

ب- اگزواسکارن

در فواصل دورتر از توده نفوذی و اندواسکارن، در داخل سنگهای رسوبی کرتاسه، زون اگزواسکارن تشکیل شده است. در مورد تشکیل این زون باید گفت که حرارت توده نفوذی و سیالات گرمایی منتج از توده، به مجموعه سنگهای رسوبی کرتاسه (شیل و سیلتستون) تأثیر کرده و آنها را به هورنفلس و مرمر تبدیل نموده است (شکل ۳-۲۱). بعضا داخل زون هورنفلسی کانه زایی مس بصورت ضعیف رخ داده است. عمده کانیهای زون هورنفلسی شامل کربناته‌های مس (مالاکیت، آزوریت)، پیریت و کوارتز می باشد. با وجود اینکه عرض زون اگزواسکارن (هورنفلس) قابل توجه بوده (حدود ۵۰ تا ۱۵۰ متر)، لیکن میزان کانه زایی آن جزئی و اندک می باشد. لازم به توضیح است که طول زون هورنفلسی چشمگیر بوده و در امتداد توده نفوذی از زندآباد تا انجرد گسترش یافته است (در حدود ۵ کیلومتر).



شکل ۳-۲۱- موقعیت توده نفوذی، هورنفلس، آهکهای کرتاسه و ولکانیک های کواترنر در منطقه مورد مطالعه

اندو و اگزواسکارن انجرد در طی دو مرحله به شرح زیر تشکیل شده است:

• مرحله پیشرونده با ایجاد دگرگونی مجاورتی در واحدهای رسوبی

در این مرحله در نتیجه جایگیری و نفوذ توده شیور داغ به داخل واحدهای رسوبی کرتاسه که شامل تناوبی از شیل، آهک شیلی و سیلتستون بوده، دگرگونی مجاورتی رخ داده است. این مرحله از دگرگونی شامل تشکیل باندهای متناوبی از هورنفلس و مرمر بوده که بعضاً با گارنت همراهی می شود.

• مرحله اسکارن پیشرونده

در منطقه انجرد این مرحله از اسکارن با تشکیل گارنت از نوع گراندیت (آندرادیت - گروسولار) و گلدمانیت (شکل ۳-۲۲) و پیروکسن های دیوپسید و هندنبرژیت همراه بوده است (شکل ۳-۲۳). تشکیل اسکارن های بی آب (گارنت و پیروکسن) معمولاً در دمای بین ۴۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد صورت گرفته که تحت تأثیر فرآیندهای بعدی (اختلاط سیالات جوی با ماگمایی) دچار دگرگونی قهقرایی و تشکیل کانیهای آبدار شده است. در منطقه انجرد هم مثل اکثر اسکارن های مس کلسیم دار این مرحله با کانه زایی عمده ای همراه نمی باشد.

• مرحله اسکارن پسرونده

پس از تشکیل اسکارن پیشرونده، هجوم سیالات سرد جوی و اختلاط آنها با سیالات ماگمایی سبب تشکیل اسکارن مرحله پسرونده شده است. تبدیل گارنت به اپیدوت و پیروکسن به اکتینولیت و ترمولیت و همچنین تشکیل رگچه های سیلیسی و کلسیتی نشانگر توسعه آلتراسیون پسرونده در کانسار انجرد می باشد (اشکال ۳-۲۴). بنظر میرسد که کانه زایی عمده این اسکارن

در مرحله پسروده رخ داده است، چرا که زون گارنتی توسط رگچه های سولفیدی (کالکوپیریت و پیریت) و اکسیدی آهن (مگنتیت و هماتیت) قطع شده است (اشکال ۳-۲۵). مگنتیت در این زون بعضا بصورت شکل دار دیده می شود و احتمالا در سکانس پاراژنتیکی اولین کانه ای بوده که ته نشست شده و بدنبال آن کانه های سولفیدی دیگر نهشته شده اند. همچنین زون هورنفلسی نیز در این مرحله مورد هجوم سیالات مرحله اسکارن پسروده قرار گرفته و کانه زایی جزئی مس در آن رخ داده است (اشکال ۳-۲۶).

مهمترین کانه های مشاهده شده در این اسکارن شامل کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، دیژنیت، مولیبدنیت، پیریت و گانگ آنها عمدتا شامل گارنت، اپیدوت، کلسیت، اکتینولیت، کلریت و کانیه های رسی می باشد.

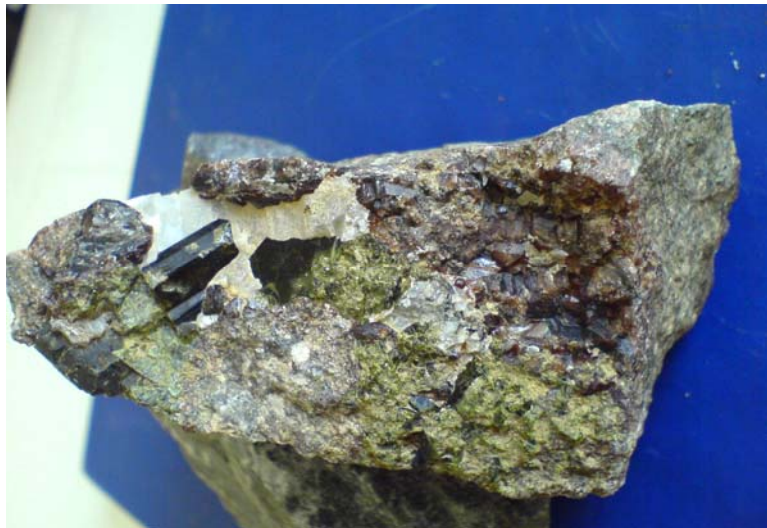


شکل ۳-۲۲-الف - مرحله اسکارن زایی پیشرونده با تشکیل گارنت و پیروکسن در بخش اندو اسکارن



شکل ۳-۲۲-ب- بلورهای گارنت تشکیل شده در مرحله اسکارن زایی پیشرونده به همراه

کلسیت تشکیل شده در مرحله اسکارن زایی پسرونده



شکل ۳-۲۳- پیروکسن هدنبرژیته تشکیل شده در مرحله اسکارن پیشرونده



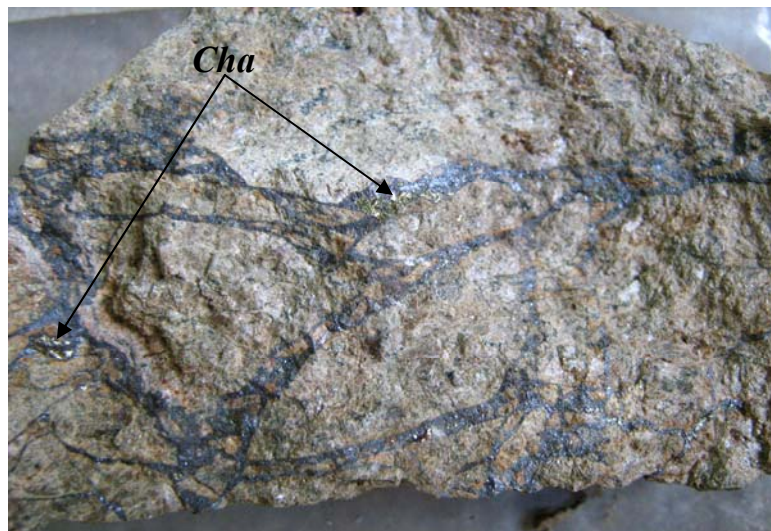
شکل ۳-۲۴-الف- قطع شدگی اسکارن پیشرونده توسط کانه زایی اکسیدی آهن
و گانگ کلسیتی مرحله اسکارن پسرونده



شکل ۳-۲۴-ب- اپیدوت تشکیل شده در مرحله اسکارن پسرونده



شکل ۳-۲۵-الف - قطع شدگی زون گارنت توسط رگچه های اکسید آهن و کلسیتی



شکل ۳-۲۵-ب - رگچه های کانه دار اکسیدی و سولفیدی قطع کننده اسکارن پیشرونده در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۲۵-ج- زون گارنتیتی که توسط رگچه های اکسیدی و کلسیتی اسکارن پسرونده قطع شده است



شکل ۳-۲۶-الف- کانه زایی جزئی مس در زون آگرو اسکارن هورنفلسی



شکل ۳-۲۶-ب- مالاکیت زایی در بخش اگزو اسکارن انجرد (زون هورنفلسی)

نمونه های برداشت شده جهت آنالیز ICP

نمونه **S81**: این نمونه مینرالیزه حاوی کانه زایی پیریت و کالکوپیریت اولیه به همراه کولیت، مالاکیت و گوتیت ثانویه بوده که نسبت به عناصر طلا، مس، گوگرد، نقره و مولیبدن غنی شدگی نشان می دهد که میزان این ناهنجاری به شرح زیر است:

۱- میزان طلا در این نمونه $0/245 ppm$ بوده که نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود در حدود $61/3$ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

۲- میزان مس در این نمونه $1/08$ درصد بوده که نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود در حدود 196 برابر غنی شدگی نشان می دهد. این ناهنجاری عنصری با کانه زایی کالکوپیریت بصورت دیسیمینه و کولیت و مالاکیت در ارتباط می باشد.

۳- میزان مولیبدن در این نمونه $201 ppm$ بوده که نسبت به مقدار میانگین پوسته ای ($1/5 ppm$) خود در حدود 134 برابر غنی شدگی نشان می دهد.

نام عنصر	<i>Au</i> (<i>ppb</i>)	<i>Cu</i> (<i>ppm</i>)	<i>S</i> (<i>ppm</i>)	<i>Ag</i> (<i>ppm</i>)	<i>Mo</i> (<i>ppm</i>)
مقدار	۲۴۵	۱۰۸۰۰	۱۳۵۰	۴	۲۰۱
غنی شدگی نسبت به میانگین پوسته ای	۶۱/۳	۱۹۶	۵/۲	۵۷	۱۳۴

نمونه *S81A*: این نمونه مینرالیزه از بخش اسکارنی منطقه انجرد برداشت گردیده و حاوی کانه زایی پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت و کوولیت از بخش اسکارن انجرد بوده که نسبت به عناصر طلا، مس، آهن، گوگرد، نقره و بیسموت غنی شدگی نشان می دهد که میزان این ناهنجاری به شرح زیر است:

۱- میزان طلا در این نمونه $1/21 \text{ ppm}$ بوده که نسبت به مقدار میانگین پوسته ای (4 ppb) خود در حدود $30.2/5$ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

۲- میزان مس در این نمونه $14/9$ درصد بوده که نسبت به کلارک پوسته ای خود در حدود 27.09 برابر غنی شدگی نشان می دهد. این ناهنجاری عنصری با کانه زایی کالکوپیریت و کوولیت مطابقت دارد.

۳- عنصر آهن در این نمونه دارای مقدار $28/6$ درصد بوده که با لحاظ نمودن مقدار کلارک پوسته ای آن عنصر در حدود $5/7$ برابر غنی شدگی نشان می دهد. این غنی شدگی بصورت تشکیل کانه مگنتیت تظاهر دارد.

۴- میزان عنصر بیسموت در این نمونه دارای مقدار $42/3 \text{ ppm}$ بوده که با لحاظ نمودن مقدار کلارک پوسته ای آن در حدود 211 برابر غنی شدگی از خود نشان می دهد.

۵- عنصر نقره در این نمونه با دارا بودن مقدار 116 ppm ، نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود در حد 1657 برابر غنی شدگی نشان می دهد.

نام عنصر	<i>Au</i> (ppm)	<i>Cu</i> (ppm)	<i>Fe</i> (%)	<i>S</i> (ppm)	<i>Zn</i> (ppm)	<i>Ag</i> (ppm)	<i>Bi</i> (ppm)
مقدار	۱/۲۱	۱۴۹۰۰۰	۲۸/۶	۱۶۹۰۰۰	۴۸۰	۱۱۶	۴۲/۳
غنی شدگی نسبت به میانگین پوسته ای	۳۰۲/۵	۲۷۰۹	۵/۷	۶۵۰	۴/۸	۱۶۵۷	۲۱۱

نمونه S82: این نمونه مینرالیزه حاوی کانه زایی مگنتیت، هماتیت و مالاکیت از اسکارن انجرد برداشت گردیده که نسبت به عناصر طلا، مس، آهن، منگنز، گوگرد، نقره و مولیبدن غنی شدگی نشان می دهد که میزان این ناهنجاری ها به شرح زیر است:

۱- میزان طلا در این نمونه 0.105 ppm بوده که نسبت به مقدار میانگین پوسته ای (4 ppb) خود در حدود ۲۶ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

۲- میزان مس در این نمونه ۱/۳ درصد می باشد. این ناهنجاری عنصری بصورت کانه مالاکیت در این نمونه تظاهر دارد. مالاکیت بر اثر فرآیندهای سوپرژن از کالکوپیریت حاصل شده است.

۳- عنصر آهن در این نمونه دارای مقدار ۳۳/۹ درصد بوده که با لحاظ نمودن مقدار کلارک پوسته ای آن عنصر در حدود ۶/۸ برابر غنی شدگی نشان می دهد. این غنی شدگی با تشکیل کانه های مگنتیت و هماتیت مطابقت دارد.

۴- میزان عنصر مولیبدن در این نمونه دارای مقدار 194 ppm بوده که با لحاظ نمودن مقدار کلارک پوسته ای آن در حدود ۱۲۹ برابر غنی شدگی از خود نشان می دهد.

نام عنصر	<i>Au</i> (ppb)	<i>Cu</i> (ppm)	<i>Fe</i> (%)	<i>Mn</i> (ppm)	<i>S</i> (ppm)	<i>Ag</i> (ppm)	<i>Mo</i> (ppm)
مقدار	۱۰۵	۱۳۰۰۰	۳۳/۹	۲۸۳۰	۷۳۵۰	۳	۱۹۴
غنی شدگی نسبت به میانگین پوسته ای	۲۶	۲۳۶	۶/۸	۳	۲۸	۴۳	۱۲۹

نمونه S85: این نمونه از گارنتیت اسکارن انجود برداشت گردیده که نسبت به عناصر طلا، مس، آهن، منگنز، گوگرد، نقره، بیسموت، مولیبدن، سرب و آنتیموان غنی شدگی نشان می دهد که میزان این ناهنجاری به شرح زیر است:

۱- عنصر طلا در این نمونه با دارا بودن مقدار 819 ppb ، نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود در حدود ۲۰۵ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

۲- مقدار عنصر مس در این نمونه $2/83$ درصد می باشد. این ناهنجاری عنصری با تشکیل کربنات مس (مالاکیت) همخوانی دارد. بنظر می رسد در بخش های فوقانی زون اسکارنی، در اثر پدیده های سوپرژن کانه های سولفیدی (کالکوپیریت) به کانه های ثانویه مس (مالاکیت و آزوریت) تبدیل شده است.

۳- عنصر آهن در این نمونه دارای مقدار $14/5$ درصد بوده که با لحاظ نمودن مقدار کلارک پوسته ای آن عنصر، نزدیک به ۳ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

۴- عنصر نقره با دارا بودن مقدار $16/5 \text{ ppm}$ در این نمونه، غنی شدگی در حدود ۲۳۶ برابر نسبت به کلارک پوسته ای از خود نشان می دهد.

۵- عنصر بیسموت در این نمونه با دارا بودن مقدار 395 ppm ، نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود در حد ۱۹۷۵ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

نام عنصر	<i>Au</i> (ppb)	<i>Cu</i> (ppm)	<i>Fe</i> (%)	<i>Mn</i> (ppm)	<i>S</i> (ppm)
مقدار	۸۱۹	۲۸۳۰۰	۱۴/۵	۵۹۸۰	۲۳۵۰
غنی شدگی نسبت به میانگین پوسته ای	۲۰۵	۵۱۴/۵	۳	۶/۳	۹

نام عنصر	Ag (ppm)	Bi (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)
مقدار	۱۶/۵	۳۹۵	۶۸/۵	۹۸	۷/۶
غنی شدگی نسبت به میانگین پوسته ای	۲۳۶	۱۹۷۵	۴۶	۷/۵	۳۸

نمونه S88A: این نمونه مینرالیزه از بخش اسکارنی انجرد برداشت گردیده که بصورت رگچه های مگنتیت و کالکوپیریت بوده و در داخل گارنتیت تشکیل شده است و بر اساس نتایج ICP، نسبت به عناصر طلا، مس، آهن، منگنز، گوگرد، نقره و آرسن غنی شدگی نشان می دهد که میزان این ناهنجاری ها به شرح زیر است:

۱- عنصر طلا در این نمونه با دارا بودن مقدار 0.1 ppm نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود، در حدود ۲۵ برابر غنی شدگی نشان می دهد.

۲- عنصر مس در این نمونه دارای مقدار ۰/۵ درصد بوده که این عنصر نسبت به مقدار میانگین پوسته ای خود در حدود ۹۱ برابر غنی شدگی نشان می دهد. این غنی شدگی به دلیل کانه زایی مس بصورت کالکوپیریت می باشد.

۳- مقدار عنصر آهن در این نمونه ۲۰/۸ درصد بوده می باشد. این غنی شدگی در ارتباط با کانه زایی آهن در زون اسکارنی و تشکیل مگنتیت همخوانی دارد.

نام عنصر	Au (ppb)	Cu (ppm)	Fe (%)	Mn (ppm)	S (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)
مقدار	۱۰۱	۵۰۱۰	۲۰/۸	۴۶۵۰	۵۵۰۰	۱/۵	۲۵
غنی شدگی نسبت به میانگین پوسته ای	۲۵	۹۱	۴	۵	۲۱	۲۱/۴	۱۴

در جدول زیر نتایج آنالیز عناصر مهم و کانی ساز در این اندیس و مقدار میانگین آن به همراه میزان غنی شدگی میانگین آن عنصر نسبت به کلارک پوسته ای آورده شده است.

جدول ۳-۳- نتایج آنالیز مهم و کانی ساز در زون اسکارنی انجرد

<i>Sample</i>	<i>Au</i>	<i>Ag</i>	<i>As</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Mo</i>	<i>Sb</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>Bi</i>
<i>S-80</i>	7	0.375	37	68	214	14	3	4.08	1150	0.2
<i>S-81</i>	245	4	6	10800	1460	201	0.6	8.07	1350	0.8
<i>S-81A</i>	1210	116	14	149000	1240	5.5	2.4	28.6	169000	42.3
<i>S-82</i>	105	3	8	13000	2830	194	1.6	33.9	7350	2.4
<i>S-85</i>	819	16.5	14	28300	5980	68.5	7.6	14.5	2350	395
<i>S-86</i>	17	0.375	16	4930	4150	20	1.8	13.2	250	4.5
<i>S-88A</i>	101	1.5	25	5010	4650	2.5	1	20.8	5500	1
<i>S-89</i>	10	0.375	29	230	1360	3	1.4	4.85	7850	0.9
<i>S-90</i>	5	0.375	47	142	1570	2.5	3.2	5.6	3350	0.4
<i>Min</i>	5	0.375	6	68	214	2.5	0.6	4.08	250	0.2
<i>Max</i>	1210	116	47	149000	5980	201	7.6	33.9	169000	395
<i>Mean</i>	280	15.8	21.8	23497.8	2606	56.8	2.51	14.84	22016.7	49.7
<i>Enricment</i>	70	226.2	12.1	427	2.75	37.85	12.55	2.97	84.7	248.6

ضریب همبستگی عناصر مهم و کانی ساز

هر گروه معینی از عناصر نسبت به یکسری از شرایط محیطی، حساسیت کم و بیش مشابهی از خود نشان می دهند. بنابراین شناخت ارتباط و همراهی های ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف، می تواند در شناخت دقیق تر تغییرات موجود در محیط های ژئوشیمیایی بکار رود. تجمع ژنتیکی برخی از عناصر ممکن است بعنوان راهنمای مستقیمی در تفسیر نوع نهشته ای که احتمالاً در محدوده وجود دارد بکار رود. بالعکس تجمع برخی از عناصر نیز ممکن است دلالت بر وجود آنومالی های بی اهمیت و گمراه کننده در محدوده داشته باشد.

برای داشتن معیاری از همبستگی دو عنصر، بدون وابستگی به واحد اندازه گیری داده ها، پارامتر آماری به نام ضریب همبستگی تعریف می گردد. در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از

پارامتری آماری دیگر فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد می‌توان داده‌ها را طوری تبدیل کرد که پراکنش داده‌های تبدیل یافته نرمال شود (ضریب همبستگی پیرسون). البته اینگونه تعبیر و تفسیر متغیرها باید با دقت همراه باشد. در حالتی که پراکنش داده‌ها نرمال نباشد و نتوان داده‌ها را تبدیل کرد برای محاسبه ضریب همبستگی باید از روشهای ناپارامتری، که به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشند، استفاده کرد (ضریب همبستگی اسپیرمن). مقدار ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن همواره بین -1 و $+1$ متغیر بوده و در حالتی که ارتباط خطی و مثبت بین دو متغیر (عنصر) وجود داشته باشد، این ضریب $+1$ و در حالتی که ارتباط خطی و منفی وجود داشته باشد، مقدار این ضریب -1 خواهد بود. در این پروژه از ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده گردیده است.

رده بندیهای مختلفی برای مشخص نمودن میزان همبستگی بین دو عنصر وجود داشته، لیکن معمول ترین رده بندی برای نشان دادن میزان همبستگی دو عنصر در زیر نشان داده شده است:

ضریب همبستگی > 0.2 : همبستگی بسیار ضعیف < 0.4 : ضریب همبستگی < 0.2 : همبستگی ضعیف

< 0.6 : ضریب همبستگی متوسط < 0.8 : ضریب همبستگی قوی

> 0.8 : ضریب همبستگی بسیار قوی

۱- در نمونه های برداشت گردیده از زون اسکارنی انجرد، عنصر طلا دارای ضریب همبستگی بسیار قوی با عناصر نقره و مس در سطح اعتماد 99% و دارای ضریب همبستگی قوی با عناصر آهن و بیسموت در سطح اعتماد 95% می باشد. این عنصر دارای ضریب همبستگی منفی بسیار بالایی با عنصر آرسن می باشد.

۲- عنصر نقره در نمونه های برداشت گردیده، دارای ضریب همبستگی بسیار قوی با عناصر طلا و مس در سطح اعتماد 99% بوده و ضریب همبستگی قوی با عناصر آهن و بیسموت دارد. این عنصر نیز دارای ضریب همبستگی منفی بالایی با عنصر آرسن می باشد.

۳- عنصر مس دارای ضریب همبستگی بسیار قوی با عناصر طلا، نقره، آهن و بیسموت بوده و دارای ضریب همبستگی منفی بالایی با عنصر آرسن می باشد.