دانشکده علوم طبیعی

گروه زمین‌شناسی

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی

(گرایش اقتصادی)

عنوان

مطالعات دگرسانی‌های هیدروترمالی مرتبط با توده نفوذی گرانیتوئیدی در منطقه جوان شیخ، شمال‌شرق اهر،آذربایجان شرقی

استاد راهنما

پروفسور علی اصغر کلاگری

استاد مشاور

دکترقادر حسین‌زاده

مهندس قهرمان سهرابی

پژوهشگر

اکرم بهجت

زمستان1390

مادر بهشت من همه آغوش گرم تست

گوئی سرم هنوز ببالین گرم تست

پیوسته در هوای تو چشمم به جستجوست

هر لحظه با خیال تو جانم به گفتگوست

در خواب و خیال همه با تو ام هنوز

تنهائیم مباد که تیره است بی تو روز

تقدیم به پدر بزرگوار و روح بلند مادرم .

تشکر و قدردانی

انجام این پژوهش مرهون محبت عزیزانی است که چند صباحی از محضرشان بهره مند شدم.

از استاد راهنمای اول این پایاننامه ، جناب آقای دکتر پروفسور کلاگری به دلیل راهنمایی‌های بی‌دریغ و صبورانه و در اختیار زاردن وقت گرانبهایشان نهایت سپاس و قدردانی را دارم.

از جناب آقای دکتر قادر حسین زاده و مهندس سهرابی به خاطر همراهی ارزنده در انجام این رساله سپاسگ ارم.

از جناب آقای دکتر عاطل که قبول زحمت نموده و داوری این رساله را به عهده گرفتند بی نهایت سپاسگ ارم.

از کلیه ی اساتید و اعضای هیئت علمی دپارتمان زمین شناسی دانشکده ی علوم طبیعی دانشگاه تبریز به خاطر همراهی دلسوزانه شان مراتب سپاس و تشکر را دارم.

از پرسنل و کارمندان علمی دپارتمان زمین شناسی دانشکده ی علوم طبیعی دانشگاه تبریز سپاسگزارم.

از دوستان و همکلاسی‌های بسیار عزیزم خانم نیکزاد، رضایی، صادقی، قلندری، مددی، کیوانفر وآقایان فردوسی، ابراهیمی، فریداصل، مصیب زاده جهانیار و کلیه ی عزیزانی که مجال ذکر نامشان نیست سپاسگزارم.

در پایان برای پدر فداکار و باگذشتم، برادران و خواهران عزیزم و که در نهایت شفقت و صبورانه همواره در کنارم بوده اند آرزوی طول عمر وسلامتی می کنم ونهایت سپاس و قدردانی را از ایشان دارم.

فهرست مطالب

فصل اول: 1

1-1 کلیات 1

2-1 تعاریف و واژگان 2

3-1 تکامل ذخایر اسکارن 4

4-1 کانی شناسی اسکارن 4

5-1 رده بندی ذخایر مهم اسکارنی ویژگیهای کلی آنها 8

1-5-1 بر اساس مکانیزم تشکیل اسکارن 8

3-5-1 براساس موقعیت اسکارن نسبت به توده نفوذی 9

6-1 اسکارن آهن 11

7-1 اسکارن مس 11

8-1 اسکارن و ذخایر پلیمتالیک جایگزین در آهک 12

9-1 ژئوشیمی ذخایر اسکارن 13

10-1 پتروژنز و موقعیت تکتونیکی ذخایر اسکارن 15

11-1 عمق تشکیل اسکارن 19

12-1 مراحل تشکیل اسکارن 20

13-1 اکتشاف اسکارنها 24

14-1 اکتشافات ژئوفیزیکی برای ذخایر اسکارنی 24

15-1 پیشینهی پژوهش 25

16-1 اهداف پژوهش 26

فصل دوم: مواد و روشها 27

1-2 مشخصات و موقعیت جغرافیایی منطقه 27

2-2 آب و هوای منطقه 27

3-2 راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه 27

4-2 جایگاه منطقه در تقسیم بندی مناطق ساختاری ایران 29

5-2 زمین شناسی عمومی شمالشرق اهر (کلیبر) 32

1-5-2 مورفولوژی منطقه 32

1-6-2 مطالعات صحرایی 33

2-6 -2 مطالعات آزمایشگاهی 33
فصل سوم: بحث و نتایج 34
3-1 زمین شناسی عمومی منطقه اهر و نواحی مجاور آن 34
3-1-1 سنگهای رسوبی و سابولکانیک (کرتاسه) 34
3-1 -2 سنگهای لاتیتی و ایگنمبریتی (ائوسن) 35
3-1-3 باتولیت شیورداغ (الیگوسن) 35
3-1-4 سنگهای ولکانیکی (کواترنری) 36
3-2 زمین شناسی منطقه جوانشیخ 36
3-2-1 سنگهای آهکی کرتاسه 38
3-2-2 توده نفوذی الیگوسن 38
3-2 -3 واحدهای متاسوماتیکی 39
توده اسکارنی 39
الف) اندواسکارن 41
ب) اگزواسکارن 41
3-2-4 واحدهای دگرگونی مجاورتی 44
الف) واحد مرمر 44
ب) هورنفلس 44
3-3 پتروگرافی واحدهای سنگی 45
3-3-1 پتروگرافی واحد آهکی کرتاسه فوقانی 45
3-3-2 پتروگرافی توده نفوذی 46
3-3-3 پتروگرافی دایکها 49
3-3-4 پترولوژی توده نفودی 49
3-3-5 پتروگرافی زون اسکارنی 50
الف) اندواسکارن و مینرالوژی آن 50
ب) اگزواسکارن و مینرالوژی آن 54
3-3 -6 مینرالوگرافی 59
3-7 پتروگرافی واحدهای دگرگونی مجاورتی 60
واحد مرمر 60

واحد هورنفلس- اسکارنوئید 60
4-3 دگرسانی و کانه زایی 65
4-3 -1 اندواسکارن 65
4-3 – 2 اگزواسکارن 66
4-3 -2-1-مرحله پیشرونده 66
(1)مرحله دگرگونی- بای متاسوماتیک 66
(2) مرحله متاسوماتیک 67
3-4-2-2- مرحله پسرونده: 68
الف- مرحله پسرونده پیشین: 68
ب)مرحله پسرونده پسین: 69
3-4-3 کانه زایی 70
5-3 سایر دگرسانی ها 72
1-5-3 کلریتی شدن 72
5-3 -2 سریسیتی شدن 72
3-5-3 سیلیسی شدن 73
4-5-3 کربناتی شدن 73
6 -3 توالی پاراژنژی کانیهای اسکارن جوانشیخ 74
7-3 شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن 76
3 -7 -1 تعیین $T - f O_2$ 76
2-7-3 اثر سولفید بر پایداری کالک سیلیکاتها 78
8-3 مدل ته نشست کانه ها 83
نتیجه گیری نهایی 82
خلاصه و نتیجه گیری 85
پیشنهادات 89
منابع 90

فهرست اشکال و جداول

(شکل1-1) تصویر شماتیک تشکیل انواع تیپ‌های اسکارنی (Meinert, 1992) 3

(جدول 1-1) اسامی و ترکیب شیمیایی کانی‌های اسکارنی (Meinert et al., 2005)..... 6

(شکل 1- 2) : ترسیم مثلثی ترکیب گارنت‌ها و پیروکسن‌ها (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1983, 1989)..... 7

(شکل 1- 3) تصویر شماتیک از سنگ‌های نفوذی در سنگ‌های میزبان کربناتی (From Plumlee and others, 1999 اقتباس از (Hammarston, 2002)..... 13

(شکل1-4) متوسط ترکیب توده نفوذی همراه انواع مختلف کانسارهای اسکارنی (Meinert, 1993)..... 17

(شکل1- 5) مدل‌های تکتونیکی ایده‌آل برای تشکیل اسکارن‌ها (Meinert, 2005)..... 18

(شکل1- 6) مراحل تکامل ذخایر اسکارنی همراه توده نفوذی (Meinert, 1998)..... 23

(شکل 2-1) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه..... 28

(شکل 2-2) راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (جوان شیخ)..... 29

(شکل2-3) تقسیم‌بندی واحدهای زمین ساختی ایران، آقانباتی (1385)..... 31

(شکل 3-1) نقشه زمین شناسی، نقشه راهنما و پروفایل مربوط به منطقه جوان‌شیخ..... 37

(شکل 3-2) نمایی از آهک (کرتاسه) مورد مطالعه در منطقه جوان‌شیخ 38

(شکل 3-3) نمایی از توده نفوذی مورد مطالعه در منطقه جوان‌شیخ..... 39

(شکل 3 -4) نمایی از توده اسکارنی جوان‌شیخ به همراه سنگ‌های اطراف (دید به سمت جنوب)..... 40

(شکل 3 - 5) نمایی از توده نفوذی الیگوسن با اندواسکارن..... 41

(شکل3-6) نمایی از اگزواسکارن دید به سمت جنوب‌غرب..... 42

(شکل3-7) تصاویری از نماهای مختلف اگزواسکارن..... 43

(شکل 3- 8) نمایی از مرمر در منطقه جوان‌شیخ..... 44

(شکل 3- 9) زون هورنفلس با نوارهای تیره و روشن..... 45

(شکل 3-10) تصاویر میکروسکوپی از توده نفوذی (a,b) و دایک کوارتز مونزونیتی (c,d)..... 48

(شکل3-11) تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های مربوط به اندواسکارن..... 53

(شکل 3-12) نمونه‌هایی از تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های اگزواسکارن.....56

(شکل 3-13) انواع تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های اگزواسکارن.....57

(شکل3-14) انواع کانی‌های موجود در سنگ‌های اگزواسکارن و رگه کوارتز.....58

(شکل 3-15) تصاویر میکروسکوپی از واحد هورنفلس.....61

(شکل 3-16) تصاویر میکروسکوپی از کانه‌ها.....62

شکل 3-17) تصاویر میکروسکوپی کانه‌ها.....63

(شکل3-18) انواع نمونه‌های دستی.....64

جدول 1-3) توالی پاراژنتیکی کانی‌های سیلیکاته، اکسیدی، سولفیدی و کربناته در اسکارن جوان‌شیخ.....75

(شکل3-19) تعیین محدوده پایداری کانی‌ها در سیستم Ca- Fe- Si- C- O- H در نمودار $T- \log f O_2$ که توسط (Einaudi, 1982) برای فشار P= 0.5kb و Xco_2= 0.1 ارائه شده است، اقتباس از (2011 , Oyman).....78

(شکل 3-20) نمودار $logf O_2$ -$logf S_2$ در دمای 500˚C و XCO_2= 0.1 از (Barren,1971) و (Rabine et al., 1978).....79

(شکل 3-21) نمودار $logf O_2$ -$log-f_{S2}$ که در آن محدوده پایداری کانی‌های اسکارنی در دماهای مختلف نشان داده شده است (Einaudi, 1982).....81

مقدمه

فعالیت ماگمایی گسترده در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر، اساساً در سنوزوئیک، منجر به تزریق توده‌های متعدد در امتداد این کمربند و در نتیجه در بسیاری از موارد باعث اسکارن‌زایی شده است یکی از این موارد اسکارن جوان‌شیخ در20 کیلومتری شمال‌شرق اهر، استان آذربایجان شرقی است منطقه مورد مطالعه به عنوان بخشی از ایالت متالوژنی اهر بوده و به سبب نزدیکی به معدن مزرعه، از دیر باز مورد توجه معدنکاران و محققان بوده است به ویژه در هنگام و پس از انجام نخستین کارهای اکتشافی در معدن مس مزرعه که به طور مستند از سال 1335 توسط شرکت معادن آغاز گردید و به دنبال آن بهره-برداری از این معدن آغاز شد.

در این منطقه وجود ذخایر متاسوماتیک (اسکارن) معمولا پتانسیل مناسبی برای عناصر طلا، مس، نقره، آهن، سرب، روی، قلع، مولیبدن، عناصر نادر خاکی، فلوئور و باریم هستند با توجه به اهمیت باتولیت اهر در کانه‌زایی و ایجاد پتانسیل معدنی در شمال‌غرب ایران و منطقه آذربایجان، بررسی و مطالعه زمین‌شناسی دقیق‌تر اندیس‌های معدنی موجود در منطقه به منظور مقایسه با سایر کانسارهای اسکارن جهت شناسایی و پی‌جویی کانسارهای اسکارن جدید امری لازم و اجتناب‌ناپذیر است. در این پایان‌نامه به منظور مطالعه اسکارن آهن و مس منطقه جوان‌شیخ اهداف زیر دنبال شده است: تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه، مطالعه پتروگرافی و پترولوژی توده نفوذی و درک تحولات آن، بررسی و مطالعه‌ی ویزگی‌های سنگ‌شناختی و کانی‌شناسی زون‌های دگرگونی و متاسوماتیکی، تعیین توالی پاراژنزی کانی‌های اسکارنی، تعیین واکنش بین کانی‌های مختلف و نحوه تشکیل کانه‌ها، تعیین نحوه ته‌نشست کانه‌ها، تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن.

فصل اول:

بررسی منابع

1-1 کلیات

ذخایر اسکارن به خاطر عناصری مثل آهن، تنگستن، مس، سرب، روی، مولیبدن، نقره، طلا، یورانیوم، عناصر نادرخاکی، فلوئور، بور و قلع مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. اسکارن‌ها در همه قاره‌ها و تقریباً در سنگ‌های با هر سنی یافت می‌شوند. اگر چه اسکارن‌ها اکثراً در سنگ‌های آهکی تشکیل می‌شوند ولی در هر نوع سنگی شامل شیل، ماسه‌سنگ، گرانیت، بازالت و کمااتئیت نیز می‌توانند تشکیل شوند. اسکارن‌ها می‌توانند در طول دگرگونی ناحیه‌ای و یا متاسوماتیسم تشکیل شوند. آنها در مجاورت پلوتون‌ها، در امتداد گسل‌ها، در زون‌های برشی اصلی و در سیستم‌های ژئوترمال کم‌عمق روی کف دریاهای عمیق و مناطق دگرگونی دفنی عمیق واقع در اعماق کم پوسته یافت می‌شوند. آنچه که این محیط‌های متنوع و این سنگ‌ها را به عنوان اسکارن نشان می‌دهد، کانی‌شناسی آن است که شامل کانی‌های کالک‌سیلیکاته متنوع و گسترده و کانی‌های همراه بوده، که در بین آنها گارنت و پیروکسن غالب است. بنابراین برای وجود اسکارن، جایگاه زمین‌شناسی خاص یا ترکیب سنگ اولیه خاصی لازم نیست. بنابراین ترکیب، دما، فشار، ترکیب سیال و سنگ اولیه در طی تشکیل اسکارن نشانگر نوع کانی‌های اسکارنی می‌باشد (Meinert, 1992).

کانی‌شناسی تنها کلید شناسایی اسکارنهاست بنابراین پیدا کردن منشأ قطعی و تشخیص ذخایر اقتصادی مهم از کانی‌های باطله محلی، بر اساس کانی‌شناسی آن است. کانی‌شناسی اسکارن‌ها در صحرا برای تعیین مرزهای آلتراسیون در اطراف ذخایر دارای پتانسیل، قابل نقشه‌برداری است زیرا بیشتر ذخایر اسکارنی زون‌بندی شده‌اند و تشخیص شکل آلتراسیون می‌تواند در مراحل اکتشاف مهم باشد. جزئیات کانی‌شناسی و زون‌بندی اسکارن‌ها می‌تواند برای تعیین کردن نوع مدل استخراج استفاده شود (Meinert, 1992).

ذخایر اسکارن بر اساس انواع مختلف عناصر غالب مثل آهن، تنگستن، مس و غیره می‌تواند تقسیم-بندی شود. مانند تقسیم‌بندی ذخایر پورفیری به مس پورفیری، مولیبدن پورفیری و قلع پورفیری. این ذخایر با ویژگی‌های ژئوشیمیایی و آلتراسیون زیادی تقسیم‌بندی می‌شوند ولی با این وجود به آسانی

شناخته می‌شوند. به منظور استخراج ذخایر اسکارن اقتصادی، شناختن ویژگی‌های هر گروه اسکارنی و تفاوت‌های بین آنها لازم است (Meinert, 1992).

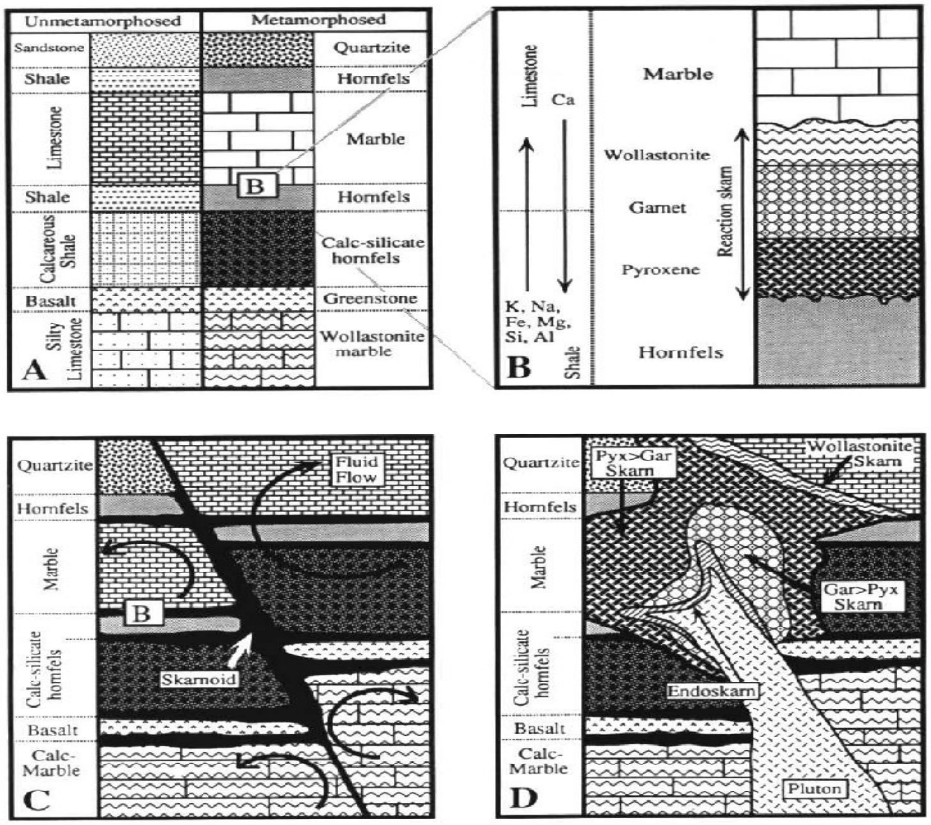
2-1 تعاریف و واژگان

واژه اسکارن اولین بار در سوئد به عنوان یک اصطلاح معدنی، برای توصیف گانگ کانی‌های کالک-سیلیکاته نسبتاً دانه درشت همراه با بعضی از ذخایر آهن به کار گرفته می‌شد. طبق تعریف واژه اسکارن به سنگ‌هایی اطلاق می‌شود که از سیلیکات‌های کلسیم، منیزیم و آهن تشکیل شده‌اند و در نتیجه جانشینی سیلسیم، آلومینیوم، آهن و منیزیم در سنگ‌های غنی از کربنات (آهک یا دولومیت) حاصل می‌شوند. اسکارن‌ها غالباً در نزدیکی توده‌های نفوذی تشکیل می‌شوند و دارای انواع مختلفی می‌باشند (Meinert, 1992).

همه اسکارن‌ها کانه‌زایی اقتصادی ندارند. اسکارنی شدن بطور عمده در اثر عملکرد سیستم هیدروترمال می‌باشد هر چند که تفاوت‌های مهمی در زمان یا مکان توزیع کانه‌ها، در مقیاس محلی وجود دارد. تشکیل اسکارن در سنگ‌های دگرگونی اگر چه نادر، ولی ممکن می‌باشد.

ذخایر اسکارن بر اساس معیارهای مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند اگزواسکارن و اندواسکارن واژه‌هایی هستند که رسوبی یا آذرین بودن سنگ اولیه را نشان می‌دهد و به همین ترتیب اسکارن کلسیمی و منیزیمی برای نشان دادن ترکیب غالب سنگ اولیه و ترکیب نهایی اسکارن استفاده می‌شود. این واژه‌ها به‌صورت ترکیبی نیز به کار می‌روند، مانند اگزواسکارن منیزیمی، که اسکارن، حاوی فورستریت و دیوپسید بوده که از دولستون تشکیل می‌شود. واژه هورنفلس کالک سیلیکاته اغلب برای سنگ‌های کالک‌سیلیکاته نسبتا دانه ریز حاصله از دگرگونی واحدهای کربناته ناخالص مثل آهک‌های سیلتی یا شیل‌های کربناته بکار می‌رود (شکل A). اسکارن‌های واکنشی (شکلB) از متاسوماتیسم ایزوشیمیایی واحدهای نازک لایه‌ی بین آهک و شیل، که ترکیبات انتقالی آنها در مجاور هم می‌تواند در مقیاس کوچکی اتفاق بیفتد (در حد سانتیمتر) تشکیل می‌شوند (Vidale, e.g., 1969).

اسکارنوئید (شکل C) واژه توصیفی برای سنگ‌های کالک‌سیلیکاته دانه ریز فقیر از آهن بکار می‌رود که از نظر ژنتیکی حدواسط هورنفلس دگرگونی و متاسوماتیک دانه درشت می‌باشد (برخی اوقات اسکارن تراوشی نامیده می‌شود). ترکیب و بافت سنگ اولیه، ترکیب و بافت اسکارن را کنترل می‌کند. در مقابل، ذخایر اقتصادی مهم اسکارن، از متاسوماتیسم انتقالی در مقیاس بزرگ حاصل می‌شود که ترکیب سیال، کانه‌های اسکارن را تعیین می‌کند (شکل D) (Zharikov, 1970) .



(شکل1-1) تصویر شماتیک تشکیل انواع تیپ‌های اسکارنی (Meinert, 1992)

A) دگرگونی ایزوکمیکال همراه با تبلور مجدد و تغییرات پایداری کانی‌ها بدون انتقال جرمی عمده.

B) اسکارن واکنشی حاصل از دگرگونی واحدهای سنگی گوناگون به صورت بین لایه‌ای، مثل شیل و سنگ آهک، همراه با انتقال جرمی در بین لایه‌ها در مقیاس کوچک.

C) اسکارنوئید حاصل از دگرگونی لیتولوژی‌های ناخالص توأم با مقادیر کم انتقال جرمی توسط چرخش سیال در مقیاس کوچک.

D) اسکارن متاسوماتیکی تحت کنترل سیال (اسکارن تراوشی) که به طور تیپیک دانه درشت بوده و ترکیب یا بافت اولیه پروتولیت در آن به درستی معلوم نیست.

3-1 تکامل ذخایر اسکارن

تشکیل ذخایر اسکارن فرایندی دینامیک است. در اکثر کانسارهای اسکارن انتقال تدریجی از هورنفلس‌های دگرگونی، اسکارن واکنشی و اسکارنوئید تا اسکارن‌های دانه‌درشت کانی‌سازی شده در اثر فرایندهای متاسوماتیک قابل تشخیص است. در اثر وجود گرادیان‌های حرارتی زیاد و چرخش سیالاتی که توسط توده نفوذی تامین می‌شود (سلولهای همرفتی)، دگرگونی تماسی در محل کنتاکت می‌تواند نسبت به تبلور ساده ایزوشیمیایی، بسیار پیچیده باشد (Norton, 1982; Bowers et al,1990). برای مثال این سیالات در طول شکستگی‌ها در سنگ‌های کربناته باعث واکنش‌های متفاوتی می‌شوند. سیالات متاسوماتیکی پیچیده‌تر با ترکیبات ماگمایی نظیر آهن، سیلیسیم و مس که تولید زنجیره‌ای از فرایندها بین متامورفیک و متاسوماتیک می‌کند این دگرگونی اولیه و متاسوماتیسم بعدی در حرارت نسبتاً بالا، بوسیله آلتراسیون پسرونده (همراه با افت حرارت) دنبال می‌گردد (Meinert, 1992).

4-1 کانی شناسی اسکارن

تعریف و طبقه‌بندی ذخایر اسکارن بر اساس کانی‌شناسی آن است بعضی از کانی‌ها مثل کوارتز و کلسیت تقریباً در همه اسکارن‌ها حضور دارند و بعضی نظیر هومیت، پریکلاز، فلوگوپیت، تالک، سرپانتین و بروسیت در اسکارن نوع منیزیمی قرار دارند و اغلب در سایر انواع اسکارن غایب هستند علاوه بر این بسیاری از کانی‌های حاوی قلع، بر، بریلیم و فلوریت کمیاب بوده ولی بطور محلی پاراژنز مهمی تشکیل می‌دهند (Meinert, 1992).

کانی‌شناسی اسکارن‌ها می‌تواند بسیار پیچیده باشد برخی اوقات به علت فقدان شناخت از اعضای انتهایی فازهای کانیائی، طبقه‌بندی نامناسبی از آنها ارائه می‌شود (Pirajno, 2009).

کانی‌هایی نظیر پیروکسن، گارنت، آمفیبول در همه اسکارن‌ها هستند که تنوع ترکیبی مشخصی را نشان می‌دهند.

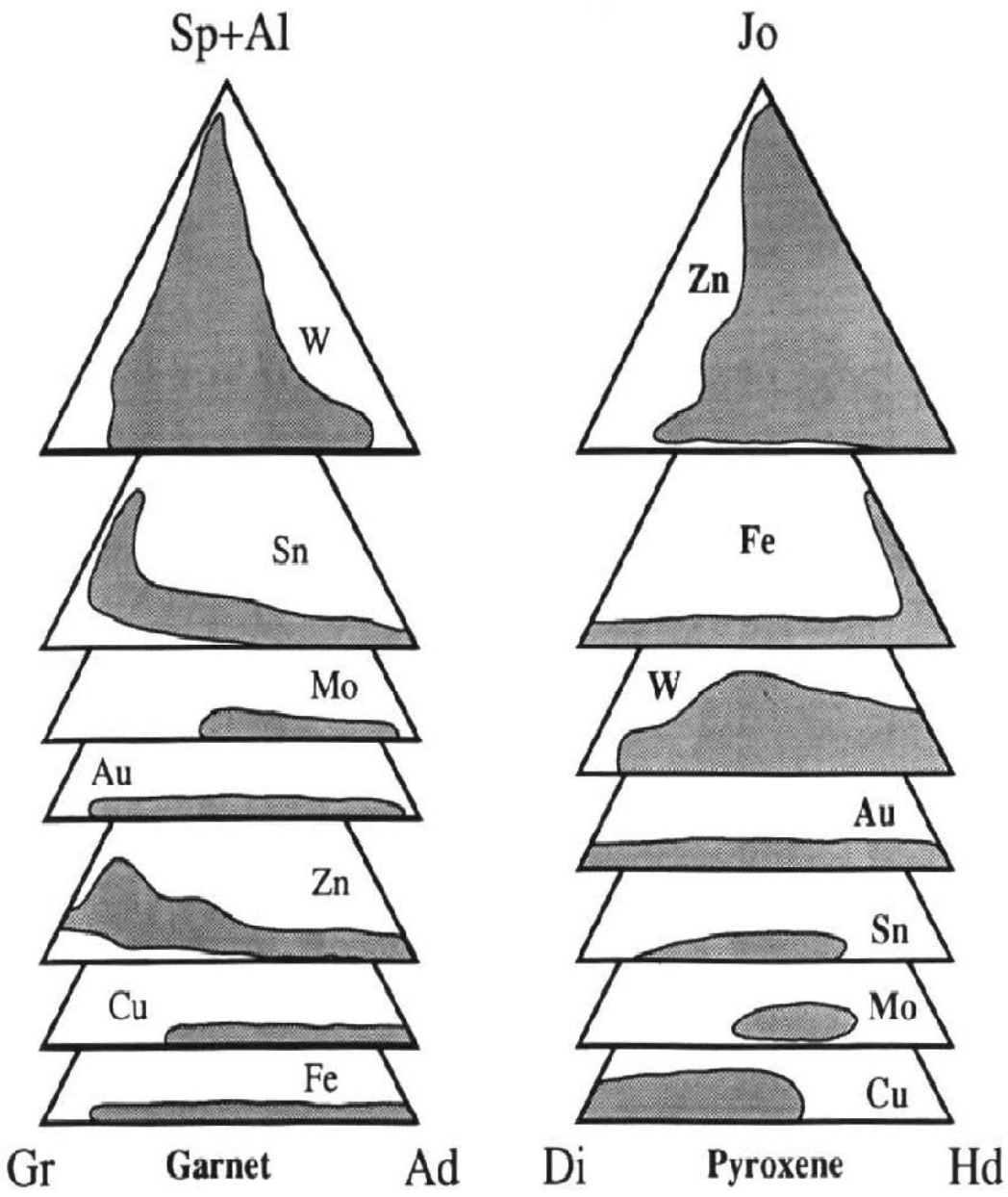
ترکیب بسیاری ازکانی‌های پیچیده مثل گارنت و پیروکسن را می‌توان بر روی مثلث ترسیم کرد که برای توصیف ترکیبات متنوع عموماً استفاده می‌شود که مقدار زیادی از اطلاعات می‌تواند در این مثلث‌ها خلاصه شود (شکل 3). آمفیبول‌ها به سختی می‌تواند در این ترسیم به تصویر کشیده شوند زیرا آنها ترکیب متفاوتی دارند و ساختارهای آن‌ها به اندازه ترکیبشان متفاوت است. تفاوت اصلی بین آمفیبول‌ها در اسکارن‌های مختلف بر حسب مقدار سدیم، آلومینیوم، کلسیم، منگنز، منیزیم، آهن و پتاسیم تغییر می‌یابد. آمفیبول‌ها در اسکارن‌های طلا، تنگستن و قلع به طور پیشرونده‌ای پرآلومینوس (اکتینولیت- هستینگسیت- هورنبلند)، در اسکارن‌های مس، مولیبدن و آهن در سری ترمولیت- اکتینولیت غنی از آهن و در اسکارن روی غنی از منگنز و فقیر از کلسیم که رنجی از اکتینولیت تا دانبوریت را دربرمی‌گیرد (Meinert, 1992).

کانی‌شناسی اسکارن‌ها تغییرات سیستماتیکی در ترکیب و رنگ در طرح کلی نشان می‌دهند. برای مثال گارنت‌ها در نزدیکی توده رنگ قرمز قهوه‌ای و با دور شدن از توده رنگ قهوه‌ای روشن پیدا می‌کنند، و در نزدیکی مرمر رنگ سبز مایل به زرد دارند (Atkinsom and Einaudi, e. g., 1978) تغییر در رنگ پیروکسن‌ها خیلی قابل ذکر نیست فقط به طرف بیرون زون اسکارن و به سمت مرمر پیروکسن‌ها غنی از آهن و منگنز می‌شوند (Harris and Einaudi , e.g., 1997).

(جدول 1-1) اسامی و ترکیب شیمیایی کانی‌های اسکارنی (Meinert et al., 2005).

Table 1 Skarn mineralogy -- common minerals, mineral groups, abbreviations and compositions.

General Group	End Members	Abbreviation	Composition	Series
Garnet	grossularite	Gr	$Ca_3Al_2(SiO_4)_3$	grandite
	andradite	Ad	$Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$	
	spessartine	Sp	$Mn_3Al_2(SiO_4)_3$	sub-calcic garnet
	almandine	Al	$Fe_3Al_2(SiO_4)_3$	
	pyrope	Py	$Mg_3Al_2(SiO_4)_3$	
Pyroxene	diopside	Di	$CaMgSi_2O_6$	salite
	hedenbergite	Hd	$CaFeSi_2O_6$	
	johannsenite	Jo	$CaMnSi_2O_6$	
	fassaite	Fas	$Ca(Mg,Fe,Al)(Si,Al)_2O_6$	
Olivine	larnite	Ln	Ca_2SiO_4	monticellite
	forsterite	Fo	Mg_2SiO_4	knebelite
	fayalite	Fa	Fe_2SiO_4	
	tephroite	Tp	Mn_2SiO_4	
Pyroxenoid	ferrosilite	Fs	$FeSiO_3$	pyroxemangite
	rhodonite	Rd	$MnSiO_3$	
	wollastonite	Wo	$CaSiO_3$	bustamite
Amphibole	tremolite	Tr	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$	actinolite
	ferroactinolite	Fl	$Ca_2Fe_5Si_8O_{22}(OH)_2$	
	manganese actinolite	Ma	$Ca_2Mn_5Si_8O_{22}(OH)_2$	
	hornblende	Hb	$Ca_2(Mg,Fe)_4Al_2Si_7O_{22}(OH)_2$	
	pargasite	Pg	$NaCa_2(Mg,Fe)_4Al_3Si_6O_{22}(OH)_2$	
	cummingtonite	Cm	$Mg_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	sub-calcic amphibole
	dannemorite	Dm	$Mn_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	
	grunerite	Gru	$Fe_2(Fe,Mg)_5Si_8O_{22}(OH)_2$	
Epidote	piemontite	Pm	$Ca_2(Mn,Fe,Al)_3(SiO_4)_3(OH)$	
	allanite	All	$(Ca,REE)_2(Fe,Al)_3(SiO_4)_3(OH)$	
	epidote	Ep	$Ca_2(Fe,Al)_3(SiO_4)_3(OH)$	
	clinozoisite	Cz	$Ca_2Al_3(SiO_4)_3(OH)$	
Plagioclase	anorthite	An	$CaAl_2Si_2O_8$	
Scapolite	marialite	Ml	$Na_4Al_3Si_9O_{24}(Cl,CO_3,OH,SO_4)$	
	meionite	Me	$Ca_4Al_3Si_6O_{24}(CO_3,Cl,OH,SO_4)$	
Axinite		Ax	$(Ca,Mn,Fe,Mg)_3Al_2BSi_4O_{15}(OH)$	
Other	vesuvianite (idocrase)	Vs	$Ca_{10}(Mg,Fe,Mn)_2Al_4Si_9O_{34}(OH,Cl,F)_4$	
	prehnite	Pr	$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$	



(شکل 1- 2) ترسیم مثلثی ترکیب گارنت‌ها و پیروکسن‌ها (Einaudi et al., 1981; Meinert, 1983, 1989).

1-5 رده‌بندی ذخایر مهم اسکارنی ویژگی‌های کلی آنها

گروهی از ذخایر اسکارن می‌توانند بر پایه ویژگی‌هایی از قبیل ترکیب و نوع سنگ اولیه، فلزات اقتصادی غالب، ویژگی‌های ژنتیکی از قبیل مکانیسم حرکت سیالات، دمای تشکیل وگسترش توده نفوذی توصیف شوند. نویسندگان جدید تمایل به تقسیم‌بندی اسکارن بر پایه فلزات اقتصادی غالب دارند بنابراین تقسیم‌بندی‌هایی بر اساس ترکیب، تکتونیک و تغییرات ژنتیکی انجام دادند. هفت نوع اسکارن اصلی (Fe, Au, W, Cu, Zn, Mo, Sn) و انواع متعدد دیگری (شامل F,C, Ba, Pt, U, REE) از لحاظ مطالعات مدرن مهم هستند (Meinert, 1992).

از معیارهای مختلفی جهت رده بندی اسکارن‌ها استفاده می‌شود که مهمترین آن‌ها از این قرارند:

1-5-1 بر اساس مکانیزم تشکیل اسکارن

نظر به نقش مهم محلول‌های کانه‌دار در تشکیل کانسارهای اسکارن، ابتدا مکانیسم متاسوماتیسم را بررسی می‌کنیم. متاسوماتیزم به معنای تغییر در ترکیب کلی سنگ (در حالت جامد) و با درجات متفاوت در بیشتر محیط‌های دگرگونی همبری انجام می‌شود. تبدیلات متاسوماتیکی به دو فرم تراوش (Infilteration) و انتشار (Diffusion) و یا مخلوطی از این دو صورت می‌گیرد.

1-متاسوماتیزم انتشاری (Diffuosion metasomatism) یا Bimetasomatism در نتیجه اختلاف در پتانسیل شیمیایی عناصر است و با افزایش حرارت و گذشت زمان پیشرفت می‌کند.

2-متاسوماتیزم تراوشی (Infilteration metasomatism) با درجات متفاوت پیرامون نفوذی‌های بالای پوسته در جایی که گردش سیالات ماگمایی بواسطه نفوذپذیری بالا به خوبی صورت می‌گیرد، انجام می-شود (Einaudi et al, 1991).

2-5-1 بر اساس میزان پویایی عناصر

عناصر منتشر شونده از طریق متاسوماتیزم دارای پویایی مختلفی هستند. بنابراین غلظت آنها در

محلول هر چه به سوی جبهه‌ی انتشار پیش برویم به میزان مختلفی کاهش می‌یابد، از این رو یک آرایش منطقه‌ای در پاراژنز کانی‌های اسکارن پدید می‌آید (Einaudi et al, 1991).

براساس (Smirnov, 1976)، عناصر سازنده سنگ‌های سیلیکاتی و کربناتی بسته به درجه پویایی به چهار گروه تقسیم می‌شوند:

1- پویاترین سازنده‌ها، آب و دی اکسید کربن هستند. پویایی آب بستگی به ترکیب سنگ‌هایی که در آنها گردش می‌کند ندارد و با دما افزایش می‌یابد. پویایی CO_2 بر حسب عمق افزایش پیدا می‌کند.

2- سازنده‌هایی که در هر شرایطی پویا هستند عبارتند از Na, K, Cl و S.

3- سازنده‌هایی که تنها در متاسوماتیزم شدید پویا می‌باشند عبارتند از Mg, Ca, Si و Fe که پویایی نسبی آنها به دما، فشار و ترکیب شیمیایی بستگی دارد. پویایی Ca و Si با کاهش دما افزایش می‌یابد در صورتی که از پویایی آهن در این حال کاسته می‌شود.

4- سازنده‌های Al, W, P و Ti دارای کمترین پویایی می‌باشند این عناصر در صورتی که به‌صورت کمپلکس‌های مختلف حضور داشته باشند می‌توانند پویایی زیادی داشته باشند.

با توجه به آنچه گفته شد دو نوع اسکارن را می‌توان در نظر گرفت.

1- اسکارن تراوشی: در این نوع اسکارن تبادل مواد در یک جهت انجام می‌شود این اسکارن‌ها معمولاً در فاصله دورتری از توده نفوذی تشکیل می‌شوند.

2- اسکارن بای‌متاسوماتیک: که در این نوع اسکارن تبادل مواد بین توده نفوذی و سنگ‌های همبری از طریق انتشار در دو جهت صورت می‌گیرد.

1-5-3 براساس موقعیت اسکارن نسبت به توده نفوذی

بر این اساس اسکارن‌ها به دو گروه عمده اندواسکارن و اگزواسکارن تقسیم می‌گردند. اندواسکارن به اسکارن‌زایی در درون سنگ آذرین و اگزواسکارن به اسکارن‌زایی در سنگ درونگیر اطلاق می‌شود.

اگزواسکارن زون اصلی اسکارنی بوده و مابین اندواسکارن و آهک‌های کریستالیزه قرار می‌گیرد (Guilbert and park, 1997).

میزان گسترش نسبی اندواسکارن و اگزواسکارن بسیار متفاوت است، اندواسکارن در بخش‌هایی از توده نفوذی که در آن بطور گسترده شکستگی وجود دارد و نفوذپذیری بالاست گستردگی بیشتری دارد ولی برعکس در نواحی عمیق، جایی که توده کمتر شکستگی داشته و گردش سیالات محدودتر است، اندواسکارن فقط در بخش باریکی در مجاورت بلافصل توده نفوذی ایجاد می‌شود. هنگامی که هر دو زون اندواسکارن و اگزواسکارن وجود داشته باشند بطور کلی، کانسنگ عمدتاً به اگزواسکارن محدود می‌شود. بیشتر اسکارن‌ها جزء اگزواسکارن‌هایی هستند که در سنگ‌های پیرامون توده نفوذی بوجود می‌آیند. ترکیب شیمیایی و گسترش اگزواسکارن تابع عوامل زیر می‌باشد:

1- حجم محلول‌های گرمابی با منشا ماگمایی.

2- ترکیب شیمیایی محلول گرمابی.

3- ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های کربناته درونگیر (Einaudi and Burt, 1982).

1-5-4 براساس ترکیب شیمیایی سنگ همبر

آینودی (Einaudi 1982) بر اساس ترکیب شیمیایی سنگ‌های میزبان کانسارهای اسکارنی را به سه دسته عمده تقسیم کرد که عبارتند از اسکارن کلسیم‌دار، اسکارن منیزیم‌دار و اسکارن سیلیکاته. از این بین اسکارن‌های کلسیم‌دار و منیزیم‌دار مهمتر می‌باشند.

(الف) اسکارن کلسیم‌دار (کلسیک): این اسکارن‌ها معمولی‌ترین نوع اسکارن محسوب می‌شوند و از جانشینی سنگ‌های آهکی حاصل می‌شوند. کانی‌های شاخص این دسته از اسکارن‌ها پیروکسن‌های سری دیوپسید- هدنبرژیت، گارنت‌های سری گراسولار– آندرادیت، وزویانیت، اسکاپولیت، اپیدوت و مگنتیت می‌باشند. بیشتر کانسارهای اسکارنی اقتصادی دنیا در این گروه قرار می‌گیرند. اسکارن‌های کلسیک اساساً در مرحله پس از ماگمایی (postmagmatic) تشکیل می‌گردند.