها یا به صورت پوششی روی دیگر کانی ها از قبیل گارنت، ولاستونیت، و پیروکسن و یا به صورت دانه های کوچک گرد شده بین بلورهای وزوویانیت دیده می شوند (شکل G۲). در مرمهرای الیوین دار، کانی الیوین به صورت همزیست با دیگر کانی ها از قبیل سرپانتین، تالک، و کانی های کدر (عموماً مگنتیت) در خمیره گرانوبلاستیک این سنگ ها دیده می شوند (شکل F۲).

۲-۲- اسکارنها: اسکارن های این منطقه را می توان به چهار دسته اصلی دسته بندی کرد:

۱-۲-۲- اسکارنهای کلینوپیروکسن - پلاژیوکلاز یا اندواسکارنها که کلینوپیروکسن (با ترکیب سالی-دیوپسید)، پلاژیوکلاز، اورتوکلاز، اسفن، آپاتیت، پرهنیت، گارنت، بیوتیت، کلسیت، سریسیت، اپیدوت، و کانی های کدر از مهمترین کانی های موجود در این اسکارنها هستند. پلاژیوکلازها با دگرسانی بخشی به سریسیت، کلریت، اپیدوت، کلسیت و پرهنیت دیده می شوند. در برخی موارد در حاشیه پلاژیوکلازهای دگرسان و قدیمی، آلبیت رشد کرده است (شکل A۳). علاوه بر این اسفن در پیرامون کلینوپیروکسن ها (شکل B۳) و یا کانی های کدر دیده می شوند.

۲-۲-۲- اسکارنهای کلینوپیروکسن دار: این قبیل اسکارنها به صورت توده ای و یا به صورت نواری دیده می شوند. اسکارن های نواری از نوارهای متناوب گارنت، کلینوپیروکسن و کلسیت تشکیل شده اند (شکل C۳). همزیستی کلینوپیروکسن (با ترکیب دیوپسید و فاسائیت)، و ولاستونیت در این اسکارنها امری عادی است (شکل D۳). علاوه بر کانی های بالا، دیگر کانی های شامل آپاتیت، اپیدوت، پکتولیت و کانی های کدر نیز دیده می شوند.

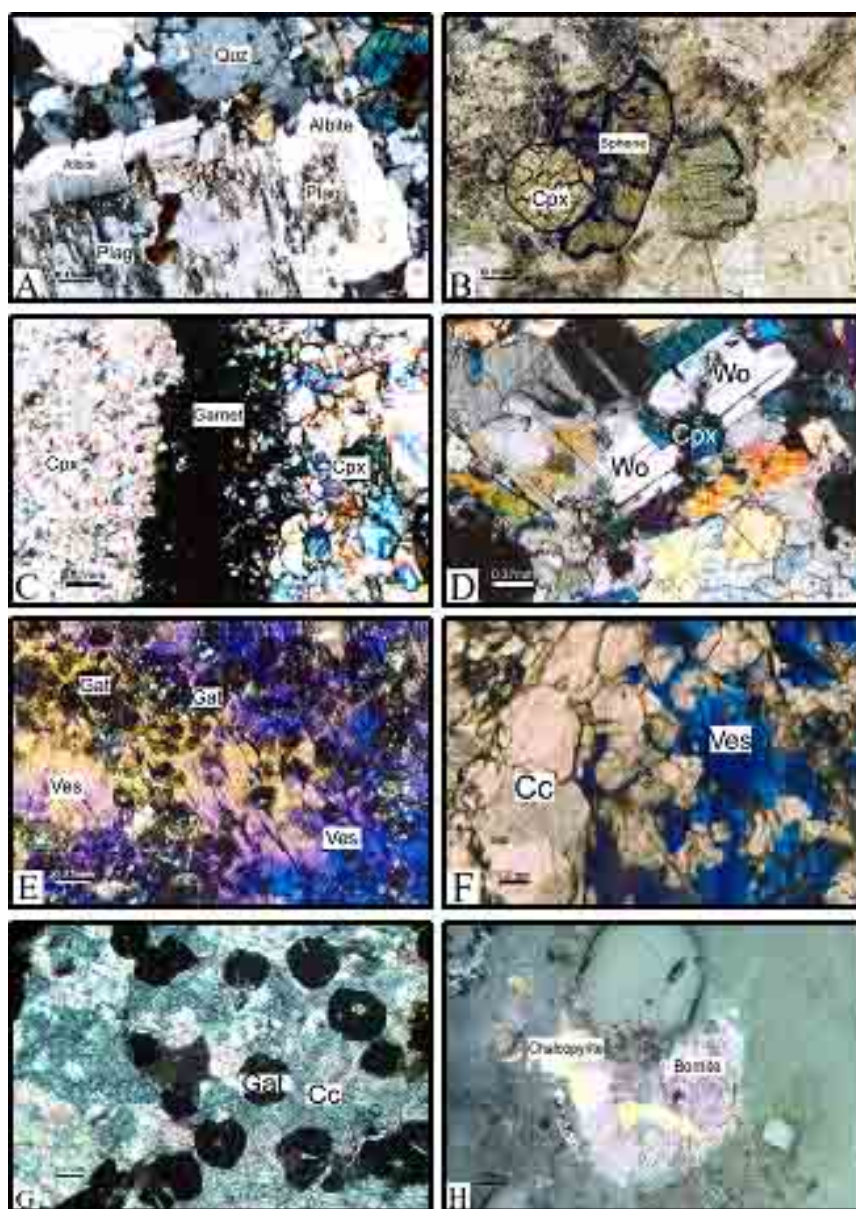
۲-۲-۳- اسکارنهای کلینوپیروکسن - وزوویانیت دار: کلینوپیروکسن، گارنت، وزوویانیت، کلسیت، ولاستونیت، اپیدوت، کوارتز، و کانی های کدر (مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت و هماتیت)، از مهمترین کانی های تشکیل دهنده این اسکارنها هستند. وزوویانیت ها یا همراه با دیگر کانی ها از قبیل گارنت، کلینوپیروکسن و ولاستونیت دیده شد و یا به صورت میان روزه ای (Interstitial) در میان دانه های کلسیت قرار دارند (شکل ۳ E-F). فزون رشدی وزوویانیت پیرامون کلینوپیروکسن ها و گارنت ها از یک طرف و حضور باقی مانده های کلینوپیروکسن و گارنت، به صورت چادوکریست (Chadocryst)، در ایکوکریست های (Oikocrysts) وزوویانیت می تواند شاهی بر این امر باشد که وزوویانیت ها فاز تاخیری بوده و به خرج دو کانی یاد شده تشکیل شده اند.

۲-۲-۴- اسکارنهای گارنت: گارنت، کلسیت، مگنتیت، هماتیت، کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، بورنیت، و مالاکیت از کانی های مهم تشکیل دهنده این زونها هستند (شکل H۳). گارنت (با ترکیب آندرادیت) از فراوانترین کانی های موجود بوده که به صورت پراکنده در یک زمینه کلسیتی دیده شده (شکل G۳) و یا همراه با کلسیت بافت گرانوبلاستیک تشکیل داده است.

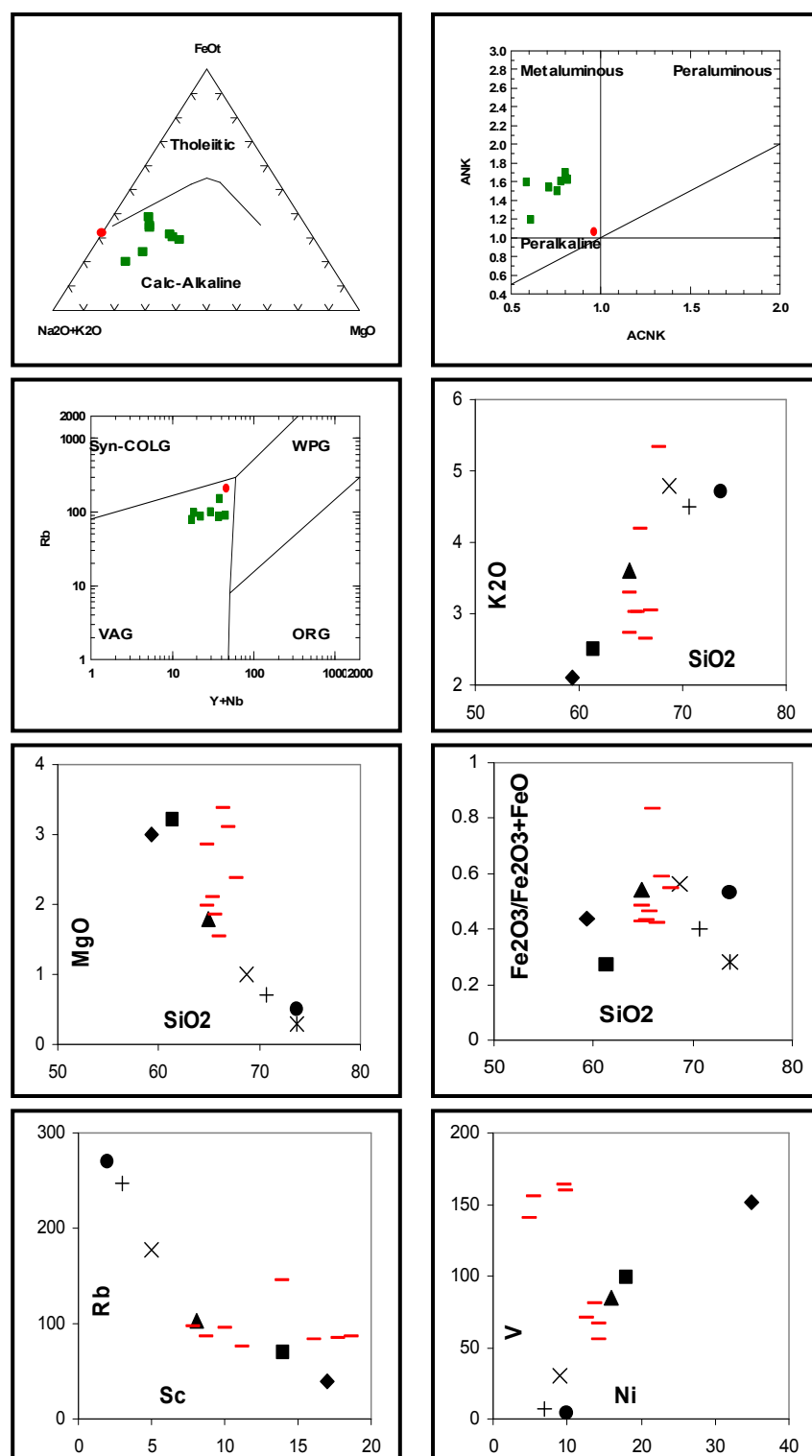
ژئوشیمی سنگ‌های نفوذی

آنالیزهای ژئوشیمیایی به روش XRF در سازمان زمین‌شناسی ایران، به منظور مطالعه رفتار ژئوشیمیایی سنگ‌های نفوذی و دایک‌های آپلیتی صورت گرفته است (جدول ۱). در نمودار AFM [۵] تمامی نمونه‌های مورد مطالعه دارای رفتار کالکوالکالن هستند (شکل ۴). در نمودار A/CNK بر حسب A/NK (درجه اشباع شدگی از آلومینیم) از [۶] نمونه‌های

مورد مطالعه، ویژگیهای متالومین را نشان می‌دهند (شکل ۴). برای تعیین محیط ژئودینامیکی توده نفوذی از نمودار Rb بر حسب $Y+Nb$ [۷] استفاده شد. در این نمودار سنگ‌های منطقه در گستره گرانیت‌های قوسهای آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۴). بر اساس مطالعات شیمیایی و نیز مشاهدات کانیایی، سنگ‌های نفوذی منطقه خواص گرانیتوئیدهای نوع را نشان می‌دهند.



شکل ۳ A- تشکیل آلبیت در طول پلاژیوکلازهای قدیمی تر و بازیک. B- همزیستی کلینوپیروکسن و اسفن در اندواسکارنها. C- تناوب نوارهای گارنت و کلینوپیروکسن در اسکارنهای نواری. D- حضور ولاستونیت و کلینوپیروکسن در اسکارنهای کلینوپیروکسن. E- همراهی وزوویانیت و گارنت در اسکارنهای کلینوپیروکسن-وزوویانیت. F- تشکیل وزوویانیت‌های بین دانه‌ای در بلورهای کلسیت. G- حضور فنوبلاست‌های نیمه شکلدار گارنت در زمینه کلسیتی و ایجاد بافت پوئی کیلوبلاستیک. H- وجود بورنیت و کالکوپریت در اسکارنهای گارنت.



شکل ۴ در نمودار AFM [۵] تمامی نمونه‌ها گرایش کالکوالکالن نشان می‌دهند. در نمودار ANK نسبت به ACNK نمونه‌های مورد مطالعه در گستره متالومین و در نمودار $Rb/(Y+Nb)$ این نمونه‌ها در گستره گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی واقع شده‌اند. در این نمودارها مربع‌ها نشان دهنده گرانیتوئیدهای منطقه و دایره‌ها نشان دهنده دایک آپلیتی هستند. نمودارهای هارکر شامل MgO , K_2O , $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO)$ نسبت به SiO_2 و نیز نمودارهای Rb/Sc و V/Ni برای نشان دادن روابط ژئوشیمی گرانیتوئیدهای منطقه (خطوط) و دیگر گرانیتوئیدهای حاوی اسکارنهای مس (مثلث)، طلا (مستطیل)، مولیبدن (دایره)، تنگستن (بلاوه) و روی (ضربدر).

جدول ۱ ترکیب شیمیایی سنگ‌های نفوذی و دایک آپلیتی منطقه مورد مطالعه (آنالیز XRF، سازمان زمین‌شناسی ایران).

Number	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rock	intrusion	intrusion	intrusion	intrusion	intrusion	intrusion	intrusion	intrusion	Aplite
Sample	TM.1	S.27	HO.28	HO.123	T.1	T.2	T.3	T.4	D.1
SiO ₂	۶۷,۷۱۸	۶۶,۳۸۸	۶۴,۸۶۷	۶۶,۸۷۵	۶۵,۹۳۲	۶۵,۳۶۵	۶۴,۸۳۳	۶۵,۶۵۵	۷۶,۲
Al ₂ O ₃	۱۱,۴۴۲	۱۲,۵۸۸	۱۲,۴۵۹	۱۲,۲۵۹	۱۴,۳۵۲	۱۳,۶۰۵	۱۳,۷۴۹	۱۴,۰۴۹	۱۱,۵۵۸
FeO(t)	۳,۳۵۱	۴,۸۷۳	۴,۰۶۹	۳,۹۴۹	۲,۳۶	۴,۹۶۵	۴,۸۸۲	۴,۴۷۵	۰,۳۰۶
MgO	۲,۳۸۲	۳,۳۷۱	۲,۸۵۱	۳,۰۹۷	۱,۵۵	۲,۱۰۲	۱,۹۷۴	۱,۸۳۵	۰,۰۷۷
CaO	۴,۸۸۵	۴,۴۴۲	۷,۲۸۸	۴,۳۴۳	۵,۸۳۹	۴,۶۰۴	۴,۸۵۸	۴,۶۰۴	۰,۵۱۳
Na ₂ O	۲,۳۶۷	۲,۸۰۷	۳,۰۱	۲,۶۹۶	۲,۹۴۷	۳,۱۱۸	۳,۴۴۷	۳,۳۱۱	۲,۲۴۳
K ₂ O	۵,۳۳۴	۲,۶۴۷	۲,۷۲۲	۳,۰۳۲	۴,۱۸۶	۳,۰۱۷	۳,۲۹	۳,۰۳۱	۶,۷۶۱
MnO	۰,۱۱۱	۰,۱۱۲	۰,۰۹۶	۰,۰۸۸	۰,۰۳۳	۰,۰۶۵	۰,۰۶۷	۰,۰۸	۰,۰۰۱
TiO ₂	۰,۳۳۹	۰,۵۵۶	۰,۴۷۶	۰,۵۱۳	۰,۴۷۱	۰,۶۵۷	۰,۶۵۷	۰,۵۸۷	۰,۱۱۱
P ₂ O ₅	۰,۰۸۱	۰,۲۱۳	۰,۱۶۵	۰,۱۴۵	۰,۱۵۸	۰,۳۴۱	۰,۳۴۱	۰,۱۹۸	۰,۰۲۷
Total	۹۷,۹۹۹	۹۷,۹۹۷	۹۸,۰۰۳	۹۶,۹۹۷	۹۷,۸۲۸	۹۷,۸۳۹	۹۸,۰۳۸	۹۷,۸۲۵	۹۷,۸۲۴
Ni	۴,۸	۹,۶	۵,۴	۹,۷	۱۴,۲	۱۳,۸	۱۴,۳	۱۲,۶	۱۳,۱
Rb	۱۴۵,۸	۸۵,۵	۸۶,۸	۸۳,۲	۹۷,۶	۷۶,۱	۹۴,۹	۸۵,۹	۲۰,۲۷
Sr	۱۱۷,۵	۱۹۶,۸	۲۷۶,۷	۲۰۶,۴	۳۳۴,۸	۲۷۰,۱	۲۸۲,۳	۲۷۸,۷	۱۴۰,۵
Y	۳۲,۵	۳۰,۱	۳۷,۳	۲۸,۸	۱۹,۵	۱۲,۷	۱۳,۲	۱۴,۹	۲۸,۹
Cr	۷۵,۴	۱۰۶,۸	۸۵,۴	۹۲,۵	۱۰۷,۳	۱۱۸,۶	۱۱۸,۶	۱۱۱,۹	۱۲۳,۷
Zr	۸۳,۶	۸۹	۹۲,۶	۸۷,۶	۱۷۲,۲	۱۵۵,۶	۱۵۵,۶	۱۵۴,۲	۱۱۶,۹
Nb	۷,۲	۸	۹,۱	۹,۳	۱۰,۹	۵,۷	۵,۸	۸,۲	۱۸,۹
Ba	۶۱۵	۳۶۷,۹	۲۴۵,۲	۴۳۲,۶	۵۶۷	۵۸۲,۳	۵۸۲,۵	۴۶۹,۹	۶۸۰,۶
La	۰,۸	۳,۳	۳,۴	۱,۱	۳۳,۹	۲۳,۶	۲۳,۶	۳۱,۹	۱۱,۱
Ce	۷۰,۲	۳۹,۹	۲۸,۸	۴۷,۳	۷۹,۴	۸۹,۵	۹۲,۷	۷۴,۷	۹۱
Yb	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۱,۸	۱,۸	۱,۸	۱,۷	۱,۷
Eu	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۵	۱,۱	۱,۲	۱,۵	۰,۲
Sc	۱۳,۹	۱۷,۷	۱۸,۶	۱۶,۱	۷,۸	۱۱,۲	۱۰	۸,۷	۱
V	۱۴۰,۹	۱۶۳,۵	۱۵۵,۲	۱۶۰,۱	۵۵,۷	۸۱,۱	۶۶,۵	۷۰,۸	۱۰
Pb	۲۰	۱۷,۵	۶,۳	۹,۹	۱۰,۵	۴,۷	۱۱۲,۹	۱۰,۲	۳۴,۴
Cu	۱۱۲,۶	۲۰,۴	۱۳,۴	۵۴	۴۷,۶	۴,۱	۳۷,۴	۳۷,۹	۳۶,۱
Co	۳	۷,۲	۲,۹	۲,۸	۳	۵,۶	۴,۴	۴	۳
Zn	۱۴۷	۷۷,۸	۴۵,۸	۵۱,۳	۳۸	۶۰,۳	۴۶,۹	۶۷,۹	۲۴,۶
Mo	۰,۹	۰,۸	۰,۷	۱	۲,۳	۱	۸,۵	۰,۱	۸,۵
Th	۱,۱	۰,۷	۱	۰,۲	۹,۸	۱	۱	۱	۶۴,۵

مقایسه ترکیب گرانیتوئیدهای خوش با ترکیب توده‌های نفوذی اسکارن ساز

برخی از زمین‌شناسان روابط بین ترکیب شیمیایی توده نفوذی و نوع کانسارهای اسکارنی تشکیل شده را مورد بررسی قرار داده‌اند (برای مثال [۸-۱۴]). جدول ۲ میانگین ترکیب شیمیایی (عناصر اصلی) توده‌های نفوذی جهانی و نوع اسکارن-های همراه را نشان می‌دهد. برای مثال گرانیتوئیدهای دارای

اسکارنهای آهن با مقادیر بالاتری از MgO و مقادیر کمتری از K₂O و SiO₂ نسبت به انواع دیگر اسکارنها مشخص می‌شوند [۱۲-۱۳]. مقدار میانگین K₂O در گرانیتوئیدهای خوش برابر ۳/۴ درصد وزنی است. البته میزان این اکسید برای گرانیتوئید-های دارای اسکارنهای آهن برابر ۲/۱، اسکارنهای طلا برابر ۲/۵، اسکارنهای مس برابر ۳/۶ و اسکارنهای روی ۴/۸ در صد وزنی است [۱۳]. بنابراین میزان K₂O گرانیتوئیدهای خوش با

جدول ۲ میانگین ترکیب شیمیایی (عناصر اصلی) توده‌های نفوذی همراه با اسکارنهای مس، طلا، روی و آهن.

Skarn Type	Fe	Au	Cu	Zn
SiO ₂	۵۹٫۳	۶۱٫۴	۶۴٫۹	۶۸٫۷
Al ₂ O ₃	۱۶٫۸	۱۶٫۲	۱۶	۱۴٫۳
TiO ₂	۰٫۸	۰٫۶	۰٫۵	۰٫۴
Fe ₂ O ₃	۲٫۸	۲٫۶	۲٫۵	۱٫۸
FeO	۴٫۵	۳٫۷	۲٫۴	۱٫۳
MnO	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
CaO	۷٫۲	۵٫۸	۳٫۸	۳٫۲
MgO	۳	۳٫۲	۱٫۸	۱
K ₂ O	۲٫۱	۲٫۵	۳٫۶	۶٫۸
Na ₂ O	۴	۳٫۱	۴	۳
P ₂ O ₅	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۳	۰٫۲

گرانیتوئیدهای دارای اسکارنهای مس قابل مقایسه است (شکل ۴). میزان میانگین MgO این گرانیتوئیدها برابر ۲/۴ درصد وزنی است که با گرانیتوئیدهای حامل اسکارنهای مس (۱۸ wt.% MgO) و اسکارنهای آهن (۳ wt.% MgO) قابل مقایسه است (شکل ۴). میزان بالایی از اکسید آهن سه ظرفیتی (در حوزه اکسایش نمودار) گرانیتوئیدهای خوش نشانه‌ای از وجود پتانسیل مس و روی است (شکل ۴). در نمودار ANK بر حسب ACNK چنانکه اشاره شد، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده متآلومین (شکل ۴) واقع شده است که نشان از نزدیکی این گرانیتوئیدها با گرانیتوئیدهای حاوی اسکارنهای مس و روی، و نیز مشتق شدن این اسکارنها از گرانیتوئیدهایی با خاستگاه گوشته‌ای همراه با آلودگی‌های پوسته‌ای تفسیر می‌شود [۱۵]. میزان Rb گرانیتوئیدهای خوش بسیار متغیر است (بین کمینه ۷۶۱ ppm تا بیشینه ۱۴۵۸ ppm) و در نمودار Rb/Sc تمامی نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده گرانیتوئیدهای حاوی اسکارنهای مس و طلا قرار می‌گیرند (شکل ۴). مقادیر بالای Rb در این گرانیتوئیدها نشانه‌ای از دخالت مواد پوسته‌ای در تشکیل ماگمای چشمه گرانیتوئیدهای خوش داشته و یا اینکه این گرانیتوئیدها حاصل تبلور از یک چشمه ماگمایی بسیار تفریق یافته‌اند. در نمودار V/Ni گرانیتوئیدهای منطقه تمایل به گرانیتوئید حاوی

اسکارنهای مس (گرانیتوئیدهای نوع I) را نشان می‌دهند (شکل ۴).

ترکیب شیمیایی کانی‌ها

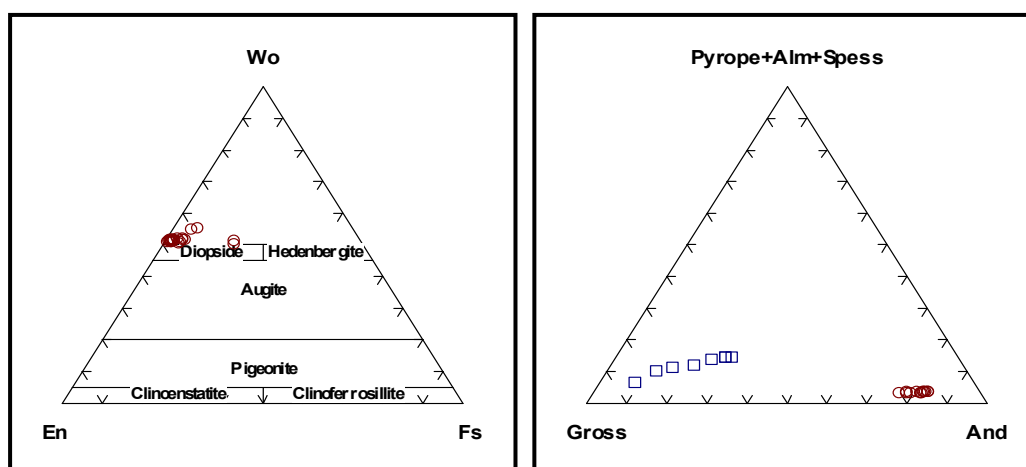
۱- گارنت: گارنت در منطقه مورد مطالعه به دو صورت دیده می‌شود؛ به صورت اولیه و توده‌ای درون اسکارنهای منطقه (در اندواسکارنها، اسکارنهای کلینوپیروکسن و اسکارنهای کلینوپیروکسن-وزووانیت) و نیز به صورت رگه‌ای در اسکارنهای گارنت. گارنت‌های نوع اول همراه با مجموعه‌های کالک سیلیکاته از قبیل کلینوپیروکسن، وزووانیت و ولاستونیت، در حالی که نوع دوم همراه با کلسیت، مالاکیت، آزوریت، مگنتیت، بورنیت، و کالکوپریت دیده می‌شود. شیمی گارنت‌ها در مجموعه‌های اسکارنی با ریز پردازنده الکترونی تعیین شده است (جدول ۳). برای این منظور از دستگاه Cameca SX-50 در دانشگاه Nancy فرانسه استفاده شد. ولتاژ و جریان مورد استفاده در این آنالیز به ترتیب برابر 12kv و 10nA بوده است. در زون‌های غنی از گارنت (Garnetites)، بررسی شیمی گارنت‌ها به روش EDS در دانشگاه Oklahoma آمریکا صورت گرفت (جدول ۴). ولتاژ مورد استفاده در این روش برابر ۲۵kv بوده است. نسبت Fe^{+3}/Fe^{+2} در گارنت‌ها (و پیروکسن‌ها) با توجه به [۱۶] صورت پذیرفته است. در نمودار آندرادیت - گراسولر - اسپسارتین، گارنت‌ها در دو گستره گراسولر و آندرادیت قرار می‌گیرند. گارنت‌ها در اسکارنهای گارنت، دارای ترکیب آندرادیت و در انواع دیگر اسکارنها دارای ترکیب گراسولر هستند (شکل ۵). ترکیب آندرادیتی این گارنت‌ها شبیه آندرادیت‌های اسکارنهای مس است [۱۷]. علاوه بر این گارنت‌های قهوه‌ای متمایل به سبز که با کانی‌زائی همراه بودند (در اسکارنهای گارنت) برای تعیین عناصر کمیاب به روش ICP-MS در دانشگاه Oklahoma آمریکا آنالیز شدند. بدین منظور دانه‌های گارنت از اسکارنهای گارنتی جدا شده و با اسید HCl رقیق شسته شدند. براساس این آنالیز میزان مس، روی، و طلای این گارنت‌ها نسبتاً بالاست (جدول ۵). زون‌های کانی‌زائی منطبق بر اسکارنهای گارنتی با گارنت‌های نوع آندرادیتی هستند. تمرکز عنصر آهن (Fe^{+3}) در گارنت‌ها نیز می‌تواند شاخص این پدیده باشد. اصولاً جابه‌جایی عنصر Al^{+3} به وسیله Fe^{+3} سبب پائین آمدن فوگاسیته اکسیژن، ایجاد شرایط احیایی و نهشت کانه‌ها می‌شود.

جدول ۳ ریزیدازش گارنت‌ها در اسکارنها.

Sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeOt	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Cl
۱	۳۹,۲۲۲	۰,۸۵۱	۱۶,۴۴۴	۰	۷,۱۹۵	۰,۰۵۲	۰,۶۱۳	۳۵,۲۷۷	۰,۰۱۶	۰,۰۲۳
۲	۳۷,۳۵۶	۰,۶۵۴	۱۱,۵۷۸	۰,۰۷۶	۱۲,۹۲۸	۰,۴۶۲	۰,۱۹۴	۳۴,۹۳	۰,۰۳۶	۰,۰۲۱
۳	۳۸,۴۹۹	۱,۱۰۳	۱۴,۵۵۲	۰	۸,۶۲۳	۰,۱۷۷	۰,۵۲۶	۳۵,۰۷	۰	۰,۰۲۱
۴	۳۸,۶۰۱	۰,۷۶۶	۱۷,۲۷۵	۰	۵,۲۹۶	۰,۳۷۴	۰,۰۰۵	۳۶,۲۷۴	۰,۰۲۶	۰
۵	۳۷,۶۷۵	۰,۷۰۱	۱۳,۴۷۷	۰	۱۰,۴۹۳	۰,۲۳۵	۰,۲۹	۳۵,۶۶۵	۰,۰۱۵	۰,۰۰۵
۶	۳۷,۶۰۲	۰,۶۸۷	۱۱,۲۱۲	۰,۰۶۷	۱۳,۵۷۴	۰,۲۰۷	۰,۲۰۲	۳۵,۲۸۶	۰	۰,۰۳۷
۷	۳۷,۷۲۲	۰,۶۲۶	۱۲,۹۲۲	۰,۰۹۴	۱۱,۹۷۲	۰,۵۷۶	۰,۱۸۹	۳۵,۵۰۶	۰,۰۲۷	۰
۸	۳۷,۶۵۴	۰,۹۷۹	۱۱,۶۸۲	۰	۱۳,۱۵۸	۰,۲۹۱	۰,۲۹۵	۳۵,۳۳۵	۰,۰۰۳	۰
Sample	FeOcalc	Fe ₂ O ₃ cal	TSi	TAl	Sum_T	AlVI	Fe ₃	Ti	Cr	Sum_A
۱	۳,۵۹۸	۳,۹۹۷	۶,۰۳۳	۰	۶,۰۳۳	۲,۹۷۹	۰,۴۶۲	۰,۰۹۸	۰	۳,۵۳۹
۲	۶,۴۶۴	۷,۱۸۲	۵,۹۴۶	۰,۰۵۴	۶	۲,۱۱۶	۰,۸۵۹	۰,۰۷۸	۰,۰۱	۳,۰۶۳
۳	۴,۳۱۲	۴,۷۹	۶,۰۲۸	۰	۶,۰۲۸	۲,۶۸۳	۰,۵۶۴	۰,۱۳	۰	۳,۳۷۷
۴	۲,۶۴۸	۲,۹۴۲	۵,۹۸۵	۰,۰۱۵	۶	۳,۱۴	۰,۳۴۳	۰,۰۸۹	۰	۳,۵۷۲
۵	۵,۲۴۷	۵,۸۲۹	۵,۹۲۶	۰,۰۷۴	۶	۲,۴۲۳	۰,۶۸۹	۰,۰۸۳	۰	۳,۱۹۵
۶	۶,۷۸۷	۷,۵۴	۵,۹۵۷	۰,۰۴۳	۶	۲,۰۴۸	۰,۸۹۸	۰,۰۸۲	۰,۰۰۸	۳,۰۳۶
۷	۵,۹۸۶	۶,۶۵	۵,۸۹۷	۰,۱۰۳	۶	۲,۲۷۶	۰,۷۸۲	۰,۰۷۴	۰,۰۱۲	۳,۱۴۲
۸	۶,۵۷۹	۷,۳۰۹	۵,۹۲۴	۰,۰۷۶	۶	۲,۰۸۹	۰,۸۶۵	۰,۱۱۶	۰	۳,۰۶۹
Sample	Fe ₂	Mg	Mn	Ca	Na	Sum_B	Cl	Alm	And	Gross
۱	۰,۴۶۳	۰,۱۴۱	۰,۰۰۷	۵,۸۱۳	۰,۰۰۵	۶,۴۲۸	۰,۰۰۶	۷,۱۹۹	۱۳,۰۵۸	۷۷,۳۷۷
۲	۰,۸۶	۰,۰۴۶	۰,۰۶۲	۵,۹۵۷	۰,۰۱۱	۶,۹۳۷	۰,۰۰۶	۱۲,۴۰۴	۲۸,۰۵۲	۵۷,۵۱۱
۳	۰,۵۶۵	۰,۱۲۳	۰,۰۲۳	۵,۸۸۴	۰	۶,۵۹۴	۰,۰۰۶	۸,۵۶۲	۱۶,۶۹۶	۷۲,۵۲۵
۴	۰,۳۴۳	۰,۰۰۱	۰,۰۴۹	۶,۰۲۶	۰,۰۰۸	۶,۴۲۸	۰	۵,۳۴۲	۹,۶	۸۴,۱۵۴
۵	۰,۶۹	۰,۰۶۸	۰,۰۳۱	۶,۰۱۱	۰,۰۰۵	۶,۸۰۵	۰,۰۰۱	۱۰,۱۴۲	۲۱,۵۷۳	۶۶,۷۵۸
۶	۰,۸۹۹	۰,۰۴۸	۰,۰۲۸	۵,۹۸۹	۰	۶,۹۶۴	۰,۰۱	۱۲,۹۱۲	۲۹,۵۷۳	۵۶,۱۵۵
۷	۰,۷۸۳	۰,۰۴۴	۰,۰۷۶	۵,۹۴۷	۰,۰۰۸	۶,۸۵۸	۰	۱۱,۴۱۱	۲۴,۸۷۱	۶۱,۴۷۴
۸	۰,۸۶۶	۰,۰۶۹	۰,۰۳۹	۵,۹۵۶	۰,۰۰۱	۶,۹۳۱	۰	۱۲,۴۹	۲۸,۱۶۹	۵۷,۷۷۱
Sample	Pyrope	Spess	Uvaro							
۱	۲,۱۸۷	۰,۱۰۵	۰							
۲	۰,۶۶۴	۰,۸۹۸	۰,۳۱۲							
۳	۱,۸۶۲	۰,۲۵۶	۰							
۴	۰,۰۱۸	۰,۷۶۴	۰							
۵	۰,۹۹۹	۰,۴۶	۰							
۶	۰,۶۸۵	۰,۳۹۹	۰,۲۷۶							
۷	۰,۶۴۲	۰,۱۱۲	۰,۳۶۹							
۸	۰,۹۹۸	۰,۵۶	۰							

جدول ۴ آنالیز EDS گارنت‌ها در گارنت اسکارنها (Alm=Almandine; Gross=Grossular; And=Andradite; Uvaro= Uvarovite;)
(Spess=Spessartine)

Number	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeOt	CaO	FeOcalc	Fe ₂ O ₃ calc	TSi	Sum_T
۱	۴۰٫۳۵	۴٫۰۲	۲۴٫۸۷	۳۰٫۷۶	۱٫۱۱۹	۲۳٫۶۱۹	۶٫۶۷۴	۶٫۶۷۴
۲	۳۹٫۵۵	۳٫۴۹	۲۶٫۴۶	۳۰٫۵	۱٫۱۹	۲۵٫۱۲۹	۶٫۵۷۶	۶٫۵۷۶
۳	۳۷٫۹۲	۳٫۲۵	۲۸٫۲۷	۳۰٫۵۵	۱٫۲۷۲	۲۶٫۸۴۸	۶٫۳۳۸	۶٫۳۳۸
۴	۳۹٫۴۷	۳٫۲۷	۲۷٫۳۱	۲۹٫۹۶	۱٫۲۲۹	۲۵٫۹۳۶	۶٫۵۸۲	۶٫۵۸۲
۵	۳۹٫۶۸	۳٫۴	۲۷٫۰۷	۲۹٫۸۵	۱٫۲۱۸	۲۵٫۷۰۹	۶٫۶۱۳	۶٫۶۱۳
۶	۳۹	۳٫۱۹	۲۷٫۶	۳۰٫۲۱	۱٫۲۴۲	۲۶٫۲۱۲	۶٫۵۰۹	۶٫۵۰۹
۷	۳۸٫۹	۳٫۳۸	۲۶٫۵۷	۳۱٫۱۶	۱٫۱۹۵	۲۵٫۲۳۴	۶٫۴۶۷	۶٫۴۶۷
۸	۳۸٫۴۴	۳٫۸۵	۲۷٫۴۵	۳۰٫۲۶	۱٫۲۳۵	۲۶٫۰۶۹	۶٫۴۰۵	۶٫۴۰۵
۹	۳۸٫۸۱	۳٫۳۲	۲۷٫۱۲	۳۰٫۷۴	۱٫۲۲	۲۶٫۷۵۶	۶٫۴۶۶	۶٫۴۶۶
۱۰	۴۰٫۳	۳٫۷۹	۲۴٫۸۳	۳۱٫۰۸	۱٫۱۱۷	۲۳٫۵۸۱	۶٫۶۶۶	۶٫۶۶۶
۱۱	۳۹٫۹۲	۴٫۳	۲۶٫۰۷	۲۹٫۷	۱٫۱۷۳	۲۴٫۷۵۹	۶٫۶۲۶	۶٫۶۲۶
۱۲	۳۶٫۶۶	۴٫۶۸	۲۵٫۸	۲۹٫۸۶	۱٫۱۶۱	۲۴٫۵۰۲	۶٫۵۷۲	۶٫۵۷۲
AlVI	Fe ₃	Sum_A	Fe ₂	Ca	Sum_B	Alm	And	Gross
۰٫۷۸۳	۲٫۹۳۷	۳٫۷۲	۰٫۱۵۵	۵٫۴۵۱	۵٫۶۰۶	۲٫۷۶۱	۷۸٫۹۵	۱۸٫۲۸۹
۰٫۶۸۳	۳٫۱۴۱	۳٫۸۲۵	۰٫۱۶۶	۵٫۴۳۴	۵٫۵۹۹	۲٫۹۵۶	۸۲٫۱۳۱	۱۴٫۹۱۲
۰٫۶۴	۳٫۳۷۳	۴٫۰۱۳	۰٫۱۷۸	۵٫۴۷۱	۵٫۶۴۹	۳٫۱۴۷	۸۴٫۰۶	۱۲٫۷۹۳
۰٫۶۴۲	۳٫۲۵۱	۳٫۸۹۴	۰٫۱۷۱	۵٫۳۵۳	۵٫۵۲۴	۳٫۱۰۲	۸۳٫۵۰۷	۱۳٫۳۹۱
۰٫۶۶۷	۳٫۲۲۱	۳٫۸۸۸	۰٫۱۷	۵٫۳۳	۵٫۴۹۹	۳٫۰۸۶	۸۲٫۸۳۸	۱۴٫۰۷۶
۰٫۶۲۷	۳٫۲۸۹	۳٫۹۱۶	۰٫۱۷۳	۵٫۴۰۲	۵٫۵۷۵	۳٫۱۰۹	۸۲٫۹۸۸	۱۲٫۹۰۴
۰٫۶۶۲	۳٫۱۵۴	۳٫۸۱۶	۰٫۱۶۶	۵٫۵۵۱	۵٫۷۱۷	۲٫۹۰۷	۸۲٫۶۵۶	۱۴٫۴۳۷
۰٫۷۵۵	۳٫۲۶۵	۴٫۰۲۱	۰٫۱۷۲	۵٫۴۰۲	۵٫۵۷۴	۳٫۰۸۷	۸۱٫۲۱۲	۱۵٫۷۰۱
۰٫۶۵۱	۳٫۲۲۶	۳٫۸۷۷	۰٫۱۷	۵٫۴۸۷	۵٫۶۵۷	۳٫۰۰۵	۸۳٫۱۹۹	۱۳٫۷۹۵
۰٫۷۳۸	۲٫۹۳۲	۳٫۶۷۱	۰٫۱۵۵	۵٫۵۰۸	۵٫۶۶۳	۲٫۷۲۹	۷۹٫۸۸۶	۱۷٫۳۸۵
۰٫۸۴	۳٫۰۸۹	۳٫۹۳	۰٫۱۶۳	۵٫۲۸۲	۵٫۴۴۴	۲٫۹۹	۷۸٫۶۱۲	۱۸٫۳۹۸
۰٫۹۱۳	۳٫۰۵۲	۳٫۹۶۶	۰٫۱۶۱	۵٫۳۰۱	۵٫۴۶۲	۲٫۹۴۵	۷۶٫۹۷	۲۰٫۰۸۵



شکل ۵ ترکیب کلینوپروکسن‌های موجود در اسکارنهای منطقه. گارنت‌های موجود در اسکارنهای منطقه (همراه با دیگر کالک سیلیکاتها) دارای ترکیب گراسولر بوده (مربع) در حالی گارنت‌های موجود در گارنتیت‌ها (دایره) دارای ترکیب آندرادیت هستند.

جدول ۵ میانگین آنالیز ICP-Ms برای تعیین عناصر کمیاب گارنت‌ها در اسکارنهای گارنت.

Element	Value	Element	Value	Element	Value	Element	Value
Ba	۱۶۸٫۶	Ta	۰٫۷	Nd	۲۱٫۴	Lu	۰٫۲۷
Be	۳	Th	۷٫۱	Sm	۴٫۴	Mo	۲٫۳
Co	۲۱	U	۹٫۳	Eu	۱٫۲۸	Cu	۱۴
Cs	۰٫۸	V	۶۱	Gd	۳٫۹۱	Pb	۱۰٫۶
Ga	۱۴٫۴	W	۳۱۷٫۷	Tb	۰٫۶۳	Zn	۱۰٫۸
Hf	۲٫۴	Zr	۸۷٫۵	Dy	۳٫۶۱	Ni	۸٫۱
Nb	۶٫۹	Y	۲۰٫۴	Ho	۰٫۶۹	As	۴۹۶٫۲
Rb	۱۳٫۱	La	۳۷٫۸	Er	۱٫۹۹	Cd	۰٫۱
Sn	۱۲	Ce	۶۱٫۱	Tm	۰٫۲۷	Sb	۵٫۹
Sr	۲۲۶٫۵	Pr	۶٫۰۹	Yb	۱٫۹۳	Bi	۱۸٫۷
Ag	۷۵٫۲	Au	۱۴۳٫۷	Hg	۰٫۰۲	Se	۰٫۵

می‌توان گفت که تشکیل کانی‌های اسکارنی در این زون (اندواسکارنها) باعث افزایش عناصری مانند سدیم در ماگمای باقی مانده می‌شود، زیرا که سدیم جایگاهی در ساختار کانیهای اسکارنی ندارد. لذا تجمع سدیم در ماگمای باقی مانده در اندواسکارنها می‌تواند سبب دگرپدایی سدیم و تشکیل آلیت‌های نوظهور شود.

۴- اسفن: دانه‌های اسفن در اندواسکارنها دارای مقادیر نسبتاً بالایی از Al_2O_3 و FeO هستند. معمولاً همراه با افزایش Al و Fe، میزان Ti اسفن‌ها کاهشی را نشان می‌دهد که به سبب جایگزینی Al و Fe به جای Ti است (جدول ۸).

۵- ولاستونیت: این کانی معمولاً در تمامی اسکارنهای مورد مطالعه وجود دارد. میزان CaO این ولاستونیتها نسبتاً بالاست. میزان FeO این ولاستونیتها متغیر و ناچیز بوده در حالی که میزان MgO تا حدودی بالاست (جدول ۹).

۶- وزوونایت: به عنوان یکی از کانی‌های اصلی تشکیل دهنده اسکارنهای کلینوپیروکسن - گارنت - وزوونایت دارای میزان بالایی از TiO_2 و CaO هستند (جدول ۱۰).

۷- آمفیبول و بیوتیت: این دو کانی در توده نفوذی منطقه به صورت کانی‌های فرعی وجود دارند. ترکیب آمفیبول‌ها در طیف اکتینولیت هورنبلند قرار می‌گیرند. بیوتیت‌ها در گستره آیت-فلوگویت قرار داشته و میزان Al(IV) آنها پائین است. میزان X_{Fe} این بیوتیت‌ها تغییراتی بین ۰/۴۶ تا ۰/۴۸ را نشان می‌دهد (جدول ۱۱).

۲- کلینوپیروکسن‌ها: ترکیب کلینوپیروکسن‌ها عموماً در طیف دیوپسیدهای غنی از کلسیم و نیز سالیست قرار می‌گیرد (شکل ۵). معمولاً با افزایش Al_2O_3 در ساختار کلینوپیروکسن‌ها، میزان MgO, CaO و SiO_2 کاهش یافته در حالی که میزان FeO و TiO_2 افزایشی را نشان می‌دهند. برخی از کلینوپیروکسن‌ها (شماره‌های ۱۸ و ۱۹ در جدول ۶) دارای مقادیر بالای Al_2O_3 بوده که همراه با آن، میزان FeO نیز افزایش یافته و نیز نسبت Fe^{+3}/Fe^{+2} نیز نسبت به دیگر کلینوپیروکسن‌ها بالاست. ترکیب این کلینوپیروکسن‌ها مشابه ترکیب فاسائیت است [۱۸]. برخی دیگر از کلینوپیروکسن‌ها (شماره‌های ۲۰ و ۲۱) یک افزایشی در میزان MnO و نیز در مقدار FeO نشان می‌دهند. در این کلینوپیروکسن‌ها مقادیر MgO, CaO و تا حدودی Al_2O_3 و SiO_2 کاهش یافته‌اند. علاوه بر این میزان Fe^{+2} بیشتر از مقادیر Fe^{+3} است. بنابراین مقادیر اعضای پایانی جوهانسونیت (Johansonite) و هدنبرژیت (Hedenbergite) در این پیروکسن‌ها نسبتاً بالا هستند. در این حالت شرایط احیایی بالاتری برای تشکیل آنها در نظر گرفته می‌شود [۱۹]. از نظر ژئوشیمیایی ترکیب این کلینوپیروکسن‌ها مشابه کلینوپیروکسن‌های موجود در اسکارنهای مس است.

۳- پلاژیوکلازها: پلاژیوکلازها معمولاً در اسکارنهای کلینوپیروکسن-پلاژیوکلاز (اندواسکارنها) وجود داشته و ترکیب آنها عموماً در گستره آلیت (با ۹۰ تا ۹۲٪ آلیت) قرار گرفته و میزان اورتوز آنها معمولاً در حد بیش از ۰/۹٪ است (جدول ۷).

جدول ۶ ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن در اندو اسکارن‌های مورد مطالعه.

Number	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
Na ₂ O	۰/۰۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۵۸	۰/۰۹۳	۰/۰۶۹	۰/۱۴۶	۰
SiO ₂	۵۵/۰۹۱	۵۴/۱۴۳	۵۴/۲۵۲	۵۴/۲۸۳	۵۵/۱۴۴	۵۴/۷۱۷	۵۵/۱۳۸
K ₂ O	۰/۰۱۹	۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۱۶	۰
CaO	۲۵/۵۹	۲۵/۵۸۷	۲۵/۲۱	۲۴/۶۸۸	۲۶/۰۵۱	۲۵/۷۴۸	۲۶/۴۷
TiO ₂	۰	۰	۰/۰۷۷	۰/۰۱۲	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۴۲
Cr ₂ O ₃	۰/۰۳۵	۰/۰۱۸	۰	۰/۱۱۴	۰	۰/۰۰۷	۰
MnO	۰/۴۵۳	۰/۳۱۹	۰/۵۶	۰/۴۶۹	۰/۵۳۸	۰/۴۵۸	۰/۴۷۵
FeO	۱/۰۳۷	۱/۱۲۳	۲/۲۳۲	۲/۳۸۴	۱/۸۲۲	۲/۵۵۱	۰/۷۹۱
MgO	۱۷/۱۷۸	۱۶/۷۱۸	۱۶/۰۹۵	۱۶/۰۱۹	۱۶/۳۹۷	۱۵/۷۷۵	۱۷/۳۱۲
Al ₂ O ₃	۰/۲۶۶	۱/۲۶۲	۰/۴۰۶	۰/۳۸۲	۰/۴۴۲	۰/۵۸۲	۰/۲۴۹
Total	۹۹/۷۱۶	۹۹/۱۷۴	۹۸/۹۲۸	۹۸/۴۴۴	۱۰۰/۴۷۵	۱۰۰/۰۸۲	۱۰۰/۴۷۷
Na	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰
Si	۲/۰۰۷	۱/۹۸۳	۲/۰۰۴	۱/۹۹۷	۲/۰۰۳	۲/۰۰۱	۱/۹۹۲
K	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۰/۰۰۱	۰
Ca	۰/۹۹۹	۱/۰۰۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۱	۰/۰۱۴	۱/۰۰۹	۱/۰۲۵
Ti	۰	۰	۰/۰۰۲	۰	۰	۰	۱/۰۰۱
Cr	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۳	۰	۰/۰۰۲	۰
Mn	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵
Fe ⁺³ (T)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Fe ⁺³ (M1)	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۳
Fe ⁺²	۰/۰۳۲	۰/۰۳۴	۰/۰۶۹	۰/۰۷۵	۰/۰۵۵	۰/۰۷۸	۰/۰۲۱
Mg	۰/۹۲۳	۰/۹۱۳	۰/۸۸۶	۰/۸۹۵	۰/۸۸۸	۰/۸۶	۰/۹۳۳
Al (T)	۰	۰/۰۱۷	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۰/۰۰۸
Al (M1)	۰/۰۱۱	۰/۰۳۸	۰/۰۱۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۹	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳
Total	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Number	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
Na ₂ O	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۲۶	۰	۰/۰۱۹	۰
SiO ₂	۵۴/۹۲۴	۵۳/۴۸۲	۵۵/۰۷۸	۵۳/۲۴۷	۵۴/۴۹۶	۵۴/۴۶۴	۵۴/۸۹۸
K ₂ O	۰	۰	۰/۰۰۳	۰	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
CaO	۲۶/۳۶۷	۲۵/۸۳۳	۲۶/۶۹۳	۲۵/۷۳۶	۲/۰۷۸	۲۵/۹	۲۵/۹۴۲
TiO ₂	۰/۰۵۸	۰/۱۹۵	۰/۱۱۲	۰/۴۴۴	۰/۰۰۶	۰/۰۶۳	۰
Cr ₂ O ₃	۰	۰	۰/۰۳۵	۰	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۴۴
MnO	۰/۴۲۷	۰/۷۵۴	۰/۴۵۷	۰/۴۸۸	۰/۳۲	۰/۶۹۳	۰/۲۵
FeO	۱/۱۱۵	۲/۸۰۳	۱/۱۹	۲/۴۶۵	۰/۸	۱/۰۷۹	۰/۵۹۸
MgO	۱۷/۰۸۱	۱۵/۷۵۳	۱۷/۳۲	۱۵/۶۴۶	۱۷/۱۹۸	۱۷/۰۷۵	۱۷/۶۸۸
Al ₂ O ₃	۰/۴۸	۱/۳	۰/۴۱۹	۲/۴۵۸	۰/۵۴۲	۰/۳۸۴	۰/۴۴۸
Total	۱۰۰/۴۶۴	۱۰۰/۲۰۸	۱۰۱/۰۶۸	۱۰۰/۵۰۹	۹۹/۵۴۵	۹۹/۷۲۷	۹۹/۸۹۱
Na	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱	۰
Si	۱/۹۸۷	۱/۹۵۵	۱/۹۴۹	۱/۹۳۸	۱/۹۸۶	۱/۹۸۶	۱/۹۹
K	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰	۰	۰
Ca	۱/۰۲۲	۱/۰۱۲	۱/۰۴۷	۱/۰۰۴	۱/۰۱۸	۱/۰۱۲	۱/۰۰۸
Ti	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰
Cr	۰	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱
Mn	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۰۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸
Fe ⁺³ (T)	۰	۰	۰/۰۳۳	۰	۰	۰	۰
Fe ⁺³ (M1)	۰/۰۰۱	۰/۰۲۹	۰/۰۰۴	۰	۰	۰/۰۰۹	۰
Fe ⁺²	۰/۰۳۲	۰/۰۵۷	۰	۰/۰۷۵	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۱۸
Mg	۰/۹۲۱	۰/۸۵۸	۰/۹۲۹	۰/۸۴۹	۰/۹۳۵	۰/۹۲۸	۰/۹۵۶
Al (T)	۰/۰۱۳	۰/۰۴۵	۰/۱۸	۰/۰۶۲	۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱
Al (M1)	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱	۰	۰/۰۴۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹
Total	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

ادامه جدول ۶

Number	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱
Na ₂ O	۰	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲	۰/۱۹۱	۰/۱۴۴
SiO ₂	۵۴,۶۶۷	۵۳,۶۷	۵۳,۸۵	۴۷,۶۹۱	۴۹,۲۶۶	۵۱,۵۹	۵۰,۹۷۲
K ₂ O	۰/۰۱۲	۰	۰/۰۱۴	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۲	۰
CaO	۲۶,۰۱۲	۲۵,۶۲۷	۲۶,۰۳۶	۲۵,۵۴۲	۲۵,۹۷۹	۲۴,۰۳۸	۲۴,۸۱۳
TiO ₂	۰/۰۳۵	۰/۰۷۵	۰/۰۵۳	۰/۷۹۹	۰/۶۷۶	۰	۰
Cr ₂ O ₃	۰/۰۷	۰/۰۵۳	۰	۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	۰/۰۱۸	۰/۰۹۶
MnO	۰/۳۷۱	۰/۱۷۶	۰/۱۸۵	۰	۰	۱/۰۶۹	۱,۶۶۶
FeO	۰/۷۳۷	۱/۲۹۳	۰/۷۷۵	۳/۹۴۶	۳/۳۵۹	۱۰/۲۷۹	۹/۴۷۲
MgO	۱۷,۳۷۲	۱۷,۲۳۹	۱۷,۴۱۳	۱۲,۸۶۲	۱۳,۷۰۱	۱۱/۰۴۶	۱۰/۸۶۵
Al ₂ O ₃	۰/۳۵۹	۱/۷۵	۰/۸۰۵	۹/۲۸۳	۷/۶۳	۰/۱۹۱	۰/۲۲۵
Total	۹۹,۶۳۵	۹۹,۸۸۲	۹۹/۱۴	۱۰۰/۱۸۱	۱۰۰/۶۹۷	۹۸,۸۰۷	۹۸/۲۷۸
Na	۰	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱
Si	۱/۹۹	۱/۹۴۸	۱/۹۶۷	۱/۷۴۸	۱/۷۹۲	۱/۹۵۹	۱/۹۴۲
K	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰
Ca	۱/۰۱۵	۰/۹۹۶	۱/۰۱۹	۱/۰۰۳	۱/۰۱۳	۱/۰۱۱	۱/۰۳۳
Ti	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۲۲	۰/۰۱۸	۰	۰
Cr	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
Mn	۰/۰۱۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰	۰	۰/۰۳۵	۰/۰۵۵
Fe ⁺³ (T)	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳۳	۰/۰۴۸
Fe ⁺³ (M1)	۰/۰۰۱	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۶	۰/۰۵۴	۰/۰۵۶	۰/۰۶۶
Fe ⁺²	۰/۰۲۱	۰/۰۱۵	۰	۰/۰۶۱	۰/۰۴۸	۰/۲۴۴	۰/۲۰۳
Mg	۰/۹۴۳	۰/۹۳۳	۰/۹۴۸	۰/۷۰۳	۰/۷۴۳	۰/۶۳۸	۰/۶۲۹
Al (T)	۰/۰۱	۰/۰۵۲	۰/۰۳۳	۰/۲۸۲	۰/۲۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱
Al (M1)	۰/۰۰۵	۰/۰۲۳	۰/۰۰۱	۰/۱۴۹	۰/۱۱۹	۰	۰
Total	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴

جدول ۷ ترکیب پلاژیوکلازها در اندوساکارن‌ها.

Number	۱	۲	۳	۴
Na ₂ O	۱۰/۲۴	۱۰/۳۸۵	۱۰/۱۴۳	۱۰/۵۲۱
SiO ₂	۶۵/۳۵	۶۶/۷۳۸	۶۶/۶۵۲	۶۵/۹۷۳
Cl	۰/۰۱	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱
K ₂ O	۰/۰۹۲	۰/۰۹۸	۰/۱۳۴	۰/۱۵۴
CaO	۱/۷۷۷	۱/۳۱۴	۱/۵۵۲	۱/۲۷۳
TiO ₂	۰/۰۲۲	۰/۰۴۸	۰	۰
Cr ₂ O ₃	۰	۰	۰	۰
MnO	۰/۰۲۶	۰	۰	۰/۰۸۸
FeO	۰/۰۹۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴	۰/۰۲۲
MgO	۰	۰/۰۲۷	۰/۰۱	۰/۰۰۷
Al ₂ O ₃	۲۰/۶۷	۱۹/۶۸۸	۲۰/۲۲۸	۲۰/۲۲۶
Total	۹۸/۲۸۲	۹۸/۳۶	۹۸/۱۷۲	۹۸/۲۷۴
Na	۳/۵۸۲	۳/۶۹۴	۳/۵۷۶	۳/۷۰۴
Si	۱۱/۳۲۹	۱۱/۷۲۴	۱۱/۶۸۹	۱۱/۶۶۸
Cl	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳
K	۰/۰۱۸	۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۰۳۵
Ca	۰/۳۳۶	۰/۲۵۴	۰/۲۹۶	۰/۲۴۱
Ti	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰	۰
Cr	۰	۰	۰	۰
Mn	۰/۰۰۴	۰	۰	۰/۰۱۳
Fe	۰/۰۱۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۳
Mg	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
Al	۴/۳۴۲	۴/۲۲۶	۴/۲۹۸	۴/۳۰۴
Total	۱۹/۶۳۱	۱۹/۹۴۴	۱۹/۸۹۵	۱۹/۹۷۳

جدول ۸ ترکیب شیمیایی اسفن‌ها در اندواسکارن‌ها.

Number	۱	۲	۳
Na ₂ O	۰٫۰۱۱	۰	۰
SiO ₂	۲۷٫۸۶۸	۲۸٫۸۴۸	۲۹٫۰۷۹
Cl	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۸	۰
K ₂ O	۰	۰	۰
CaO	۲۷٫۴۸	۲۷٫۹۸۶	۲۸٫۲۲۳
TiO ₂	۳۷٫۲۵۷	۳۶٫۹۷۸	۳۶٫۸۸۳
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۲۶	۰	۰٫۰۷۲
MnO	۰٫۰۶۵	۰	۰٫۰۴
FeO	۱٫۴۰۲	۱٫۵۲۳	۱٫۶۲۴
MgO	۰٫۰۳۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۶۸
Al ₂ O ₃	۰٫۹۸۸	۱٫۲۰۵	۱٫۱۹۸
Total	۹۵٫۱۴۸	۹۶٫۵۶۳	۹۷٫۱۸۶
Na	۰٫۰۰۱۴	۰	۰
Si	۳٫۶	۳٫۹۳۶	۴٫۰۷
Cl	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۴	۰
K	۰	۰	۰
Ca	۳٫۸۷	۴٫۱	۳٫۵۱۳
Ti	۳٫۶۱	۳٫۷۷	۳٫۹۲
Cr	۰٫۰۰۱	۰	۰٫۰۰۶
Mn	۰٫۰۰۶	۰	۰٫۰۰۴
Fe	۱٫۵۵	۰٫۱۷	۰٫۱۸۶
Mg	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱۳
Al	۰٫۱۳۷	۰٫۱۹۸	۰٫۱۸۴
Total	۱۲٫۷۸۳۴	۱۲٫۱۸۳	۱۱٫۸۹۶

ادامه جدول ۹

جدول ۹ ترکیب شیمیایی ولاستونیت‌ها در اسکارنهای مورد مطالعه.

Number	۱	۲	۳	۴	۵
Na ₂ O	۰٫۰۳۴	۰	۰	۰٫۰۰۳	۰
SiO ₂	۵۱٫۸۵۴	۵۱٫۹۸۳	۵۱٫۹۵۹	۵۱٫۷۱۱	۵۱٫۹۶۱
Cl	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱۹	۰	۰٫۰۱۹	۰
K ₂ O	۰٫۰۲۲	۰٫۰۰۴	۰	۰	۰٫۰۱۶
CaO	۴۸٫۰۳۹	۴۷٫۹۶	۴۸٫۵۴۹	۴۸٫۰۱	۴۸٫۳۳۹
TiO ₂	۰	۰٫۱۶۲	۰٫۱۵۲	۰٫۰۵	۰٫۰۱۷
Cr ₂ O ₃	۰	۰٫۰۰۹	۰	۰	۰
MnO	۰٫۰۶۱	۰٫۰۲۷	۰٫۰۶۵	۰٫۰۵۴	۰٫۰۲۵
FeO	۰٫۰۸۵	۰٫۱۵۸	۰	۰٫۰۴	۰٫۰۱۳
MgO	۰٫۱۷۶	۰٫۱۵۴	۰٫۱۵۸	۰٫۲۲۹	۰٫۲۰۶
Al ₂ O ₃	۰٫۱	۰٫۲۲۹	۰٫۱۵۹	۰٫۰۵۹	۰٫۰۵۱
Total	۱۰۰٫۳۷۵	۱۰۰٫۷۰۳	۱۰۰٫۱۰۴	۱۰۰٫۱۷۴	۱۰۰٫۶۲۶
Na	۰٫۰۰۶	۰	۰	۰٫۰۰۰۶	۰
Si	۵٫۹۸۵	۵٫۹۸۵	۵٫۹۷	۵٫۹۷۳	۵٫۹۸۹
Cl	۰٫۰۰۰۷	۰٫۰۰۳	۰	۰٫۰۰۳	۰
K	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰۵	۰	۰	۰٫۰۲
Ca	۵٫۹۳۶	۵٫۹۱۶	۵٫۹۷۳	۵٫۹۴۶	۵٫۹۶۸
Ti	۰	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۱
Cr	۰	۰٫۰۰۰۶	۰	۰	۰
Mn	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲
Fe	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۳	۰	۰٫۰۳۸	۰٫۰۰۰۷
Mg	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲	۰٫۰۰۰۵	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۴
Al	۰٫۰۱۲	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۶
Total	۱۱٫۹۸۰۵	۱۱٫۹۸۶۶	۱۱٫۹۸۶۲	۱۱٫۹۸۵۸	۱۲٫۰۰۵۸

Number	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
Na ₂ O	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۴	۰٫۰۱۶	۰٫۰۵	۰٫۰۶۳
SiO ₂	۵۲٫۳۷۲	۵۱٫۳۹	۵۱٫۶۸۷	۵۲٫۰۱۵	۵۱٫۷۳۲	۵۱٫۸۳۷
Cl	۰٫۰۰۲	۰	۰٫۰۱۲	۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۵۱
K ₂ O	۰٫۰۵۵	۰	۰٫۰۱	۰	۰٫۰۵۵	۰٫۰۸۲
CaO	۴۸٫۴۳۸	۴۸٫۰۳۲	۴۸٫۰۵۳	۴۷٫۸	۴۶٫۲۹۵	۴۷٫۲۸۵
TiO ₂	۰٫۰۳۷	۰٫۰۶۵	۰٫۰۸۲	۰٫۰۳۷	۰٫۰۴۸	۰٫۰۹
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۶۱	۰٫۰۲۶	۰	۰٫۰۳۵	۰	۰٫۰۵۳
MnO	۰٫۰۵۷	۰٫۰۵۴	۰٫۰۷۶	۰٫۰۶۲	۰٫۱۴۱	۰
FeO	۰	۰٫۱۴۲	۰٫۱۰۹	۰٫۰۴۴	۰٫۰۹	۰٫۱۱۴
MgO	۰٫۲۴۵	۰٫۱۴۴	۰٫۲۲۹	۰٫۱۹۹	۰٫۲۳۴	۰٫۱۴۹
Al ₂ O ₃	۰٫۱	۰٫۱۲۷	۰٫۱۴	۰٫۰۶۲	۰٫۱۵۱	۰٫۱۳۴
Total	۱۰۱٫۴۰۲	۱۰۰٫۱۰۷	۱۰۰٫۴۳۲	۱۰۰٫۲۷	۹۸٫۷۹۸	۹۹٫۸۵۹
Na	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۷۵	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۳
Si	۵٫۹۹	۵٫۹۷۲	۵٫۹۷۴	۶٫۰۰۸	۶٫۰۵۸	۵٫۹۸۸
Cl	۰٫۰۰۰۳	۰	۰٫۰۰۲	۰	۰٫۰۰۰۳	۰٫۰۰۹
K	۰٫۰۰۸	۰	۰٫۰۰۱۳	۰	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۱
Ca	۵٫۹۳۵	۵٫۹۷۵	۵٫۹۴۶	۵٫۹۱۳	۵٫۸۰۵	۵٫۸۵۲
Ti	۰٫۰۰۳۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۷
Cr	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۲	۰	۰٫۰۰۳	۰	۰٫۰۰۶
Mn	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۶	۰٫۰۱۳	۰
Fe	۰	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱
Mg	۰٫۰۴۱	۰٫۰۲۴	۰٫۰۳۹	۰٫۰۳۴	۰٫۰۴	۰٫۰۲۴
Al	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۷	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۰۱	۰٫۰۱۷
Total	۱۲٫۰۰۹۴	۱۲٫۰۲۲۵	۱۲٫۰۱۱۹	۱۱٫۹۸۲۴	۱۱٫۹۴۴۲	۱۱٫۹۹۱۷

جدول ۱۰ ترکیب شیمیایی وزووانیت‌ها در اسکارنهای مورد مطالعه.

Number	۱	۲	۳	۴	۵
Na ₂ O	۰	۰/۰۴۷	۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷
SiO ₂	۳۶,۸۸۱	۳۶,۳۹۱	۳۶,۷۷۹	۳۶,۴۳۲	۳۵,۹۱۴
Cl	۰/۰۷	۰/۰۸۹	۰/۰۸۶	۰/۰۵۸	۰/۰۵۶
K ₂ O	۰/۰۰۴	۰/۰۲۹	۰/۰۴۹	۰/۰۴۲	۰/۰۳۶
CaO	۳۵,۸۷۳	۳۵,۰۷۵	۳۶,۴۶۶	۳۵,۷۸۸	۳۶,۱۰۷
TiO ₂	۱/۰۸۹	۱/۰۸۱	۱/۱۸۶	۰/۸۶۱	۱/۱۳۱
Cr ₂ O ₃	۰	۰/۰۱۸	۰	۰	۰/۰۲۶
MnO	۰	۰/۰۸	۰/۰۶۷	۰/۰۱۶	۰
FeO	۴,۳۰۱	۴,۲۹۷	۴,۲۴۴	۳,۹۱	۴,۱۲۶
MgO	۴,۰۵۲	۴,۰۵۹	۳,۹۷۶	۴,۱۹۷	۳,۹۸۹
Al ₂ O ₃	۱۴,۶۰۵	۱۵,۳۹۴	۱۴,۷۲۲	۱۳,۶۳۸	۱۴,۳۳۱
Total	۹۶,۸۷۶	۹۶,۵۶۷	۹۶,۶۰۳	۹۵,۰۴۹	۹۵,۷۲۴
Na	۰	۰/۰۴۲	۰/۰۴۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۶
Si	۱۸,۷۷	۱۸,۴۵۴	۱۸,۶۹۶	۱۸,۹۵	۱۸,۵۸۱
Cl	۰/۰۶۱	۰/۰۷۶	۰/۰۷۳	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱
K	۰/۰۰۲	۰/۰۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۲۵	۰/۰۱۸
Ca	۱۹,۵۶	۱۹,۴۹۱	۱۹,۳۰۷	۱۹,۹۵۶	۲۰,۰۱۳
Ti	۰/۴۱۳	۰/۴۱۱	۰/۴۵۲	۰/۳۱۲	۰/۴۳۵
Cr	۰	۰/۰۰۶	۰	۰	۰/۰۰۶
Mn	۰	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۳۱	۰
Fe	۱,۸۰۶	۱,۷۹۹	۱,۸۰۲	۱,۶۸۹	۱,۷۷
Mg	۳,۰۶۲	۳,۰۵	۲,۹۹۳	۳,۲۵۳	۳,۰۵
Al	۸,۶۶۹	۹,۰۹	۸,۷۳	۸,۲۳۷	۸,۶۲۷

ادامه جدول ۱۰

Number	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
Na ₂ O	۰	۰/۰۳۴	۰/۰۵	۰	۰	۰/۰۰۹
SiO ₂	۳۶,۴۴۹	۳۶,۰۳۶	۳۶,۰۵۳	۳۵,۹۷	۳۶,۰۳	۳۶,۰۱۵
Cl	۰/۱۱۲	۹۶	۰/۱۱	۰/۰۷۹	۰/۰۶۳	۰/۰۱۵
K ₂ O	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۳۷	۰	۰	۰/۰۱۴
CaO	۳۵,۵۹۴	۳۵,۵۳۱	۳۵,۸۳	۳۶,۴۵۱	۳۶,۴۲	۳۶,۲۴۴
TiO ₂	۱,۲۸۴	۱/۱۹۳	۰/۶۴۱	۰/۶۹۴	۰/۸۰۲	۰/۸۳۹
Cr ₂ O ₃	۰/۰۰۹	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۹
MnO	۰/۰۱۰۲	۰/۰۲۶	۰/۲۴۵	۰/۰۴	۰/۲۳۲	۰/۲۴۹
FeO	۴,۹۶۸	۴,۱۲۱	۴,۳۵۶	۴,۲۳۶	۴,۸۴۷	۴,۵۲۳
MgO	۴,۰۰۶	۳,۷۷۷	۴,۶۴۳	۴,۶۳۱	۴,۵۲۳	۴,۴۰۵
Al ₂ O ₃	۱۴,۲۹۷	۱۴,۶۰۳	۱۲,۸۸۶	۱۲,۹۴۱	۱۲,۸۴۲	۱۲,۷۳۳
Total	۹۶,۸۲۲	۹۵,۴۲۳	۹۴,۸۶۱	۹۷,۰۴۲	۹۵,۷۸۲	۹۵,۰۹۳
Na	۰	۰/۰۳۱	۰/۰۳۱	۰	۰	۰/۰۰۶
Si	۱۸,۶۴۲	۱۸,۵۹۸	۱۸,۷۸۳	۱۸,۷	۱۸,۶	۱۸,۸۷
Cl	۰/۰۹۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲	۰/۰۶۳	۰/۰۶	۰/۰۳۱
K	۰	۰/۰۰۴	۲,۰۴۱	۰	۰	۰/۰۰۶
Ca	۱۹,۵۰۳	۱۹,۶۵۶	۰/۲۶۶	۲۰,۴۱	۲۰,۲۵	۲۰,۳۶
Ti	۰/۴۹۲	۰/۴۶۲	۰/۰۱۵	۰/۲۵	۰/۳	۰/۳۱
Cr	۰/۰۰۲	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۳
Mn	۰/۰۴۳	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۹	۰/۰۹۴
Fe	۲,۱۲	۱,۷۷	۱,۸۲۱	۱,۸۵	۲,۲	۱,۹۵
Mg	۳,۰۴۵	۳,۰۴۲	۳,۶۱۲	۳,۶۱	۳,۴۳	۳,۴۳
Al	۸,۵۲۷	۸,۷۹۱	۷,۹	۷,۹	۸,۱	۷,۷۳

جدول ۱۱ ترکیب شیمیایی آمفیبول و بیوتیت در توده نفوذی منطقه.

Sample	Mineral	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	MgO
۱	amphibole	۴۹٫۸۹۳۹	۰٫۸۳۷۸	۴٫۸۷۸۲	۱۵٫۲۳۶۹	۰٫۰۰۰۲	۰٫۸۵۰۲	۱۳٫۱۵۸۱
۲	amphibole	۵۰٫۰۴۳۳	۰٫۷۲۳۸	۴٫۵۱۹۷	۱۵٫۵۵۹۵	۰٫۰۰۰۲	۰٫۴۹۴	۱۲٫۸۹۲
Sample	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	TSi	TAI	Sum-T	CAI
۱	۱۰٫۷۱۳۴	۱٫۱۲۴۴	۰٫۴۵۶۱	۹۷٫۱۴۹۲	۷٫۴۲۳	۰٫۵۷۷	۸	۰٫۲۷۷
۲	۱۰٫۵۴۳۷	۱٫۱۸۸۳	۰٫۳۷۱۹	۹۶٫۳۳۶۴	۷٫۵۱۷	۰٫۴۸۳	۸	۰٫۳۱۷
Sample	CTi	CMg	CFe2	Sum-C	BFe2	BMn	BCa	Sum-B
۱	۰٫۰۹۴	۲٫۹۱۸	۱٫۷۱۱	۵	۰٫۱۸۵	۰٫۱۰۷	۱٫۷۰۸	۲
۲	۰٫۰۸۲	۲٫۸۸۷	۱٫۷۱۴	۵	۰٫۲۴	۰٫۰۶۳	۱٫۶۹۷	۲
Sample	ANa	AK	Sum-A	Sum-cat.				
۱	۰٫۳۲۴	۰٫۰۸۷	۰٫۴۱۱	۱۵٫۴۱۱				
۲	۰٫۳۴۶	۰٫۰۷۱	۰٫۴۱۷	۱۵٫۴۱۷				
Sample	Mineral	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO
۱	Biotite	۳۶٫۱۵۴۶	۴٫۲۰۲۷	۱۲٫۵۴۵۸	۰٫۰۳۹۹	۱۸٫۷۷۸۶	۰٫۱۳۶	۱۱٫۴۹۳۸
۲	Biotite	۳۶٫۶۳۷۶	۴٫۰۵۹	۱۲٫۵۳۰۱	۰٫۰۷۳۹	۱۸٫۵۲۳۴	۰٫۲۸۵۴	۱۱٫۵۷۲۷
۳	Biotite	۳۶٫۷۱۹۶	۳٫۸۸۷۸	۱۲٫۱۳۹۲	۰٫۰۱۱۶	۱۸٫۰۳۰۶	۰٫۲۲۳۸	۱۱٫۹۱۸۴
Sample	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	Si	AlIV	AlVI	Ti
۱	۰٫۰۸۵۸	۰٫۷۲۵۲	۸٫۷۴۱۲	۹۲٫۹۰۳۶	۵٫۸۱۳	۲٫۱۸۷	۰٫۱۸۸	۰٫۵۰۸
۲	۰٫۰۰۰۲	۰٫۳۰۲۹	۸٫۶۶۶۲	۹۲٫۶۵۱۴	۴٫۴۲۶	۳٫۵۷۴	۱٫۶۳۹	۰٫۳۶۹
۳	۰٫۱۶۴۴	۰٫۰۹۷۹۷	۸٫۲۵۷۸	۹۲٫۳۳۲۳	۵٫۹۱	۲٫۰۹	۰٫۲۱۱	۰٫۴۷۱
Sample	Fe2	Cr	Mn	Mg	Ca	Na	K	Cations
۱	۲٫۵۲۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱۹	۲٫۷۵۵	۰٫۰۱۵	۰٫۲۲۶	۱٫۷۹۳	۱۶٫۰۳۴
۲	۱٫۸۷۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۲۹	۲٫۰۸۴	۰	۰٫۰۷۱	۱٫۳۳۶	۱۵٫۴۰۷
۳	۲٫۴۲۷	۰٫۰۰۱	۰٫۰۳۱	۲٫۸۶	۰٫۰۲۸	۰٫۳۰۶	۱٫۶۹۵	۱۶٫۰۳
Sample	XFe	XMg						
۱	۴۸٫۰	۵۲٫۰						
۲	۴۷٫۰	۵۳٫۰						
۳	۴۶٫۰	۵۴٫۰						

آبگونیهای ماگمایی به دیوپسید تبدیل شده است. پس از این مرحله، یا گراسولر و آندرادیت مستقیماً متبلور شده، و یا گراسولر به خرج ولاستونیت تشکیل شده است. بررسی روابط دقیق بافتی نشان می‌دهد که برخی از ولاستونیت‌ها برای تشکیل گراسولر تحلیل رفته‌اند. این شواهد بافتی عبارتند از الف- وجود ولاستونیت‌ها به شکل ادخال با حواشی تحلیل رفته و گرد شده درون گارنت‌ها ب- وجود گارنت گراسولر به شکل فزون رشدی (Overgrowth) روی ولاستونیت ج- برخی از ولاستونیت‌ها با بافتی شبیه به جزایر مرجانی را در کنار گارنت-ها نشان می‌دهند.

۳- واکنش‌های دگرگونی در اسکارنهای کلینوپیروکسن-وزوویانیت: همانند دیگر اسکارنها در این نوع از اسکارنها در مرحله اول کلینوپیروکسن و ولاستونیت تشکیل شده‌اند. پس از این مرحله، براساس مطالعات سنگ‌شناختی، وزوویانیت به خرج کلینوپیروکسن و گارنت تشکیل شده است. مهمترین عامل تشکیل وزوویانیت‌ها مقادیر بالای X_{H_2O} است که این فاکتور می‌تواند از توده‌های نفوذی تأمین شده باشد.

۴- واکنش‌های دگرگونی در اسکارنهای گارنت: تبلور آندرادیت در این زون‌ها می‌تواند تأییدی بر وجود یک محیط اکسایش در تشکیل آنها باشد. تشکیل مگنتیت نیز از دیگر شواهدی است که فرضیه بالا را قوت می‌بخشد.

بررسی رفتار جنبشی واکنش‌های دگرگونی در اسکارنهای مورد مطالعه

۱- واکنش‌های دگرگونی در اسکارنهای کلینوپیروکسن-پلاژیوکلاز: به سبب جایگزینی Fe^{+2} به جای Mg در دیوپسیدهای موجود در این اسکارنها، در مرحله اول سالیست تشکیل شده است. با اضافه شدن Ti و Si مشتق شده از محلولهای گرمایی ناشی از توده‌های نفوذی به درون کربنات‌ها، اسفن متبلور می‌گردد. علاوه بر این تشکیل این کانی در کنار کانی‌های کدر و کلینوپیروکسن، شاهدهی بر این مدعاست که این کانی (اسفن) می‌تواند به خرج کانی‌های اخیر (کانی‌های کدر و کلینوپیروکسن) تشکیل شده باشد. اسفن می‌تواند به شکل واکنشی از تاثیر شاره‌ها بر کانی‌های کدر (ایلمینیت، تیتانومگنتیت) و یا پیروکسن تشکیل شود، زیرا شواهد بافتی همپوشی اسفن بر کانی‌های بالا را نشان داده و علاوه بر این، داشتن مرز نامتعادل (کنگره‌ای یا خورده‌شده) از ویژگیهای این کانی (اسفن) است. در این اسکارنها، پلاژیوکلازهای اولیه تحت شرایط دگرگونی آکالان تبدیل به آلبیت‌های دگرگناه و ثانویه به همراه اورتوز و گراسولر شده‌اند.

۲- واکنش‌های دگرگونی در اسکارنهای کلینوپیروکسن: در این اسکارنها در مرحله نخست ولاستونیت و سپس فاسائیت متبلور شده‌اند. کانی اخیر (فاسائیت) با اضافه شدن Al و Fe به وسیله

برداشت

نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی با گرایش کالکوالکالن به درون سنگ آهک‌های دولومیتی سازند تفت، منجر به ایجاد انواع مختلفی از مرمرها و اسکارنها شده است. برای تشکیل این اسکارنها، دو مرحله شامل مرحله تبلور سیلیکاتهای اولیه بی آب و مرحله بعدی تشکیل کانی‌های آبدار پیشنهاد می‌شود. این پدیده می‌تواند در ارتباط با تزریقهای متعددی از توده‌های نفوذی به درون مرمرها باشد. با فرض دو مرحله‌ای بودن تشکیل این اسکارنها، پس از مرحله اول یعنی تشکیل کانی‌های بی‌آب، زون داخلی (زون اندواسکارن) با مقادیر بالاتری از TiO_2 و Al_2O_3 ، SiO_2 ، FeO فراوانی پلاژیوکلاز، اسفن، و سالیست می‌توانند شواهدی برای این غنی‌شدگی باشند. به سمت زون کلینوپیروکسن-گارت مقادیر آهن و تیتان کاهش یافته و در مقابل مقادیر منیزیم و آلومینیم افزایش داشته است. بنابراین در این زون دیوپسیدهای غنی از آلومینیم (فاسائیت) تشکیل می‌شود. در زون کلینوپیروکسن-گارت-وزووانیت مقدار آلومینیم کاهش یافته و پیروکسن‌ها از نوع دیوپسید هستند. در مراحل بعدی با جایگیری ماگمای اسیدی‌تر، مجموعه کانی‌های اولیه اسکارنها دستخوش دگرسانی پتاسیک-سدیک همراه با آبیگری شده و بنابراین کانی‌های آبدار و ثانویه متبلور شده‌اند. بخش دیگری از گارت‌ها که ترکیب آندرادییتی دارند در شرایط اکسایش همراه با کانی‌سازی فلزی شکل گرفته‌اند. این اسکارنهای غنی از گارت پیدایش مستقل داشته و در آخرین مرحله کانی‌زایی به صورت همپوشی مجموعه‌های قبلی دیده می‌شوند. شواهد بافتی حاکی از آن است که کانه‌ها (پیریت، مگنتیت و کالکوپیریت) نیز به صورت تاخیری با گارت‌های آندرادییتی ارتباط دارند.

مراجع

- [5] Irvine I.C., Baragar W.R.A., "A guide to chemical classification of the common volcanic rocks", Can. J. Earth Sci. 8 (1971) 523-548.
- [6] Maniar P.D., Peccoli P.M., "Tectonic discrimination of granitoid", Geo. Soc. Am. Bull. 101 (1989) 113-125.
- [7] Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", J. Petrol. 24, 4 (1984) 956-983.
- [8] Shimazaki H., "Characteristics of skarn deposits and related acid magmatism in Japan", Econ. Geol. 75 (1980) 173-183.
- [9] Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J., "Skarn deposits", Econ. Geol. 75th Anniversary Volume, (1981) 317-391.
- [10] Meinert L.D., "Variability of skarn deposits, guides to exploration", In: Boardman, S.J. (Ed.), Revolution in the Earth Sciences. Kendall-Hunt Publishing, Dubuque, Iowa, pp. (1983) 301-316.
- [11] Meinert L.D., "Skarn deposits in Nevada, Geology, mineralogy and petrology of Au, Cu, W and Zn skarns", In: Meinerts, L.D., Myers, G.L., Brooks, J.W., (Eds.), Geol. Assoc. Can. Spec. Pap. 40, Toronto, (1990) pp. 569-583.
- [12] Meinert L.D., "Igneous petrogenesis and skarn deposits", Geol. Assoc. Canada Spec. Pap. 40 (1993) 569-583.
- [13] Meinert L.D., "Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits", In: Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M., (Eds.), Geol. Assoc. Can. Short Course Series, 23, Nepean, Ontario, (1995) pp. 401-418.
- [14] Meinert L.D., "Application of skarn deposit zonation models to mineral exploration", Explor. Min. Geol. 6 (1997) 185-208.
- [15] Meinert L.D., "Mineralogy and petrology of iron skarns in Western British Colombia", Canada. Econ. Geol. 79 (1984) 869-882.
- [16] Droop G.T.R., "A general equation for estimating Fe^{+3} concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses using stoichiometric criteria", Mineralogical Magazine 51 (1987) 431-435.
- [17] Meinert L.D., "Skarns and skarn deposits", Geosciences Canada 19 (1992) 145-162.
- [18] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "Rock-forming minerals, single chain silicates", 2ed., 2A (1978) Longmans, London.
- [19] Kwak T.A.P., "W-Sn skarn deposits and related metamorphic skarns and granitoids", Elsevier, Amsterdam (1987).
- [1] Karimzadeh Somarin A., "Marano volcanic rocks, East Azarbaijan Province, Iran and associated Fe mineralization", J. Asian Earth Sci. 24 (2004a) 11-23.
- [2] Karimzadeh Somarin A., "Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran", J. Geochemical exploration 81 (2004b) 47-57.
- [3] Karimzadeh Somarin A., Moayyed M., "Granite and gabbro-diorite associated skarn deposits of NW of Iran", Ore Geol. Rev., 20 (2002) 127-138.
- [۴] حاج ملاعلی، ع، "نقشه زمین‌شناسی خضرآباد"، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی ایران، (۱۳۷۱) شماره 6753.