

کانسارهای مس پرفیری

نوشته :

منوچهر تکین^۱ (Ph. D.)

از سازمان زمین شناسی کشور و شرکت سهامی معدنی چارتر - ایدرو

بدنبال اکتشاف معدن مس سرچشمه واقع در ۶ کیلومتری جنوب رفسنجان در استان کرمان ، در چند سال اخیر توجه بمعادنی شبیه آن در ایران فزونی یافته است و برنامه های اکتشافی مفصل و دامنه داری برای یافتن معادن دیگری از این قبیل در نواحی کرمان و جنوب شرق ایران بمرحله اجرا گذاشته شده و نیز ادامه خواهد یافت .

معدن مس سرچشمه از نوع معادن پرفیری (Porphyry) است که از مشخصات آنها عیار کم ولی ذخیره زیاد است ضمناً این نوع معادن علاوه بر مس اغلب فلزهای دیگری از قبیل مولیبدن ، نقره ، و یا طلا هم ممکن است داشته باشند که بارزش اقتصادی معدن میافزاید . اما باید توجه داشت که بعلت عیار کم بهره برداری از این نوع معادن در صورتی اقتصادی خواهد بود که استخراج بطریق روباز و کلی صورت گیرد و دستگاههای تغلیظ و ذوب نیز در محل نصب شده باشد چون وقتی عیار سنگ معدن در حدود دو یا یک درصد و یا کمتر باشد طبیعی است که مخارج حمل سنگ معدنی بنقطه دیگر نسبت بمقدار مس موجود در آن خیلی گران تمام خواهد شد مگر اینکه در محل تغلیظ گردد .

تاکنون بیشتر معادن مسی که در ایران مورد بهره برداری قرار گرفته اند از نوع رگه ای بوده است که مقدار ذخیره آنها کم است ولی در عوض عیار زیادتری دارند و بهره برداری از آنها اغلب با حفر تونل و استخراج رگه های غنی صورت میگیرد . بنابراین معادن مس پرفیری در ایران نسبتاً تازگی دارند . در کشورهای دیگر بویژه در آمریکای شمالی اکتشاف و استخراج معادن پرفیری از چند سال پیش توسعه یافته است و در اینمدت مطالعاتی که از نظر کانی شناسی و سنگ شناسی و وضعیت عمومی زمین شناسی

در نواحی مربوطه صورت گرفته نتایج جالبی را نشان داده است و در مورد ساختمان و تقسیمات سنگ شناسی و چگونگی بوجود آمدن این معادن مباحث گوناگونی در گرفته که خلاصه‌ای از آنها در زیر توضیح داده میشود.

مشخصات کلی

- ۱- عیار کم : چند دهه تا حدود یک تا دو درصد مس و چند صد تا چند دهه درصد سولفیدن .
 - ۲- بزرگی : که ممکن است ناحیه معدن چندین کیلومتر مربع وسعت داشته باشد و ذخیره آن نیز اغلب بیش از صد میلیون تن و گاهی بیش از پانصد میلیون تن سنگ معدنی است .
 - ۳- معمولاً توسعه معدن بیشتر در جهت افقی است تا در جهت قائم .
 - ۴- کانیهای مس تقریباً یکنواخت و بصورت دانه‌های ریز و یا در مویرگهای باریک در همه جا پراکنده است ولی گاهی رگه‌های غنی هم در بعضی قسمتها وجود دارد .
 - ۵- استخراج بطریق روباز بوده و توده سنگ معدنی تماماً مورد بهره برداری قرار میگیرد .
 - ۶- در معادن پرفیری توده‌ای از سنگهای آذرین وجود دارد که در سنگهای قبلی ناحیه نفوذ کرده است . سنگ آذرین مزبور اغلب از نوع پرفیری و از نظر شیمیائی سنگی اسیدی متوسط میباشد و چنین بنظر میرسد که سنگ آذرین مزبور با ورود و قرار گرفتن کانیهای فلزی و یا بعبارت دیگر با مینرالیزاسیون (Mineralisation) در آن ناحیه ارتباط دارد . توده‌های نفوذی مزبور در سطح زمین معمولاً در حدود چندین کیلومتر مربع بیشتر وسعت ندارند و بنابراین بیشتر بصورت Stock میباشند .
 - ۷- قسمتهای زیرین سنگهای مینرالیزه که از سطح زمین دور بوده و تحت تأثیر آب و عوامل جوی قرار نگرفته است پروتوآور (Protore) یا هایپوجین (Hypogene) نامیده میشود .
 - ۸- طی زمانهای طولانی عوامل طبیعی بر ناحیه مینرالیزه اثر میگذارند و مثلاً آبهای سطحی در این قسمت نفوذ میکند و مواد معدنی را از قسمتهای بالا شسته پائین میبرد . بنابراین قسمتهای مزبور بتدریج از مواد معدنی تهی شده پوششی کم عیار (Leached Zone) بوجود میآید ولی در عوض این مواد در بخشهای پائین تر جمع شده و بمواد معدنی که قبلاً در آنجا موجود بوده اند اضافه میگردند و قسمتهای پرعیارتتری تشکیل میشود که سوپرژین (Supergene) نامیده میشود .
- گاهی ممکن است عیار بخش مینرالیزه اولیه (هایپوجین) با اندازه کافی بالا باشد که مورد استفاده قرار گیرد ولی اغلب مقدار مس موجود در آن خیلی کم است و برای استخراج فقط قسمت پرعیارتتری یعنی سوپرژین مناسب میباشد و بنابراین نفوذ آبهای سطحی و ازدیاد عیار آن اهمیت بسزائی در معادن پرفیری دارد .

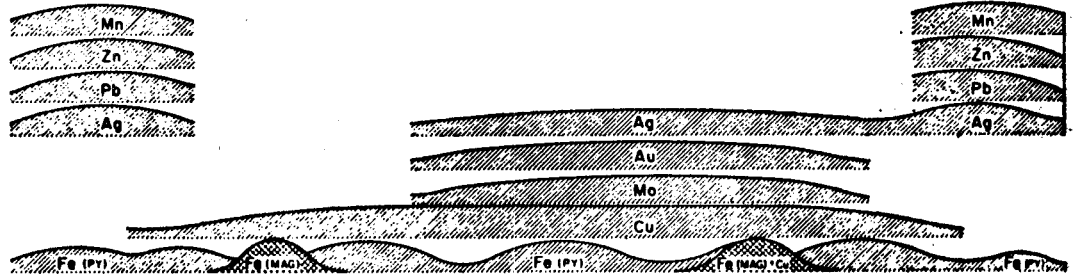
۹- در مورد وضعیت عمومی زمین شناسی و چگونگی تمرکز مواد معدنی در معادن پرفیری نظریه عمومی چنین است (شکل ۱) که توده‌ای آذرین از قسمتهای عمیق پوسته زمین (Crust) و یا از جبهه

GEOCHEMICAL EXPRESSION

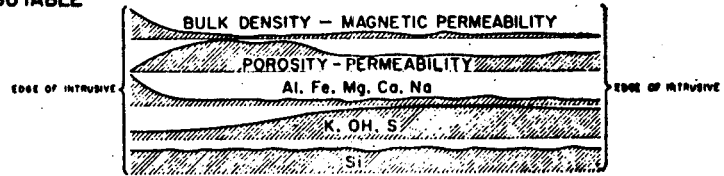
BLEACHING, DISCOLORATION, IRON STAINING • COLOR ANOMALY

MAJOR AND MINOR METAL DISTRIBUTION

- Zn (Cd, Sn, Ba, Hg, Tl)
- Pb (Bi, As, Sb, Te)
- Ag (Au, Sn, Bi)
- Au (Sn, As, Bi)
- Mo (Re)
- Cu (As, Bi, Co, Sn, Te, W)
- * Co, Mn, Ni, Sn, V - Ubiquitous?



PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES ATTRIBUTABLE TO ALTERATION OF INTRUSIVE



ALTERATION PATTERN

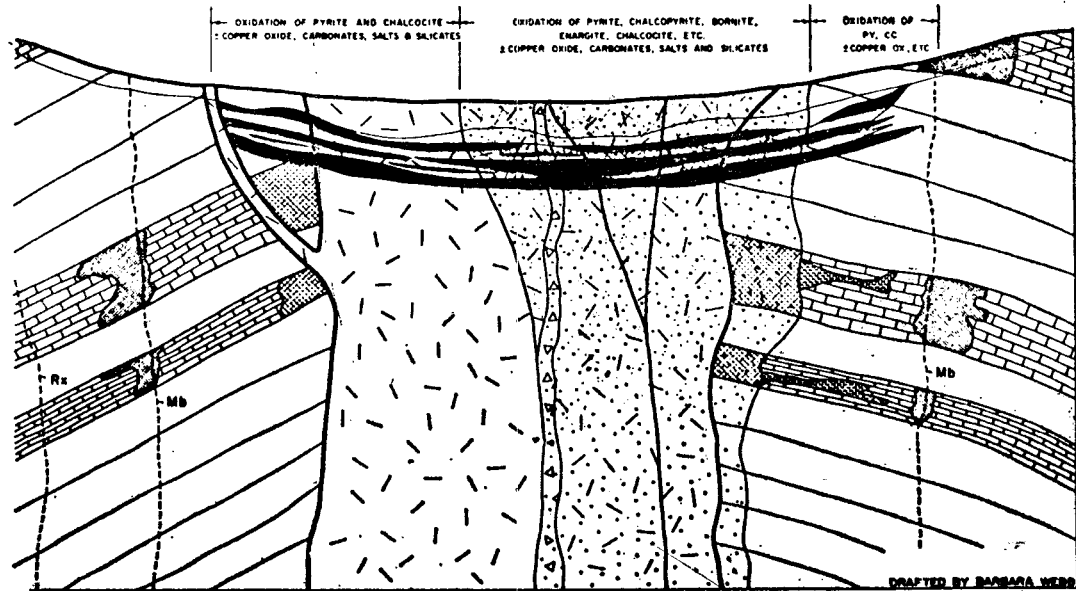
- PROP (MUS, EPI, CHL, CER, ETC)
- ARG (MUS, HAO, ETC)
- K-SIL (MUS, BIO, K-FSP, ETC, TMPT)



GEOLOGICAL SETTING

LEGEND

- SUPERGENE ZONES AND ORE TYPES**
 - OXIDATION AND LEACHED CAPPING
 - OXIDIZED COPPER ORE
 - SECONDARY COPPER ORE (RICHER PORTIONS DARKER)
- HYPOGENE ORE TYPES**
 - COPPER ORE IN SILICATED ZONE
 - COPPER ORE IN VENS AND BRECCIA PIPES
 - COPPER ORE - DISSEMINATED AND IN STOCKWORK
 - ZINC (LEAD) ORE
 - MAGNETITE ORE
- ROCK TYPES**
 - MARBLE LINE
 - LINE OF RECRYSTALLIZATION
 - BRECCIA PIPE (IN INTRUSIVE)
 - INTRUSIVE
 - CARBONATE ROCKS
 - SHALES, SANDSTONES, & VOLCANICS



شکل ۱ - طرحی شماتیک از مشخصات کلی زمین شناسی و ژئوشیمی معادن مس پرفیری (اقتباس از جرم ۱۹۶۶)

(Mantle) بسنگهای بالا نفوذ میکند و سپس سنگهایی که توده نفوذی در آنها رخنه کرده است و همچنین قسمتهای فوقانی توده نفوذی تغییرات گرمایی (آلتراسیون هیدروترمال Hydrothermal alteration) پیدا میکنند و بدنبال این تغییرات و یا تقریباً همزمان با آنها مواد معدنی بصورت دانه های ریز پراکنده و یا مویرگها و رگچه ها در داخل سنگهای تغییر یافته جای میگیرند.

بنابراین توده نفوذی و آلتراسیون هیدروترمال و ورود کانیهای معدنی همه باهم ارتباط نزدیک دارند و مطالعات اخیر (Jerome, 1966, Lowell and Guilbert, 1970 و Rose, 1970) نشان داده است که وضعیت سنگ شناسی و کانی شناسی (Mineralogy) و نیز نوع و مقدار مواد معدنی بافاصله آنها از توده نفوذی تغییر میکنند بنابراین وقتی از مرکز توده دور شویم وضع سنگها و مواد معدنی درقشرهای مختلف متفاوت میباشد.

بدنبال مقدمه فوق اینک توضیحات بیشتری درباره معادن مس و مولیبدن پرفیری تحت عناوین زیر مورد بحث قرار میگیرد:

- ۱- سنگهای آذرین نفوذی
- ۲- سنگهایی که توده های نفوذی در آنها رخنه کرده اند
- ۳- سنگهای مینرالیزه
- ۴- تغییرات (آلتراسیون) هیدروترمال
- ۵- رابطه کانیهای معدنی و آلتراسیون هیدروترمال
- ۶- منطقه بندی (Zoning) در کانسارهای پرفیری
- ۷- بحثی پیرامون مبدأ و طرز تشکیل کانسارهای پرفیری
- ۸- ازدیاد ثانوی عیار و تشکیل شدن قسمت سوپرچین
- ۹- استفاده از ژئوشیمی برای اکتشاف معادن پرفیری.

۱- سنگهای آذرین نفوذی

تقریباً در تمام معادن مس پرفیری که تا کنون مطالعه شده است توده ای بزرگ (بابعاد چندین صد متر تا چند کیلومتر) متشکل از یک یا چند نوع سنگهای آذرین در ناحیه معدن نفوذ کرده است و اکنون پذیرفته شده که رابطه بسیار نزدیکی بین این توده و مواد معدنی آن ناحیه وجود دارد. مطالعه سنگ شناسی و کانی شناسی این توده ها در معادن مس پرفیری آمریکای شمالی و جنوبی و مقایسه آماری آنها نتایج جالبی را درباره توده های مزبور نشان میدهد. این نتایج توسط Stringham (1966) و Lowell and Guilbert (1970) خلاصه گردیده و بعضی از آنها عبارتند از:

ترکیب سنگهای توده آذرین از نظر شیمیائی متوسط است و بیشتر آنها از گروه های کوارتز منزونیت - کوارتز لایت و گرانودیوریت - ریوداسیت و کوارتز دیوریت - داسیت و منزونیت - لایت میباشند فقط بعضی از سنگهای مزبور اسیدی تر و از گروه گرانیت - ریولیت و یا باز یکتر و از گروه دیوریت - آندزیت هستند . بنابراین سنگهای نفوذی این نواحی بیشتر دارای کوارتز بوده و اغلب دو فلدسپات دارند و پلاژیوکلاز آنها بازیکتر از آندزین نیست . در بعضی نواحی مس پرفیری سنگهایی که پلاژیوکلاز آنها لابرادیوریت و یا بازیکتر میباشد (مثلاً دیاباز یا دالریت) وجود دارد ولی این سنگها هیچ نوع بستگی با مواد معدنی ندارد .

بافت سنگهای نفوذی مزبور تقریباً همیشه از نوع پرفیری (Porphyry) است یعنی تعدادی از کانیهای متشکله بصورت بلورهای درشت (فنوکریست Phenocryst) است که در زمینه ای غیر متبلور و یا دارای بلورهای ریز قرار گرفته اند . سنگهای دارای بافت پرفیری بصورت آتشفشانی و گسترده نیز در طبیعت وجود دارند که از نظر بافت شبیه سنگهای نفوذی هستند و تنها از روی موقعیت زمین شناسی میتوان این دو نوع را از هم تمیز داد . گاهی توده پرفیری تنها توده نفوذی ناحیه است ولی اغلب پرفیری مزبور با سنگهای نفوذی دیگری همراه است که بافت گرانیتوید (Granitoid) دارند یعنی کانیهای اصلی متشکله سنگ بزرگ بوده با چشم غیر مسلح دیده میشوند ولی تا کنون در تمام نواحی مس پرفیری در آمریکا توده نفوذی با بافت گرانیتوید بتنهائی دیده نشده است و همیشه با توده نفوذی دارای بافت پرفیری همراه بوده است .

سنگهای نفوذی معادن پرفیری اغلب در عمق نسبتاً کم (یک تا دو کیلومتر) قرار گرفته اند و از وضع تکنونیکي چنین برسیاید که نفوذ آنها بصورت (Passive) و بدون فشار بوده است . چنانکه ساختمان و وضعیت لایه ها و سنگهای اطراف که قبل از نفوذ توده در آن محل قرار داشته اند تغییر چندانی نیافته است .

ضمناً در مواردی که توده آذرین از چندین نوع سنگ با بافتهای مختلف تشکیل شده است مطالعات سنگ شناسی نشان میدهد که پرفیری بعد از بقیه و یا لاقط در مراحل آخر نفوذ سنگهای آذرین وارد شده است .

۲- سنگهایی که توده های نفوذی در آنها زخنه کرده اند

اینها سنگهایی هستند که قبل از نفوذ توده آذرین پرفیری در محل وجود داشته اند . مقایسه معادن متعدد (Stringham ۱۹۶۶ ، Jerome ۱۹۶۶ و Lowell and Guilbert ۱۹۷۰) نشان داده است که سنگهای فوق در نواحی مختلف از انواع گوناگونی هستند چنانکه ممکن است از سنگهای رسوبی ، از سنگهای دگرگونی و یا از سنگهای آذرین باشند و از نظر سنی هم امکان دارد که این سنگها متعلق به یک از دورانهای زمین

شناسی باشند. بنابراین مینرالیزاسیون و منشأ و چگونگی قرار گرفتن مواد معدنی ارتباطی بسنگهای اولیه در محل ندارد بلکه با احتمال قوی این پدیده‌ها به توده نفوذی آذرین بستگی دارد و یا اینکه توده نفوذی مزبور و مینرالیزاسیون هر دو از یک عامل منتج شده‌اند.

۳- سنگهای مینرالیزه (Mineralised rocks)

سنگهای حامل مواد معدنی را سنگهای مینرالیزه می‌گویند و بطوریکه گفته شد مواد معدنی بصورت دانه‌های ریز در آنها پراکنده هستند و یا در تعداد زیادی شکستگیها و ترکهای کوچک قرار دارند. در بیشتر معادن پرفیری سنگ مینرالیزه همان توده نفوذی است ولی سنگهای مجاور هم اغلب مینرالیزه شده‌اند.

مطالعه معادن مختلف (Stringham ۱۹۶۶) نشان می‌دهد که سنگهایی بیشتر مینرالیزه میشوند که قبلاً بر اثر عوامل مختلف شکستگیهای کوچک و متعدد و منافذ زیاد پیدا کرده باشند و طبیعی است که سختی و مقاومت سنگهای مختلف متفاوت است و نوع و مقدار شکستگی در آنها فرق میکند کما اینکه این پدیده در سنگهای سیلیسی بیشتر از سنگهای آهکی دیده شده است چون در سنگهای آهکی کالسیت در عوض شکسته شدن Twin پیدا میکند و بر اثر فشار ممتد تقریباً «سیال» شده و ترکها و شکستگیهای آن پرمیشوند و باینجهت مینرالیزاسیون در سنگهای آهکی بیشتر بصورت رگه‌ای و جانیشینی (Metasomatism) دیده شده است تا بصورت دانه‌های ریزوپراکنده و یا بصورت مویرگها و رگچه‌ها.

در معادن مس آمریکا در حدود ۶ تا ۷ درصد مینرالیزاسیون در توده آذرین و بقیه در سنگهای اطراف است (شکل ۱). همینطور در معدن بوگنویل (Bougainville) در گینه جدید که هنوز مرحله بهره‌برداری نرسیده و نیز در معدن سرچشمه بیشتر مینرالیزاسیون در خود توده نفوذی است. دلیل این امر شاید اینستکه عواملی که همراه با بالا آمدن توده نفوذی شکستگیهای کوچک و متعدد را در سنگها ایجاد میکند طبیعتاً بر روی توده آذرین بیشتر از سنگهای مجاور اثر میگذارد و بدنبال آن کانیهای معدنی بیشتر در توده نفوذی جای میگیرد و جالب توجه است که در محوطه کوههای لاله‌زار، هنزا و بهر آسمان کرمان که اخیراً مورد مطالعه دقیق اکتشافی قرار گرفته آلتراسیون هیدروترمال و مینرالیزاسیون در سنگهای اطراف صورت گرفته و کمتر در خود توده‌های نفوذی دیده شده است (این نکته جالبی است و شاید ارتباطی با مقدار مس موجود داشته باشد).

۴- تغییرات (آلتراسیون) هیدروترمال (Hydrothermal alteration)

در معادن نوع پرفیری توده نفوذی و سنگهای اطراف بحالت معمولی و قبلی خود نیستند بلکه

تغییرات (آلتراسیون) مخصوصی یافته‌اند که بر اثر نفوذ محلولهای گرمایی (محلولهای هیدروترمال) صورت گرفته است و باینجهت این تغییرات را آلتراسیون هیدروترمال مینامند و نظریه پذیرفته شده عموماً چنین است که این محلولها از قسمتهای زیرین و عمیق زمین مشتق شده‌اند نه از منابع سطحی و کم عمق.

مطالعه سنگ شناسی و مینرالوژی سنگهای تغییر یافته (آلتره) نسبتاً مشکل است زیرا کانیهای متشکله آنها اغلب بسیار ریز بوده و بلورهایشان در داخل یکدیگر روئیده است. مطالعه مستقیم این سنگها با میکروسکپ بسادگی امکان پذیر نیست و محتاج با استفاده از روشهای غیر مستقیم و نسبتاً پیچیده‌ای است.

باینکه سنگهای گوناگونی ممکن است آلتراسیون پیدا کنند ولی بین سنگهای آلتره (تغییر یافته) در معادن مختلف تشابه زیادی دیده میشود و مطالعه آنها (Creasey ۱۹۶۶، Jerome ۱۹۶۶، Lowell and Guilbert ۱۹۷۰ و Rose ۱۹۷۰) نشان داده است که معمولاً در هر معدن چند نوع آلتراسیون وجود دارد که در هر نوع مجموعه‌ای از کانیهای مخصوصی دیده میشود. در تقسیم‌بندی آلتراسیونهای هیدروترمال بین محققین اختلاف نظر وجود دارد ولی میتوان چهار نوع را تقریباً مشخص کرد:

۱- پروپلیتیک (Propylitic).

۲- آرژیلیک (Argillic) که عده‌ای آنرا فیلیک (Phyllic) نیز نامیده‌اند.

۳- پتاسیک (Potassic).

۴- کوارتز - سریسیت.

در نوع پروپلیتیک کانیهای دارای CaO فراوان یافت میشود (از قبیل کالسیت و اپیدت (Epidote) نوع آرژیلیک دارای کانیهای گروه کائولینیت (Kaolinite) و مونتمریلونیت (Montmorillonite) است و CaO را از دست داده و یا باصطلاح (Leaching) زیادی متحمل شده است بنابراین کانیهای کالسیت و اپیدت در آن دیده نمیشود. در نوع پتاسیک فلدسپات پتاسیک ثانویه (که از کانیهای اولیه سنگ نبوده و بعداً در جریان آلتراسیون هیدروترمال بوجود آمده است) بسیار زیاد و همراه با مسکویت و بیوتیت ثانویه دیده میشود. در این نوع آلتراسیون کانیهای رسی (Clay minerals) پایدار نیستند و نبودن آنها فرق عمده بین آلتراسیون پتاسیک و آرژیلیک است. کانیهای مشخص نوع چهارم آلتراسیون کوارتز و سریسیت است و کانیهای رسی و فلدسپات پتاسیک ثانویه در آن دیده نمیشود و بعلت نبودن این کانیها است که عده‌ای از محققین مجموعه کوارتز و سریسیت را نوع جداگانه‌ای از آلتراسیون هیدروترمال مینامند.

مقایسه ترکیب شیمیائی پرفیری‌های تغییر نیافته و پرفیریهای آلتره نشان میدهد که در آلتراسیون هیدروترمال علاوه بر درجه حرارت و فشار، ترکیب شیمیائی محلولهای گرمایی نیز مؤثر بوده‌اند چنانکه

اغلب مقدار زیادی ین پتاسیم K^+ بسنگ وارد شده است. بنابراین آلتراسیون با متامورفیزم متفاوت است چون متامورفیزم اغلب بصورت ایزوشیمیست (Isochemical) میباشد.

سیلیکاتهای (ثانویه) که در آلتراسیون هیدروترمال ایجاد میشوند اغلب هیدراته است و بنظر میرسد که محلولهای هیدروترمال همیشه آب و نیز اغلب سیلیس و گاز کربنیک بحد وفور با خود دارند و نوع کانیهای جدیدی که تولید میشوند بستگی به درجه حرارت و میزان فشار و نیز ترکیب شیمیائی محلول دارد مثلاً فرق بین آلتراسیون پروپلیتیک و آرژیلیک اینستکه مثلاً CaO در یکی بصورت کالسیت و در دیگری جزء مونتموریلونیت است و اگر در محیطی CO_2 کم وجود داشته باشد فلدسپات پلاژیوکلاز سنگ اولیه بصورت مونتموریلونیت در میآید و وقتی CO_2 زیادتر است CaO خارج شده بشکل کالسیت دیده میشود. بنابراین اختلاف بین آلتراسیون پروپلیتیک و آرژیلیک بستگی زیادی به ترکیب شیمیائی محلولهای دارد که بآنها وارد شده اند.

ضمناً باید دانست که بطور کلی حد فاصل بین تقسیمات آلتراسیون دقیق و قطعی نیست و بین انواع مذکور حالات حدوسط نیز دیده میشود. علاوه بر این امر تغییرات کانیهای قبلی سنگ همیشه بطور کامل صورت نمیگیرد و گاهی فعل و انفعالات شیمیائی نا تمام مانده اند و بلورهائی که بطور ناقص تغییر یافته اند در سنگ دیده میشود که مطالعه آنها کمک بزرگی به فهمیدن و آشنائی با چگونگی آلتراسیون هیدروترمال است.

۵- رابطه کانیهای معدنی و آلتراسیون هیدروترمال

کانیهای معدنی (Ore minerals) در معادن نوع پرفیری تقریباً همیشه بصورت سولفور هستند و بطوریکه در بالا ذکر شد این کانیها بصورت دانه های ریز پراکنده در داخل سنگ قرار گرفته اند و یا ممکن است در داخل شکستگیهای مویرگی کوچک ولی متعدد قرار داشته باشند ولی گاهی نیز رگه های بزرگتر غنی از کانیهای معدنی دیده میشوند و در بعضی از معادن مس آمریکا و نیز یوگوسلاوی سالها فقط رگه های مزبور را استخراج میکردند و پس از مدتها بهره برداری بارزش اقتصادی سنگهای اطراف رگه ها پی بردند که حجم عظیم ولی عیار کم دارند. اکنون این سنگهای کم عیار بصورت روباز یعنی از سطح استخراج میشوند و بعضی اوقات بقایای چوب بستهای تونلهای قدیمی را در آنها میتوان دید.

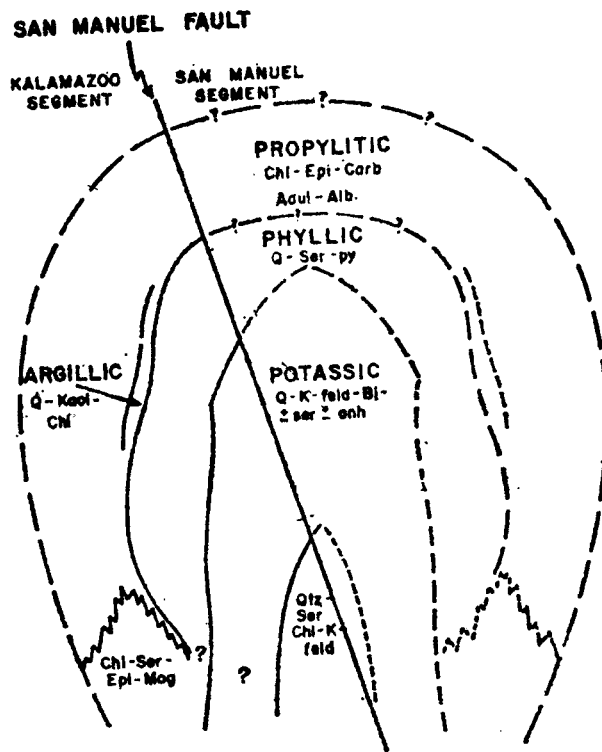
سولفورهای معادن پرفیری همزمان و یا بلافاصله بعد از نفوذ محلولهای هیدروترمال در سنگها جای گرفته اند و مهمترین آنها عبارتند از پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت، برنیت و بعضی سولفورهای دیگر مس و همچنین گالن و اسفالریت و ممکن است طلا و نقره نیز همراه داشته باشند. پیریت از سایر سولفورها بیشتر و فراوانتر دیده میشود و اغلب اولین سولفوری است که بسنگ وارد شده است. گاهی دانه های پیریت

ممکن است کالکوپیریت نیز همراه داشته باشند ولی در اغلب معادن کانی مس جداگانه و بصورت کالکوپیریت و برنیت دیده میشود که تشکیل این دو تقریباً همزمان ولی بعد از پیریت صورت گرفته است.

کانیهای مس در سنگهای آتزه بطور یکنواخت پراکنده نیستند مثلاً در قسمتهائی که آلتراسیون هیدروترمال از نوع پروپلیتیک داشته اند کانیهای مس با اندازه ای که جنبه اقتصادی داشته باشند دیده نشده است ولی در سه نوع دیگر آلتراسیون (آرژیلیک ، پتاسیک و کوارتز - سربیسیت) کانیهای مس وجود دارد و در نوع پتاسیک مقدار مس از انواع دیگر زیادتر است. همچنین نسبت پیریت به کالکوپیریت در انواع مختلف آلتراسیون فرق میکنند. بنابراین سولفورهای مزبور رابطه مستقیم با محلولهای هیدروترمال داشته اند که این محلولها کانیهای مزبور را با خود حمل کرده در سنگهای آتزه جای داده اند و از طرف دیگر در سنگهای اطراف که آتزه شده اند یعنی در خارج توده نفوذی نیز کانیهای معدنی دیده میشوند و این امر نشان میدهد که جایگزین شدن آنها بعد از نفوذ توده آذرین بوده است. بنظر میرسد که آلتراسیون و بعضی عوامل دیگر محیطی با تخلخل زیاد بوجود آورده اند که منافذ و شکستگیهای زیاد داشته و سولفورها در آن جای گرفته اند بنابراین میتوان تشکیل معادن مس پرفیری را به ذخایر نفتی تشبیه کرد که باید سنگ مخزن با خلل و فرج و شکستگی وجود داشته باشد تا نفت از قسمتهای زیرین بالا آمده در سنگهای مزبور جمع شود.

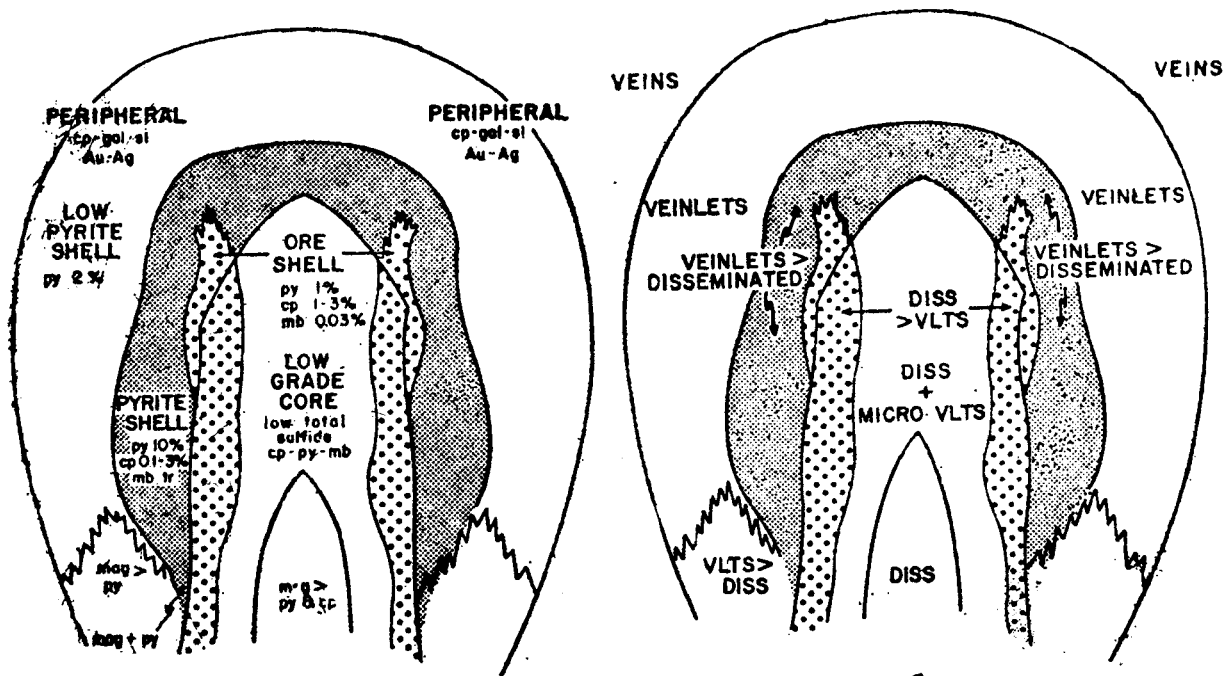
۶- منطقه بندی (Zoning) در کانسارهای پرفیری

آلتراسیون هیدروترمال و چگونگی قرار گرفتن کانیهای معدنی در بسیاری از معادن پرفیری با هم شباهتی زیاد دارد و اینطور بنظر میرسد که انواع مختلف آلتراسیون بصورت لایه های کروی یا استوانه ای متحدالمرکز در اطراف توده نفوذی قرار دارند و هاله ای در گرداگرد توده مزبور تشکیل میدهند و وقتی از این مرکز دور میشویم نوعی منطقه بندی در جهت افقی و گاهی نیز عمودی دیده میشود که البته بصورت حلقه های دایره ای کامل نیست بلکه بمقیاس ناحیه ای و کلی منطقه های متحدالمرکز میباشند. در این منطقه بندی نوع پروپلیتیک در خارجی ترین قسمت یعنی در پیرامون بقیه قرار دارد. و بتدریج بطرف مرکز، آلتراسیونهای انواع آرژیلیک و پتاسیک دیده میشوند و نوع کوارتز - سربیسیت در هسته مرکزی واقع شده است شکل ۲ که از مقاله Lowell and Guilbert (۱۹۷۰) اقتباس شده است منطقه بندی مزبور را در معدن سن مانوئل (San Manuel—Kalamazoo) در ایالت آریزونا نشان میدهد و در شکل ۱ که از مقاله Jerome (۱۹۶۶) اقتباس شده است منطقه بندی کلی در معادن پرفیری بطور شماتیک نشان داده شده است.



a

VEINS



b

c

شکل ۲ - منطقه بندی در معدن سن مانوئل آمریکا بطور شماتیک نشان داده شده است
 (a) : انواع آلتراسیون.
 (b) : مناطق مینرالیزه.
 (c) : چگونگی قرار گرفتن سولفورها (اقتباس از لاول و کیلبرت ۱۹۷۰)

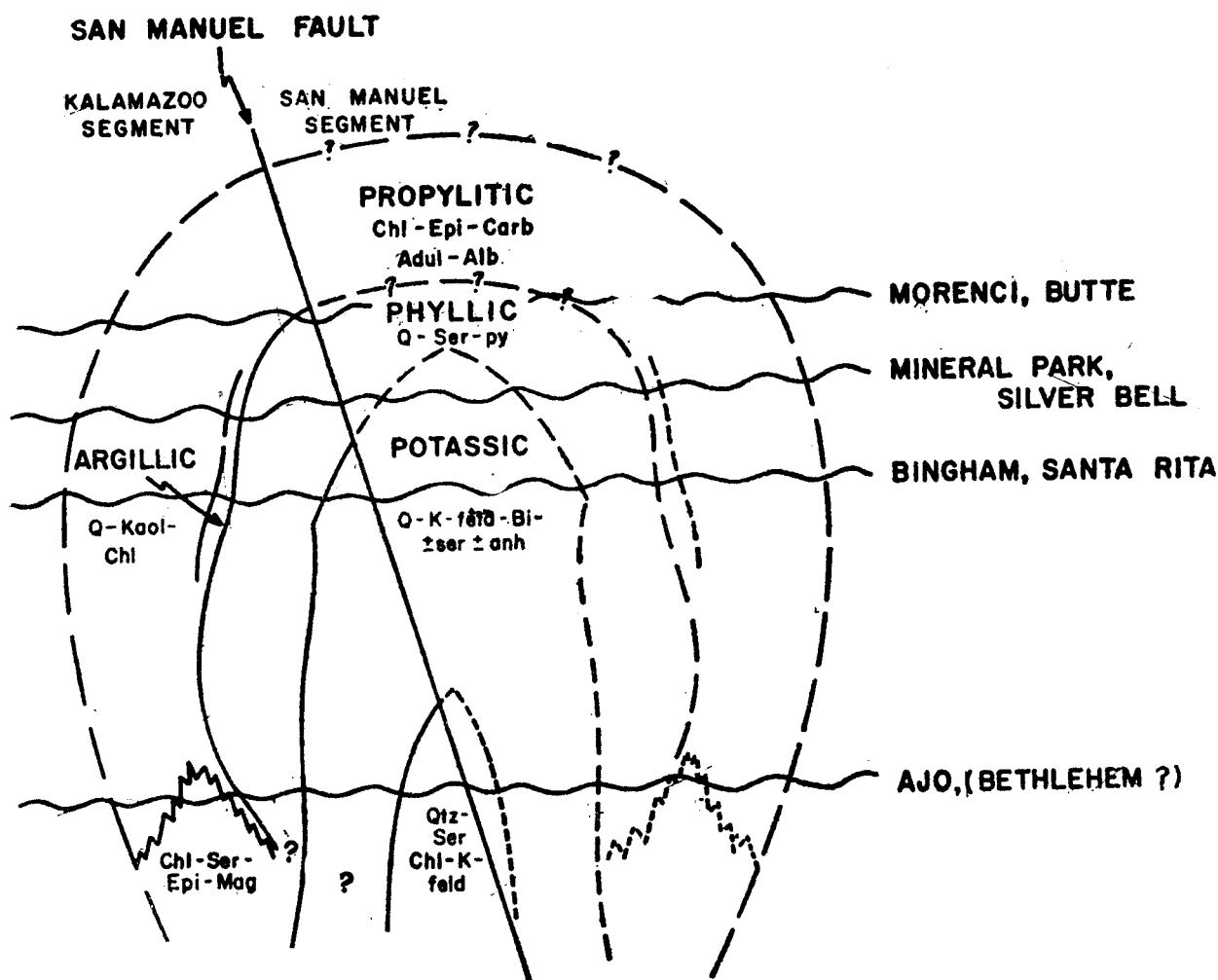
بطوریکه در بالا ذکر شد تقسیم‌بندی و نامگذاری انواع آلتراسیون تقریبی است و در جزئیات بین محققین اختلاف نظر موجود می‌باشد چنانکه عده‌ای دو نوع آرژیلیک و فیلیک را از هم جدا میدانند و یاعده‌ای دیگر مجموعه کوارتز - سریسیت (و پیریت) را نوع جداگانه‌ای از آلتراسیون ندانسته بلکه می‌گویند این مجموعه کانیها ممکن است بمقادیر مختلف در انواع پتاسیک و آرژیلیک و با بمقدار کم در آلتراسیون نوع پروپلیتیک هم وجود داشته باشد ولی باوجود اختلاف نظرهای فوق بطور کلی همه پذیرفته‌اند که آلتراسیون بصورت هاله‌ای دور توده نفوذی واقع است و انواع مختلف آن بصورت لایه‌های متحدالمرکز در اطراف توده آذرین قرار دارند.

نکته جالب دیگر اینستکه بخشهای مینرالیزه هم نسبت به پوسته‌های مزبور وضعیت خاصی دارند (شکل‌های ۱ و ۲). مثلاً مقدار پیریت در منطقه پروپلیتیک در حدود دو درصد است ولی در منطقه آرژیلیک مقدار آن به ده درصد هم میرسد اما در بخش مرکزی منطقه پتاسیک مقدار پیریت بسیار کم است. همینطور کالکو پیریت و مولیبدنیت بیشتر در منطقه‌های میانی دیده میشود و در پیرامون منطقه خارج گالن و اسفالریت زیادتر یافت میشود و یا معمولاً بین منطقه‌های آرژیلیک و پتاسیک بخش باریکتری است که سولفورهای مس و مولیبدن بیش از سایر نقاط دارد.

علاوه بر نوع سولفورها چگونگی قرار گرفتن آنها در سنگ نیز در منطقه‌های مختلف فرق میکند مثلاً در بخش مرکزی بصورت دانه‌های ریز پراکنده وجود دارند ولی سولفورهای منطقه پتاسیک بدو صورت پراکنده و داخل شکستگیهای مویرگه‌ای کوچک یافت میشوند. در منطقه آرژیلیک نیز سولفورها بهر دو صورت وجود دارند ولی مقدار آنها در مویرگه‌ها بیشتر است و بالاخره در لایه پروپلیتیک سولفورها تنها در مویرگه‌ها یافت میشوند و ضمناً در لایه پرعیار مس که بین دو منطقه آرژیلیک و پتاسیک واقع شده کانیهای معدنی بیشتر بصورت پراکنده وجود دارند.

منطقه‌بندی آلتراسیون و مینرالیزاسیون در معادن نوع پرفیری اهمیت زیادی در اکتشاف این نوع معادن دارد (Jerome ۱۹۶۶). با مشخص کردن مناطق مزبور در یک معدن چگونگی ادامه توسعه این مناطق و بخشهای مینرالیزه را در عمق ممکن است پیش‌بینی کرد چنانکه Lowell and Guilbert (۱۹۷۰) برای چهار معدن مرنسی، مینرال پارک، بینگام و آیو سطح کنونی آنها را با معدن سن مانوئل مقایسه کرده‌اند (شکل ۳) و میتوان میزان ادامه معدن را در عمق برای آنها پیش‌بینی و مقایسه کرد.

منطقه‌بندی فوق‌الذکر همیشه متقارن و ساده و دست نخورده دیده نمیشود بلکه ممکن است بدنبال مینرالیزاسیون عوامل گوناگون زمین‌شناسی مانند گسل و چین خوردگی و فرسایش وضع ظاهری را پیچیده کرده باشد ولی اگر با نقشه برداری دقیق وضعیت اولیه را ترسیم نمائیم منطقه‌بندی کلی را در حول توده نفوذی خواهیم دید.



شکل ۳- طرحی شماتیک از معدن سن مانوئل و مقایسه آن با سطح فرسایش چند معدن دیگر آسریکا (اقیباس از لاول و گیلبرت ۱۹۷۰)

۷- بحثی پیرامون مبدأ و طرز تشکیل کانسارهای پرفیری

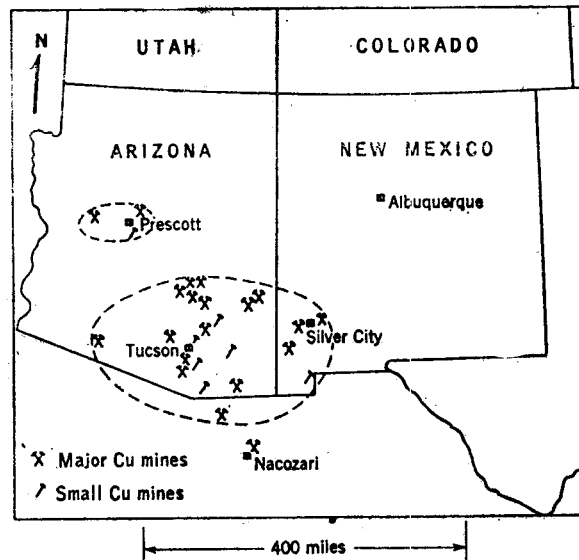
بطور کلی تمام تئوریهای مربوط به مبدأ و منشأ معادن پرفیری این نکات را قبول دارند که تشکیل مواد معدنی باتوده نفوذی پرفیری رابطه نزدیک دارد و مواد معدنی مزبور منشأ ماگمائی و هیدروترمالی دارند منتها در مورد جزئیات اختلاف نظرهایی موجود است که کدام یک از عوامل مختلف اهمیت بیشتر دارد و یا کدام زودتر و یا دیرتر تأثیر داشته است.

معادن پرفیری در مناطق مختلف با وضعیتهای زمین شناسی گوناگون دیده شده اند از قبیل محیطهای ژئوسینکلینال (Geosynclinal) و یا رسوبات چین خورده یا چین نخورده و یا در قسمت مرکزی سپرها (Shield). پس مواد معدنی این معادن با قسمتهای بالائی پوسته زمین (Crust) ارتباطی ندارد.

علاوه بر این با در نظر گرفتن قابلیت حل مس نمیتوان انتظار داشت که میزان مس موجود در

محلولهای هیدروترمال بیش از دو هزار در سیلیون بوده است و بنابراین مقدار مسی که در یک معدن پرفیری معمولی موجود است (در حدود پنج میلیون تن) باید از حجم بزرگی (در حدود $10^9 \times 300$ تن) محلول هیدروترمال جدا شده باشد. از طرف دیگر اگر این مواد از ماگما (ماده مذاب اولیه سنگها) مشتق شده باشد که یک درصد آب و بیست در میلیون مس از دست داده است حجم ماگمای اولیه ۹۲ میلیون مترمکعب خواهد بود و نیز میدانیم که در حین تبلور و تفریق ماگما و فعل و انفعالات همراه آن ممکن است حجم عظیمی از ماگما آب و مس خود را از دست بدهد و باینجهت مبدأ ماگمایی را برای معادن مس پرفیری عده زیادی می پذیرند زیرا از طرف دیگر امکان اینکه محلولهای دارای مس از حجم بزرگی سنگهای جامد جدا شده باشند کم است (Rose ۱۹۷۰).

بنابراین مبدأ مواد معدنی ماگمایی و در قسمتهای عمیق پوسته زمین (Crust) و یا در جبهه (Mantle) باید باشد و بعلمی در این قسمتها در بعضی نقاط کره زمین یونهای فلزی بیشتر وجود دارند و از طریق گسلها و شکستگیهای بزرگ توده های سنگهای آذرین بالا نفوذ میکند و محلولهای هیدروترمال دارای یون فلزی نیز بخارج هدایت میشوند و بنابراین در یک ناحیه مینرالیزاسیون فلز مربوطه زیادتر بچشم میخورد مانند ناحیه مس در جنوب غرب ایالات متحده آمریکا (شکل ۴).



شکل ۴ - ناحیه مس جنوب غرب آمریکا و موقعیت معادن آن (اقتباس از اشیت ۱۹۵۹)

Rose (۱۹۷۰) با در نظر گرفتن رابطه انواع آلتراسیون و اثر درجه حرارت و وضعیت شیمیائی محیط برای تشکیل و پایداری کانیه های مختلف، جزئیات بیشتری را در مورد طرز تشکیل معادن مس پرفیری بررسی کرده است وی میگوید که سن نسبی آلتراسیون در دو منطقه آرژیلیک و پتاسیک چندان مشخص نیست ولی بیشتر تصور میرود که همزمان و بر اثر یک عامل بوجود آمده باشند. آزمایشهایی که در مورد تشکیل

و چگونگی پایداری و تعادل فلدسپات پتاسیک و کائولینیت و مسکویت شده است نشان میدهد که برای تشکیل و پایدار بودن فلدسپات پتاسیک باید درجه حرارت و نیز نسبت یونهای $\frac{K}{H}$ در محیط بالا باشد ولی برعکس برای مجموعه کانیهای آرژیلیک درجه حرارت و نسبت $\frac{K}{H}$ کمتر است. بنابراین اینکه در منطقه بندی آلتراسیون، پتاسیک در داخل و آرژیلیک در خارج قرار دارد در حقیقت نشان دهنده کمتر شدن درجه حرارت و نسبت $\frac{K}{H}$ از داخل بخارج است.

هنگام ورود محلولهای هیدروترمال به سنگهای اطراف، فعل و انفعالات شیمیائی که صورت میگیرد نسبت $\frac{K}{H}$ را در محیط تغییر میدهد ولی این تغییرات بعوامل گوناگونی بستگی دارد و نمیتواند توضیح قانع کننده ای برای تشکیل منطقه آلتراسیون آرژیلیک در اطراف و خارج منطقه پتاسیک باشد اما سرد شدن محلولهای هیدروترمال در حین جریان آنها بخارج ظاهراً پدیده ایست که میتواند آلتراسیون آرژیلیک را در خارج آلتراسیون پتاسیک بوجود آورد. سرد شدن محلولهای هیدروترمال ممکن است بر اثر یکی از این سه عامل باشد: هدایت حرارت (Conduction) بسنگهای اطراف، سرد شدن بر اثر انبساط سریع، و مخلوط شدن با آبهای سطحی.

هدایت حرارت توضیح قانع کننده ای نمیتواند باشد زیرا مقدار حرارت موجود بسیار زیاد است و محوطه خیلی وسیعی باید حرارت را جذب کند ولی ناحیه آلتراسیون آنقدر وسیع نیست و همچنین هاله حرارتی بتدریج از مرکز باطراف توسعه پیدا میکند و بنابراین در یک نقطه ابتدا آلتراسیون آرژیلیک بوجود خواهد آمد و سپس که درجه حرارت بالاتر رفت آلتراسیون آن نقطه پتاسیک خواهد شد ولی بطوریکه در بالا ذکر شد آلتراسیون پتاسیک از آرژیلیک جوانتر نیست.

سرد شدن بر اثر انبساط سریع و ناگهانی ظاهراً امکان دارد که عامل مؤثری باشد مخصوصاً که معادن نوع پرفیری اغلب در عمق کم تشکیل شده اند و فشار بخار و گازهای فرار ممکن است پوسته بالا را شکسته و خروج آنها باعث کم شدن فشار و سرد شدن ناگهانی شده باشد و همچنین در اغلب معادن پرفیری برش (Breccia) که بر اثر خرد شدن سنگها بوجود آمده دیده شده است. ولی در این مورد باز هم مقدار حرارتی که باید باطراف منتقل شود خیلی زیاد بوده و همان اشکالی که در بالا ذکر شد وجود دارد. مخلوط شدن با آبهای سطحی ظاهراً قانع کننده تر بنظر میآید. مطالعه ایزوتوپهای سرب و گوگرد مبدأ آنها را قسمتهای زیرین پوسته زمین نشان میدهد ولی ایزوتوپهای اکسیژن و هیدروژن اغلب منشأ کم عمق و آبهای سطحی را میسرانند بنابراین بنظر میرسد که آلتراسیون آرژیلیک در منطقه ای صورت گرفته که محلولهای گرم هیدروترمال با آبهای سرد سطحی مخلوط شده اند و مخلوط شدن این دو مایع مثلاً بطریق

کنوکسیون (Convection) و با بودن شکستگیهای موجود در سنگها نباید اشکالی داشته باشد و ممکن است که انبساط ناگهانی و انفجاری و همچنین مخلوط شدن با آبهای سطحی هردو با هم صورت گرفته باشد.

۸- ازدیاد ثانوی عیار و تشکیل قسمت سوپرژین

علت اصلی این پدیده هوا زدگی و اثرات دیگری است که آب باران و محلولهای سطحی ایجاد میکنند و در این فعل و انفعالات بعضی کانیهای قسمت سطحی تغییراتی یافته بقسمتهای دیگری حمل میشوند ولی باید بخاطر داشت که انتقال مس از سطح ببخش های عمیق زیرین از نظر شیمیائی چندان ساده نیست و عوامل گوناگونی از قبیل pH و Eh آب، مقدار اکسیژن، ایندريد کربنیک و سیلیس اهمیت زیادی در این فعل و انفعالات دارند ولی میتوان آنها را چنین خلاصه کرد که بر اثر اکسیژن هوا و یا اکسیژن محلول در آبها سولفورهای موجود در سنگهایی که در قسمتهای سطحی قرار دارند اکسیده میشوند و اسید سولفوریک و نیز سولفاتهای مس و آهن تولید میشود که اگر محیط مناسب باشد مس مزبور در آب حل شده به قسمتهای عمیق برده میشود و در آنجا که محیط احیا کننده ای موجود است مس در سولفورهای که یون مس کمتر دارند جایگزین میگردد. اگر در قسمتهای سطحی یونهای کربنات، و سیلیکات بمقدار نسبتاً زیاد وجود داشته باشد ممکن است مس بصورت مالاکیت، آزوریت و یا کریسوکل و یابشکل کانیهای دیگر در سطح باقی بماند ولی اغلب در حالتی که یون مس بپایین حمل میشود قسمتهای فوقانی بتدریج مس خود را از دست میدهند و پوششی با عیار کم (Leached cap) بوجود میآید و از طرف دیگر در قسمتهای پائین بتدریج مقدار مس زیادتر میشود و بخشی با عیار بیشتر تولید میگردد که قسمت پرعیار ثانوی یا سوپرژین (SuPergene) است. بنابراین چون عامل تشکیل بخش سوپرژین نفوذ تدریجی آبهای سطحی است طبیعتاً نمیتوان انتظار داشت که لایه ای با ضخامت مشخص و یکنواخت باشد بلکه در قسمتهائی که قابلیت نفوذ آب بیشتر بوده است پدیده ازدیاد عیار بهتر صورت گرفته است و در امتداد گسلها و شکستگیها و دایکها و بطور کلی در بخشهایی که آب بیشتر بپائین نفوذ داشته قسمت پرعیار هم تا عمق زیادتری توسعه یافته است. مثلاً در معدن سرچشمه در امتداد دایکها (که بعد از سینرالیزاسیون نفوذ کرده اند) قسمت پرعیار عمیق تر است.

قبلاً تصور میشد که حد تحتانی قسمت پرعیار سطح سفره آب (Water table) بوده است که باید تقریباً سطحی افقی باشد ولی اغلب مشاهده شده است که این سطح یکنواخت نبوده برعکس بیقاعده است و امروزه بیشتر عقیده دارند که محیط مناسب برای تشکیل قسمت سوپرژین آنستکه سطح سفره آب در قسمت

عمیقتر قرار داشته باشد که آبهای سطحی بتوانند تا عمق زیاد جریان یابند و درحین این عمل ازدیاد عیار بهتر صورت گیرد.

همچنین عده‌ای را عقیده براینست که مقدار اکسیرن لازم برای اکسیداسیون تنها با اکسیژن محلول در آب نمیتواند تأمین شود و اکسیژن هوا که در حفره‌ها و منافذ سنگ موجود است اهمیت زیادی دارد و عواملی از قبیل تغییر فشار جو باعث میشوند که هوا تا عمق زیاد و نزدیک سطح سفره‌آب مانند پمپ داخل و خارج شده و عمل اکسیداسیون تسهیل گردد.

پوشش کم عیار سطحی (Leached cap) معمولاً دارای مقدار زیادی اکسیدهای آهن و سیلیس است و بشکل بخشی «زنگ زده» متشکل از کوارتز میباشد و دارای منافذ و خلل و فرج زیاد است که بر اثر نفوذ آبهای سطحی بوجود آمده‌اند. آهن موجود در قسمت کم عیار از پیریت و کالکوپیریت و بعضی کانیه‌های دیگر مشتق شده است. پیریت باسانی بصورت سولفاتهای فرو درمیآید که خود نیز بسولفاتهای فریک تبدیل شده و سپس هیدرولیز گشته و اکسیدهای هیدراته آهن تشکیل میدهند و بالاخره مجموعه‌ای بنام لیمونیت بوجود میآید.

عده‌ای از محققین ادعا میکنند که با مطالعه مشخصاتی از قبیل رنگ و ساختمان لیمونیت موجود در قسمت کم عیار سطح زمین میتوانند نوع سولفورهای اولیه قبل از اکسیداسیون را تشخیص داده و حتی وجود مواد معدنی را در زیر قسمت سطحی پیش بینی کنند ولی بطوریکه در بالا نیز ذکر شد پدیده اکسیداسیون و فعل و انعالات دنباله آن اسری بسیار پیچیده است که با تحولات زمین شناسی ناحیه بعد از مینرالیزاسیون و نیز با میزان بارندگی و چگونگی فرسایش ناحیه بستگی دارد و در نقاط مختلف فرق میکند بنابراین معیارهای معمول در یک نقطه ممکن است در نقطه دیگری صدق نکند. کما اینکه یکی از متخصصین بازدیدی از معدن مس سرچشمه نموده بود و با آنکه در آن تاریخ وجود مس و نیز میزان اقتصادی آن بثبوت رسیده بوده است ولی وی اظهار داشته بود که مشخصات سطحی و ظاهر این معدن چندان تشویق آمیز نیست!

۹- استفاده از ژئوشیمی برای اکتشاف معادن پرفیری

طریقه معمول برای اکتشاف اغلب فلزات نمونه برداری سیستماتیک از خاک و اندازه گرفتن مقدار فلز موجود در آن میباشد. لایه خاک سطح زمین اغلب از تجزیه سنگهای متشکله در زیر همان نقطه بوجود آمده است و در بستر رودخانه‌ها و یا نقاط کوهستانی پرفراز و نشیب ممکن است خاک موجود از اطراف حمل شده و یا بیائین لغزیده باشد. سنگهای معمولی تشکیل دهنده قشر زمین مقادیری فلزهای گوناگون با خود همراه دارند که این مقدار در انواع سنگها متفاوت میباشد ولی میزان متوسط آن معلوم است و از حد معینی تجاوز نمیکند اما اگر در یک محل و یا در نزدیکی آن سنگهای مینرالیزه مثلاً دارای مس وجود داشته باشد

در خاک آن ناحیه نیز مقدار مس زیادتر خواهد بود که نسبت بمیزان متوسط و معمول در خاک تفاوت دارد و باینجهت آنومالی (Anomaly) نامیده میشود بنابراین اگر اتفاقاً کسی متوجه ناحیه مینرالیزه مزبور نشده و یا بخش مینرالیزه پوشیده باشد میتواند در ضمن نمونه برداری سیستماتیک بوجود آن پی برد.

معمولاً نمونه برداری برای کارهای ژئوشیمی در چند مرحله انجام میگردد.

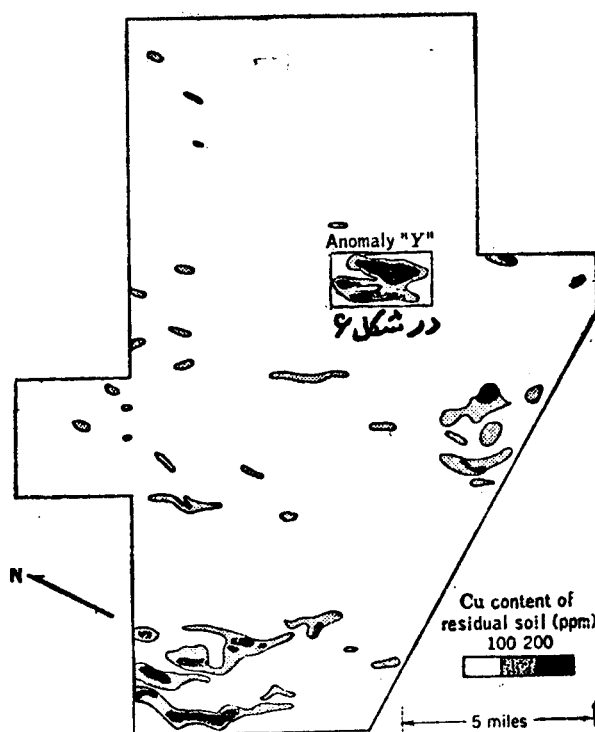
مرحله اول نمونه برداری رودخانه‌ای است که در هر نقطه از بستر رود و نیز از طرفین و بیرون رودخانه نمونه خاک برداشته میشود. خاک بستر ممکن است از مسافتی دورتر حمل شده باشد ولی خاک دو طرف نمودار موضعی میباشد. معمولاً در این مرحله تعداد کمتری نمونه از ناحیه بزرگی جمع‌آوری میشود تا هرچه زودتر اسکانات منطقه وسیعی بررسی گردد. معمولاً در هر کیلومتر مربع بطور متوسط در ۰ تا ۱ نقطه نمونه برداری میکنند تجزیه این نمونه‌ها ممکن است در بعضی موارد مقدار زیادی (آنومالی) مس و یا فلز دیگر نشان دهد که دلیل بوجود ناحیه مینرالیزه است.

در مرحله دوم اکتشاف ژئوشیمی، در اطراف نقاطی که در مرحله اول آنومالی دیده شده است از خط‌الراسها یعنی در امتداد بلندیهای ناحیه نمونه خاک برداشته میشود. خاک نقاط مزبور با احتمال قوی بر اثر تجزیه سنگهای زیرین همان نقاط تولید شده و نمودار مینرالیزاسیون محل است. در این مرحله در هر کیلومتر مربع تعداد ۲۰ تا ۳۰ نمونه جمع‌آوری میشود که تجزیه آنها منشأ اصلی آنومالی نمونه‌های رودخانه‌ای را مشخص تر خواهد کرد.

مرحله سوم اکتشاف ژئوشیمی، نمونه برداری دقیق‌تری است تا علاوه بر محل مینرالیزه حدود و وسعت آن نیز مشخص شود. در این مرحله بطور منظم و بشکل شبکه‌بندی ناحیه مورد نظر نمونه برداری میشود مثلاً در امتداد خطوطی بموازات یکدیگر که ۰.۵ یا ۱.۰ متر از هم دور هستند و در نقاطی روی این خطوط بفواصل ۲۰ یا ۵۰ متری نمونه خاک برداشته میشود بنابراین موقعیت این نقاط نسبت بیکدیگر تقریباً شطرنجی شکل میباشد و در هر کیلومتر مربع در حدود ۲۰ تا ۸۰ نمونه جمع‌آوری خواهد شد و باین ترتیب مناطق و بخشهای مینرالیزه کوچک و یا بزرگ بخوبی مشخص میگردد و میتوان محل حفاری و یا مطالعات بعدی را دقیقاً مشخص کرد.

این مراحل برای اکتشاف معادن پرفیری نیز ممکن است بهمین ترتیب مورد استفاده قرار گیرد. ولی در حله اول پیدا کردن نواحی آلتراسیون هیدروترمال با مطالعه سطحی نیز میسر است. مثلاً در نواحی کرمان آلتراسیون بیشتر در سنگهای آتشفشانی دوران سوم صورت گرفته است. سنگهای مزبور اغلب تیره رنگ بوده و بعلت سختی خود بصورت برجستگی و بلندی میباشند در حالیکه قسمتهای آتره که به سیلیس و کائولن تبدیل شده‌اند رنگ روشن متمایل بسفید دارند که اغلب بعلت اکسیداسیون سطحی بزرگ زرد و قرمز و «زنگ زده» بوده و نیز نسبت باطراف خود فرسایش بیشتری پیدا کرده کمی فرورفته میباشند. اغلب

میتوان این نواحی را که ممکن است از چند متر مربع تا چند کیلومتر مربع وسعت داشته باشد از نقطه بلندی دید و یا در عکسهای هوایی مشاهده کرد. اما وجود آلتراسیون هیدروترمال بتنهائی برای وجود مس کافی نیست چون ممکن است فقط مقدار کمی مینرالیزاسیون صورت گرفته یا بصورت سولفورهای غیر از مس باشد. نمونه برداری رودخانه ای، آلتراسیونهای مینرالیزه ای را که ممکن است قبلاً دیده نشده باشند مشخص خواهد کرد و در هر یک از نواحی آلتزه نیز که از ظواهر سطحی نمیتوان وجود مینرالیزاسیون مس را متوجه شد با نمونه برداری دقیق تر میتوان بوجود آن پی برد و همچنین میتوان فهمید که مینرالیزاسیون مس در چه قسمتهائی از ناحیه آلتراسیون است تا مطالعات بعدی و یا حفاری را در آن قسمتها متمرکز نمود. چنین مطالعاتی در زامبیا (افریقای مرکزی) توسط شرکت معدنی چارتر صورت گرفته و شکلهای ۵ و ۶ که از Hawkes and Webb (۱۹۶۲) اقتباس شده نشان میدهند که چگونه نمونه برداری در یک ناحیه وسیع آنومالی های مختلفی را مشخص میکنند (شکل ۵) و سپس با نمونه برداری دقیق تر در یکی از این آنومالیها

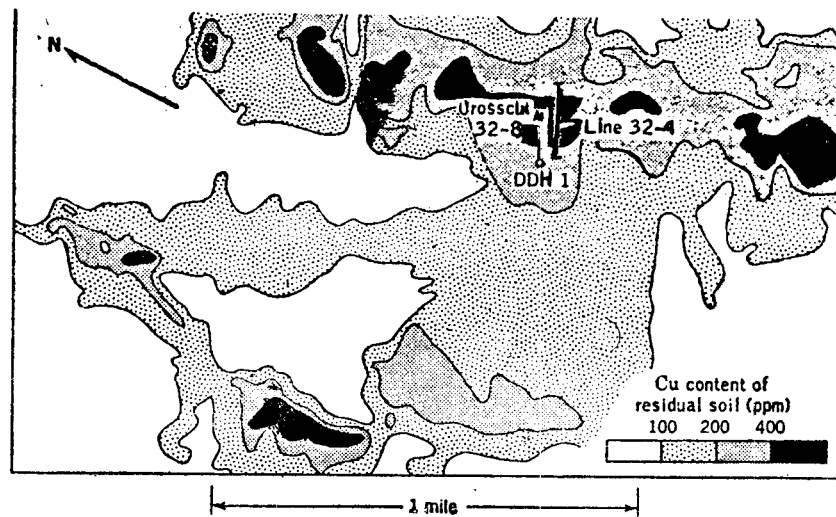


شکل ۵- نتیجه نمونه برداری ژئوشیمی «مرحله دوم» (بمثن این مقاله مراجعه شود) در ناحیه ای از زامبیا در افریقای مرکزی. هاشورهای مختلف مقدار مس موجود در خاک را (بیشتر از ۱۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ در میلیون) نشان میدهد. جزئیات بیشتر آنومالی «Y» در شکل ۶ نشان داده شده است (اقتباس از مدارک شرکت چارتر که توسط هوکس و وب ۱۹۶۲ گزارش شده است).

(شکل ۶) جزئیات آن بهتر معین میشود که بتوان محل ترانشه و حفاری را انتخاب نمود. مطالعاتی شبیه این نیز اخیراً در استان کرمان صورت گرفته است و در بسیاری از این نقاط مثلاً در دره لوا اهمیت نمونه برداری

ژئوشیمی بخوبی مشهود است. نقشه‌ها و گزارشهای این مطالعات در سازمان زمین شناسی کشور موجود میباشد.

شاید تصور شود در ایران که مخصوصاً در نواحی کوهستانی سنگها پوشیده نبوده بخوبی مشاهده میشوند نمونه برداری برای کارهای ژئوشیمی چندان مفید نباشد ولی نباید فراموش کرد که نمونه برداری «مرحله اول» میتواند با سرعت زیاد در ناحیه وسیعی عملی شود و برای اینکار احتیاج بزمین شناس مجرب و کار آزموده



شکل ۶ - نتیجه نمونه برداری ژئوشیمی «مرحله سوم» (بمن این مقاله مراجعه شود) در ناحیه ای از زامبیا در افریقای مرکزی. هاشورهای مختلف مقدار مس موجود در خاک را (بیشتر از ۱۰۰، بیشتر از ۲۰۰ و بیشتر از ۴۰۰ در میلیون) نشان میدهد. موقعیت این ناحیه که آنومالی «Y» نامیده شده با نواحی اطراف آن در شکل ه نشان داده شده است (اقتباس از مدارك شرکت چارترکه توسط هوکس و وب ۱۹۶۲ گزارش شده است).

نیست و همچنین پس از یکبار جمع آوری نمونه ها با تجزیه آنها میتوان مقدار موجود از عناصر گوناگون را اندازه گرفت و امکان وجود نواحی مینرالیزه را تقریباً روشن ساخت و نمونه برداریهای «مراحل دوم و سوم» نیز مخصوصاً برای مطالعه آلتراسیونها و اکتشافات معادن نوع پرفیری اهمیت زیاد دارد.

در اینجا از آقای مهندس نصرالله خادم رئیس سازمان زمین شناسی کشور که متن مقاله را مطالعه

نموده و نکاتی را تذکر داده اند سپاسگزاری مینمایم.

منابعی که در متن مقاله بآنها اشاره شده است

Creasey , S.C. , 1966 , Hydrothermal alteration : pp . 51—75 in : «Geology of the Porphyry Copper Deposits , Southwestern North America» (S. R. Titley and C. L. Hicks , Eds.) , The University of Arizona Press.

Hawkes , H.E. and Webb , J.S. , 1962 , Geochemistry in Mineral Exploration : 415 pp. , New York (Harper and Row).

Jerome , S. E. , 1966 , Some Features Pertinent in Exploration of Porphyry Copper Deposits:pp. 75—85 in: «Geology of the Porphyry Copper Deposits , Southwestern North America» (S.R. Titley and C.L. Hicks , Eds.) , The University of Arizona Press.

Lowell , J.D. and Guilbert , J. M. , 1970 , Lateral and Vertical Alteration—Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits : Economic Geology , Vol. 65 , No. 4 , pp. 373 — 408.

Rose , A . W . , 1970 , Zonal Relations of Wallrock Alteration and Sulfide Distribution at Porphyry Copper Deposits : Economic Geology , Vol . 65 , No . 8 , pp . 920 — 936.

Schmitt , H.A. , 1959,The Copper Province of the Southwest: Mining Eng. , Vol. 11 , pp. 597—600.

Stringham , B. , 1966 , Igneous Rock Types and Host Rocks Associated with Porphyry Copper Deposits : pp. 35—40 in : «Geology of the Porphyry Copper Deposits , Southwestern North America» (S. R. Titley and C.L. Hicks , Eds.) , The University of Arizona Press.