



وزارت  
مطالعات و فناوریات

سازمان زمین‌شناسی کشور

## روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی

### ذخایر معدنی

بوسیله:

الف. الف. بنوس

س. و. گریگوریان

مترجم: سیمین پرند

گزارش شماره ۶۲

۱۳۷۵

215/ans scope  
208/it/egKrubMac

سازمان زمین‌شناسی کشور

رئیس سازمان:

دکتر محمود احمدزاده هروی

### فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹	پیشگفتار
۱۳	دباجه مترجم
۱۵	روشهای اکتشافات ژئوشیمیائی ذخائر معدنی

### فصل ۱

۲۱	ترکیب شیمیائی زمین و ویژگیهای اصلی پراکندگی عناصر شیمیائی در پوسته زمین
۲۱	اطلاعات کلی
۲۵	ترکیب شیمیایی پوسته زمین
۳۲	فراوانی عناصر شیمیائی در سازندهای طبیعی استانهای ژئوشیمیائی
۴۱	شیوه‌های جایگیری (رخداد) عناصر شیمیائی در سنگها
۴۱	عناصر موجود در سنگهای آذرین بعنوان سازندهای ساختاری مستقل کانیها
۴۱	شکل ایزومورفی جایگیری عناصر در سنگهای آذرین

### فصل ۲

۴۷	مهاجرت ژئوشیمیائی عناصر
۴۷	عاملهای درونی مهاجرت
۵۲	عاملهای بیرونی مهاجرت
۶۲	عاملهای موثر در مهاجرت عناصر شیمیائی در زون سوپرژن

بهای هر جلد ۸۰۰۰ ریال

سازمان زمین‌شناسی کشور

صندوق پستی: ۱۴۹۴ - ۱۳۱۸۵ تهران - ایران

## فصل ۴

- کاربرد خصوصیات ژئوشیمیائی سنگها، در اکتشافات ژئوشیمیائی ..... ۷۷
- معیارهای تعیین خصوصیات ژئوشیمیائی ..... ۸۰
- نقشه برداری ژئوشیمیائی (ناحیه‌ای) کوچک مقیاس به عنوان روشی برای خصوصیات ژئوشیمیائی در حین اکتشاف ..... ۹۳

## فصل ۵

- هاله‌های ژئوشیمیائی نخستین کانسارها: کاربرد آنها در اکتشافات ژئوشیمیائی ..... ۱۰۱
- روش بررسی هاله‌های نخستین نمونه برداری، آماده سازی و تجزیه نمونه ها ..... ۱۰۲
- هاله‌های نخستین مربوط به توده‌های معدنی با شیب تند ..... ۱۲۸
- هاله‌های نخستین در مجاورت توده‌های معدنی با شیب ملایم ..... ۱۴۷
- زون بندی در هاله‌های نخستین ..... ۱۵۲
- هاله‌های چندسازندی ..... ۱۶۱
- برخی نمودهای ژئوشیمیائی در زون‌های با کانی سازی پراکنده ..... ۱۶۵
- معیارها و روشهای تعیین و تفسیر هاله‌های ژئوشیمیائی اندوژنیک ..... ۱۷۴

## فصل ۶

- هاله‌های لیتوژئوشیمیایی دومین سوپرژن (برین زاد) و رشته‌های پراکندگی کانسارها ..... ۲۰۳
- طبقه بندی هاله‌های دومین ..... ۲۰۵
- استانهای منظر- ژئوشیمیائی در اتحاد جماهیر شوروی ..... ۲۱۵
- روشهای اکتشافات ژئوشیمیائی با استفاده از هاله‌های پراکندگی دومین در خاک و در نهشته‌های سخت نشده ..... ۲۱۸
- رشته‌های پراکندگی کانسارها ..... ۲۲۲

## فصل ۷

- هاله‌های هیدروژئوشیمیائی کانسارها ..... ۲۴۳

## فصل ۸

- هاله‌های بیوژئوشیمیائی کانسارها و کاربردشان در اکتشاف ..... ۲۴۹

## فصل ۹

- هاله‌های جو- شیمیائی اتموشیمیائی کانسارها ..... ۲۶۵
- نمونه برداری از هاله‌های جو- شیمیائی و تجزیه شیمیائی گازها ..... ۲۶۹

## فصل ۱۰

- کاربرد روشهای ژئوشیمیائی با توجه به منظور و اهداف اکتشاف ..... ۲۷۳
- نقشه برداری زمین شناسی و اکتشاف در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ..... ۲۷۷
- بررسیهای تفصیلی در مقیاس ۱:۲۵/۰۰۰ - ۱:۱۰/۰۰۰ یا بزرگتر ..... ۲۷۹
- مرحله حفاری در اکتشافات معدنی ..... ۲۸۲

## فصل ۱۱

- روشهای آمار ریاضی مورد استفاده در اکتشافات ژئوشیمیائی ..... ۲۹۵
- برآورد آماری پارامترهای توزیع عناصر شیمیائی در سازندهای طبیعی برای اثبات نتیجه گیریهای ژئوشیمیائی ..... ۲۹۷
- تعیین قانون توزیع ..... ۳۰۶
- محاسبه حدهای نوسان در مقادیر عناصر ..... ۳۱۰
- روش ترسیمی برای تعیین تابع و پارامترهای توزیع عنصر ..... ۳۱۷
- تعیین همبستگی میان متغیرها ..... ۳۱۸
- همبستگی رتبه‌ای ..... ۳۲۳
- فرهنگ اصطلاحات ..... ۳۲۹
- لغت نامه ..... ۳۳۲



## پیشگفتار

ژئوشیمی یکی از اصلی‌ترین شاخه‌های علوم زمین است. در این شاخه به چگونگی و قوانین حاکم بر توزیع و پراکندگی، و نیز جابجایی و مهاجرت عناصر شیمیایی در زمین (از جمله جو آن) پرداخته می‌شود. با توجه به این که جابجایی و مهاجرت و تمرکز یا عدم تمرکز عناصر شیمیایی تابعی از شرایط ترمودینامیکی در نقاط مختلف زمین است، پس کلیه قانونمندیهای ژئوشیمی در چهارچوب روابط ترمودینامیکی عمل می‌کنند. در سالهای اخیر ژئوشیمی، همچون بقیه شاخه‌های علوم زمین، دستخوش تحولات چشمگیری شده و به پیشرفت‌های شایان اهمیتی نایل آمده است. در این تحولات پیشرفت تکنولوژی وسایل آزمایشگاهی، استفاده از روش‌های ریاضی و به کار گرفتن انبوه عظیم اطلاعات رقمی با استفاده از کامپیوترها، و برپا داشتن مدل‌های نظری از قبل تعیین شده بر اساس روابط ریاضی پیشرفته، نقش مهمی را ایفا کرده‌اند. ژئوشیمی همچون شاخه‌ای از علوم زمین (زمین‌شناسی) با سایر شاخه‌های گوناگون این علوم ارتباطی تنگاتنگ دارد. امروزه از مطالعات ژئوشیمیایی در امر:

۱) شناسایی و تفکیک نحوه و چگونگی پیدایش سنگهای گوناگون و تغییرات فیزیکوشیمیایی آنها (دگرگونی)،

۲) شناخت محیط و شرایط حاکم در تشکیل رسوبات مختلف طی ادوار زمین‌شناسی،

۳) تعیین سن مطلق سنگ‌ها در مسایل چینه‌شناسی- به ویژه هنگامی که روش‌های دیگر (مثلاً دیرینه‌شناسی) موثر نیستند،

۴) بررسی ساختمان‌های فیزیکی موجود در زمین و نحوه شکل‌گیری آنها،

۵) تحلیل محیط زیست انسان و مسایل و مشکلات آلودگی هوا، آب و خاک،

۶) کوشش در جهت پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها،

۷) مسایل کشاورزی و شناخت خاکهای سطح الارضی،

۸) انباشت ذخایر معدنی و چگونگی تمرکز و تجمع آنها،

و بسیاری از فعالیتهای دیگر استفاده‌های فراوان می‌شود.

اهمیت این شاخه از علوم زمین بر کسی پوشیده نیست، چرا که نه تنها به صورت جزء لاینفکی از شاخه‌های علوم پایه به شناخت زمین-سیاره‌ای که انسان بر آن زندگی می‌کند- کمک می‌کند، بلکه یکی از عمده‌ترین شاخه‌های علوم کاربردی در زمینه بهتر ساختن شرایط زیست انسان را تشکیل می‌دهد. در زمینه دا، نه فعالیت‌های علم ژئوشیمی ما به نکات زیر اشاره خواهیم کرد:

### در سنگ‌شناسی؛ کانی‌شناسی

شناخت مناسک‌های تشکیل‌دهنده زمین مستلزم شناخت کانی‌های آنها و لاجرم مستلزم شناخت عناصر تشکیل‌دهنده آنهاست. این شناسایی در دایره علم ژئوشیمی قرار دارد. کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگها در نقاط مختلفی شکل می‌گیرند که منابع متفاوتی از عناصر شیمیایی هستند. این که در این محل معین چه دسته از کانی‌ها به وجود می‌آیند تابعی است از آن که در آن محل چه عناصری موجود است. و نیز با توجه به این که در هر محل شرایط -تاریخی و فشاری ویژه همان محل حاکم است پس ارتباطات و روابط لازم برای توانایی ترکیب و یا عدم ترکیب عناصر مختلف شیمیایی نیز تفاوت خواهد کرد. بر اساس شناخت تجمع عناصر شیمیایی در یک محل، و نیز روشن ساختن قوانین ترکیب و جدایش آنها، سنگ‌شناسان به شناسایی فراگردهای پیدایش، خاستگاه، و سپس تاریخ تکامل سنگها می‌پردازند و ماهیت آنها را متمایز می‌سازند. بسیاری از سنگها پس از تشکیل دستخوش تغییرات دگرگون‌کننده بعدی می‌شوند. بررسی دگرگونی سنگها که با مهاجرت عناصر شیمیایی، تحت شرایط فیزیکی شیمیایی خاص خود، انجام می‌گیرد نیز در حوزه فعالیت‌های ژئوشیمی قرار دارد.

### در رسوب‌شناسی؛ کشاورزی

انباشته شدن رسوبات که خود حاصلی از فراگردهای فرسایشی است، تابعی است از سیستم‌های ژئوشیمیایی حاکم در محل رسوبگذاری. این که چه عناصری از کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگها اشتقاق می‌یابند، این که در چه محلی می‌توانند- و یا نمی‌توانند- انباشته شوند، این که تحت چه قانونمندیهای فیزیکی و شیمیایی با هم در بی‌آمیزند، همه مباحثی هستند که در حیطه کار علم ژئوشیمی است. مطالعات ژئوشیمی در این زمینه به درک محیط رسوبگذاری و شرایط تشکیل رسوبات- از جمله طبقات ذغال‌سنگ، که خود به صورت معدنی در استفاده واقع می‌شود- می‌انجامد. با همین مطالعات است که به منشأ خاک‌ها پی برده می‌شود و برای مایل کشاورزی که در رابطه نزدیک با خاک قرار دارد پاسخ گفته می‌شود.

### در چینه‌شناسی و مطالعات تاریخ تکامل زمین

رویدادهایی که تاریخ زمین را تشکیل می‌دهند در چهارچوب مفهوم زمان حادث می‌شوند. زمان تشکیل سنگها و رویداد های دیگر زمین‌شناسی از مهم‌ترین اجزاء تشکیل‌دهنده تاریخ زمین و سایر اجزاء

### دیباچه مترجم

کتاب روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی را مترجم انگلیسی که خود از دست‌اندرکاران ژئوشیمی در دنیای غرب است، بخوبی معرفی کرده و شیوه‌های متفاوت آن را مورد بررسی قرار داده است. نویسندگان کتاب نیز شرحی در این باره آورده‌اند که مترجم را از پرداختن بدین امر معاف می‌دارد.

بخش‌هایی از این کتاب را مؤلفین دانشگاهی ایران در کارهای خود مورد استفاده قرار داده‌اند ولی خود کتاب به طور جامع و کامل با نام و نشان و مشخصاتش، در اختیار خوانندگان فارسی زبان قرار نگرفته است. چنین بود که سازمان زمین‌شناسی کشور بر آن شد کتاب روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی را به فارسی درآورد تا هم ارباب دانش را در ایران از آن بهره‌مند گرداند و هم پژوهشگران سازمان زمین‌شناسی شیوه‌های آن را مد نظر قرار دهند و احتمال بکارگیرند. این مهم به اینجانب محول شد، تا ترجمه حاصل را تقدیم فارسی‌زبانان اهل دانش بنمایم.

آقای مهندس حسین تدین از نظر فنی، و خانم رفعت صفی‌نیا نائینی و آقای مهندس کرامت‌الله علی‌پور هر کدام بخشی از متن را از نظر ادبی ویراسته‌اند. آقای دکتر عبدالرحیم هوشمندزاده مشوق من بوده و مرا در این کار یاری داده‌اند. سرکار خانم مارینا سیمونیان، ویرایش نهایی و زحمات عمده چاپ را به عهده داشته‌اند که در اینجا از ایشان قدردانی می‌کنم.

سیمین پرنده

## روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی دخاتر معدنی

مهمترین مبنای پی‌گردی و اکتشافات ژئوشیمیایی که در این کتاب مورد بحث قرار می‌گیرد، مبتنی بر تجاربی است که در شوروی و جاهای دیگر در ده ساله اخیر بدست آمده است. نظام توزیع عناصر شیمیایی در سنگهای پوسته زمین و عوامل مهم موثر در مهاجرت و تمرکز عناصر در طی فرآیندهای طبیعی، مبنای تئوریک تکنیکهایی را تشکیل می‌دهد که در اکتشافات ژئوشیمیایی بکار رفته است. در بحث مربوط به اصول تئوریک فوق، تاکید ویژه بر جمع منطقی تکنیکهای ژئوشیمیایی با روشهای دیگر است که در حل مسائل بخصوص در مراحل مختلف اکتشافات بکار گرفته شده است. فصل ویژه‌ای از کتاب مربوط به کاربرد آمار در اکتشافات ژئوشیمیایی است. این کتاب برای زمین‌شناسانی که دست‌اندرکار اکتشافات معدنی هستند و نیز دانشجویان رشته زمین‌شناسی، نوشته شده است.

### پیشگفتار اول

ژئوشیمی اکتشافی، آنچنانکه امروز آنرا می‌شناسیم، طی سالهای دهه ۱۹۳۰ از اتحاد جماهیر شوروی، پای گرفته است. در اواخر دهه ۱۹۴۰ و اوایل دهه ۱۹۵۰، تلاشهای مقدماتی در استفاده از ژئوشیمی اکتشافی، در کشورهای غربی، بر پایه تکنیکهایی بود که برای اولین بار در شوروی گسترش یافته بود ولی در این تکنیکها تغییراتی داده شد تا برای شرایط محیطی دیگر، نظیر شرایطی که در مناطق حاره‌ای وجود دارد، سازگار افتد. از همان ابتدای کار، روشهای ژئوشیمیایی در اکتشاف ذخایر معدنی در شوروی و نیز بقیه کشورهای دنیا حتی اهمیت بیشتری یافت. بیش از اینها می‌توان از همکاران روسی آموخت. جای تاسف است که تنها دو کتاب در مورد ژئوشیمی اکتشافی از روسی به انگلیسی ترجمه شده است. اشاره من به دو کتابی است که به ترتیب بوسیله جینز برگ (I. I. Ginzburg) در سال ۱۹۶۰ و مالیوگا (D. P. Malyuga) در سال ۱۹۶۴، منتشر شده است. گرچه مقاله‌های ترجمه شده جداگانه‌ای از

ژئوشیمیستی شوروی بویژه در Geokhimiya و Geochemistry International، و شاید یک دوجین مقاله یا بیشتر به انگلیسی در مجموعه مقاله‌های کنگره‌ها و کنفرانس‌های گوناگون منتشر شده است. ولی غریبه در رابطه با فصل ۱۱، تکنیکها و پیشرفتهای ژئوشیمیست‌های روسی در بیست سال اخیر، تا حدود زیادی بی‌خبر بوده ...

کتاب - اضربه که مبتنی بر اطلاعات روز است، و برای اولین بار در دسامبر ۱۹۷۵ منتشر شد، تا حدود زیادی این تازمه را مرتفع ساخته است. در عین حال، به بیشتر ژئوشیمیست‌های اکتشاف، ترندهایی از این رشته را نشان خواهد داد که پیش از این در غرب هرگز مورد توجه قرار نگرفته است.

اگر نگویم «بچکس» نادراند کسانی که بتوانند به شایستگی پروفیسور بئوس و دکتر گریگوریان، تجارب بدست آمده در شوروی و تکنیکهای مربوط به آنها را در چنین کتاب مرجعی تدوین کنند. پروفیسور بئوس، پروفیسور ژئوشیمی در انستیتوی پلی تکنیک مسکو است. علاوه بر این ایشان هفت سال نظارت فنی برنامه‌های سازمان ملل را برای توسعه منابع معدنی در کشورهای در حال رشد برعهده داشته‌اند. پروفیسور بئوس (از نظر تئوری و عملی) یکی از برجسته‌ترین ژئوشیمیست‌های اکتشاف شوروی بشمار می‌آید. دکتر گریگوریان معاون انستیتوی کانی‌شناسی، ژئوشیمی و شیمی بلور (کریستالوشیمی) عناصر کمیاب در مسکو هستند و هم چنین یکی از برجسته‌ترین ژئوشیمیست‌های شوروی که گرایش ویژه به آنچه در غرب «ژئوشیمی سنگ» خوانده می‌شود دارند، بشمار می‌روند. تبحر و روشن بینی این دو برکسانی که کتاب حاضر را می‌خوانند شکار خواهد شد. بنابراین سخن بیشتر در باره اعتبار علمی این دو زائد است.

در حدود یک سوم این کتاب به ژئوشیمی سنگ مربوط می‌شود و این در حالی است که مباحثی چون اکتشاف در و هم‌ای بیخسته (Glaciated terrain) طبقه بندی خاک، و برخی تکنیکهای تجزیه‌ای (مثل جذب اتمی). اگر نگوئیم هیچ - بزحمت یاد شده است. از سوی دیگر، افزون بر تأکید بر ژئوشیمی سنگ، بر سدهای ژئوژئوژن، تمایز میان هاله‌های نخستین فوق کانساری و زیر کانساری و دیگر موضوعاتی که در کتابهای مرجع ژئوشیمی اکتشاف به انگلیسی نیامده است، در این کتاب تأکید شده است. دلیل این نبود توازن به سادگی قابل توجیح است چرا که این نویسندگان، چنانکه در این پیشگفتار آمده است، عالماً و عامراً بر موضوعاتی تأکید نداشته‌اند که کتابهای منتشر شده در شوروی (دو کتاب اصلی ژئوشیمی و اکتشافی به زبان انگلیسی در دسترس دانشمندان شوروی است) از آنها یاد نشده است. در نتیجه این کتاب که می‌تواند بعنوان مکملی برای کتابهای مرجع موجود بشمار آید، تأکید بر موضوعاتی جدید به صورت کتاب مرجع برای ژئوشیمیست‌های شوروی، و نهایتاً مرجعی جدید برای ژئوشیمیست‌های انگلیسی زبان است.

گرچه من (جم. رمن ویراستار انگلیسی) سعی کرده‌ام که معنی و مفهوم جزئیات زبان روسی را برای ارائه یک ترجمه سطح بدست آوریم، ولی ممکن است در همه موارد موفق نشده باشیم. برای مثال، برخی از بخشهای فصل ۵ در دشوار یافتن که تا حدی به علت این واقعیت بود که مفاهیم ارائه شده برایم تازه داشت. در جهت رفع این دشواریها، هنگامی که پروفیسور بئوس موافقت نمودند تا ترجمه ۱۰ فصل اول کتاب را بطور کامل خواننده توجیح‌ها و اصلاحات لازم بنمایند، بسیار شاد شدم. در همین روال، دکتر گریگوریان به

سوالاتی که از ایشان از طریق مکاتبه می‌شد، جواب دادند. ویرایش فصل ۱۱ بوسیله دکتر ر. ب. مک‌کامن - از سازمان زمین‌شناسی آمریکا، استون، ویرجینیا - انجام شد، که متخصص کاربرد آمار در زمین‌شناسی است. بیشتر این ترجمه در طول فرصت مطالعاتی از دانشگاه کلگری (Calgary) به انجام رسیده است. از همکاری پروفیسور بئوس، دکتر گریگوریان و دکتر مک‌کامن پیش از این یاد شده است و در اینجا رسماً از ایشان قدردانی می‌شود. از خانم بورلی الف - راس برای تحریر و مقابله متون، به ویژه تشکر می‌شود. و سرانجام از پیشکشی خانم ریتا تراک شیندر، مترجم کتاب (روسی به انگلیسی) به این پروژه قدردانی می‌کنم.

الف - الف لوینسون

ویراستار فنی

فوریه ۱۹۷۷

### یادداشت ویرایشی

در سراسر این کتاب به شیوه مرسوم شوروی و به علت آنکه بسیاری از جدولها و معادلات از روی نسخه‌های کتاب روسی تصویربرداری شده است: ۱- برای نوشتن ارقام اعشاری بجای نقطه از کاما استفاده شده است. ۲- lg بجای log بکار رفته است.

همه عکسها از روی یک نسخه منتشر شده کتاب کپی برداری شده است. بنابراین برخی از شکلها ممکن است به روشنی ترسیمهای اصلی نباشد.

### پیشگفتار دوم

روشهای ژئوشیمیایی که در ۱۹۳۰، در اتحاد جماهیر شوروی برای پی‌گردیهای معدنی بکار می‌رفت، اکنون در این کشور و کشورهای دیگر، برای اکتشافات زمین‌شناسی به صورت امری ضروری درآمده است. این روشها در حال حاضر وسیله‌ای بسیار سودمند و موثر در دست زمین‌شناسان اکتشاف است و عملاً در همه مراحل جستجو برای ذخایر معدنی بکار گرفته می‌شود. حال نه تنها می‌توان در برونزدها به دنبال ذخایر معدنی گشت، بلکه می‌توان به اکتشاف مستقیم ذخایر نهفته و کانسارهایی دست یازید که یا هنوز نمایان نگشته و یا بوسیله انواع گوناگون مواد سخت شده، پوشیده شده‌اند.

روشهای ژئوشیمیایی اکتشاف برای ذخایر معدنی در طول دهه اخیر، با رشدی سریع گسترش یافته است. اصول علمی که این روشها بر پایه آنها بنا شده‌اند، پیوسته در حال بهتر شدن است.

گسترش مسائلی که حل آنها نیازمند کاربرد صورتهای گوناگون تکنیکهای ژئوشیمیایی است، بطور پیوسته وسعت یافته است.

کاربرد روشهای ژئوشیمیایی در اکتشافات زمین‌شناختی در مقیاس بزرگ، به پیشرفت علمی و تکنولوژیکی زمین‌شناسی می‌انجامد و منجر به موفقیت شایانی در پی‌گردی ذخایر معدنی جدید می‌گردد. این نکته با دستورالعمل‌های بیست و چهارمین کنگره CPSU مطابقت دارد، که زمین‌شناسان را به کاربرد



دست‌آوردهای علمی و تکنولوژیک، توصیه می‌کند تا از این رهگذر اکتشاف زمین‌شناختی را سرعت بخشیده و هزینه‌های آن را کاهش دهد.

شمار بسیاری از زمین‌شناسان شوروی که با جنبه‌های معینی از اکتشافات ذخایر فلزی یا غیرفلزی سروکار دارند، چنان دیدند که از روشهای ژئوشیمیایی مدد گرفته و این روشها را برای حل عملی مسائل گوناگون بکار برند. با اینهمه، نبود کتاب راهنمای عملی در این زمینه، اکثراً مانعی در کاربرد موفقیت‌آمیز این روشها بوده است.

بدین طریق کتابی ضرور می‌افتد تا تجاربی را که در باره روشهای گوناگون ژئوشیمیایی انباشته شده، بگونه‌ای خلاصه، در خود منعکس داشته و در شوروی و کشورهای دیگر مورد استفاده قرار گیرد و راه و رسم کار را بنمایاند. از سوی دیگر چنین کتابی می‌بایستی بر مباحث تئوریک سطح بالای ژئوشیمی بنیادی انطباق داشته باشد.

نویسندگان که تدریس دانشجویان غیربومی را در دوره آموزشی «ژئوشیمی و پی‌گردیهای ژئوشیمیایی» در زمانی بیش از ۵ سال بر عهده داشته‌اند، بدین نتیجه رسیدند که عدم وجود چنین کتاب راهنمایی سبب شده است که زمین‌شناسان اکتشاف توانایی‌های لازم را نداشته باشند. این کتاب اساساً برای چنین اشخاصی نوشته شده است.

استفاده دقیق و موثر از روشهای ژئوشیمیایی بدون شناخت الگوهای پخش (توزیع) عناصر شیمیایی در ناحیه‌های سطحی پوسته زمین یا بدون شناخت قوانین مهاجرت عنصری در شرایط اندوژنیک، غیرممکن است. به این دلیل است که نویسندگان این کتاب، لازم دیدند پیش از ورود به مباحث ویژه ژئوشیمی کاربردی، به بحث پیرامون تازه‌ترین مطالب در مورد ترکیب شیمیایی پوسته زمین و قوانین اصلی توزیع (پخش) عناصر شیمیایی در سنگها پرداخته و مفاهیم اصلی مهاجرت ژئوشیمیایی عناصر را تعریف کنند. موضوعی که مبانی اصلی اکتشاف ژئوشیمیایی را روشن می‌کند بر طبقه‌بندی پذیرفته شده جهانی منطبق است و روشهای پی‌گردیهای ژئوشیمیایی را بر پایه مواد بکار رفته در پیمایشهای ژئوشیمیایی (برای مثال، خاکها، سنگها، آب) بدست می‌دهد. از آنجا که منابع چندانی در باره روشهای اکتشافی گوناگون ذخایر معدنی (کانسارها) مبتنی بر کاربرد هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین در دست نیست، نویسندگان بر آن شدند بر این موضوع تاکید ویژه‌ای داشته باشند. هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین (aureoles) بعنوان معیارهای اصلی بشمار می‌آیند که بایستی در همه مراحل جستجو اکتشاف نهایی ذخایر معدنی بکار گرفته شوند.

کاربرد موفقیت‌آمیز روشهای ژئوشیمیایی به استفاده ترکیبی روشهای پی‌گردی گوناگون، و نیز به اجرای دقیق آنها بستگی دارد. بنابراین، فصل ویژه‌ای که با بحثی از مواد بکار رفته در هر یک از روشها پایان می‌رسد، به این مسائل می‌پردازد. در پایان کتاب روشهای مقدماتی پردازش آماری داده‌های ژئوشیمیایی ارائه شده است. هر زمین‌شناسی که با پی‌گردی ژئوشیمیایی برای ذخایر معدنی سروکار دارد می‌بایستی این روشها را بداند.

فصل‌های ۱ تا ۴ و نیز ۸ و ۹، بوسیله بئوس و فصلهای ۵ و ۷ بوسیله گریگوریان نوشته شده است. فصلهای ۶ و ۱۰ و ۱۱ را هر دو نویسنده بطور مشترک نوشته‌اند.

نویسندگان به این امر واقفند که کتاب بدور از کاستی‌ها نیست. بنابراین آنان از هر گونه انتقاد سازنده‌ای استقبال می‌کنند. ابراز عقاید می‌بایستی به نام و نشانی نویسندگان:

Care of the chair of Mineral deposits, Faculty of mining

All-Union correspondence polytechnical Institute

Pavel kor chagin street No. 22, Moscow, USSR.

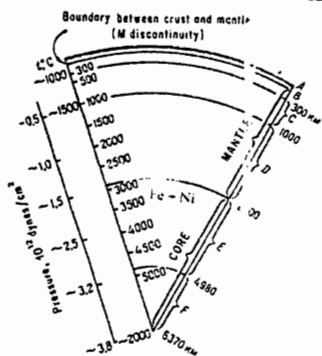
فرستاده شود.

## فصل ۱

### ترکیب شیمیائی زمین و ویژگیهای اصلی پراکندگی عناصر شیمیائی در پوسته زمین

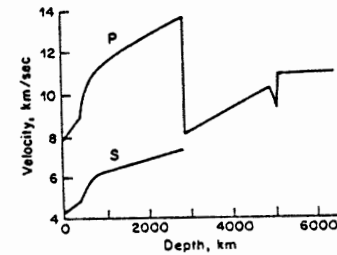
#### اطلاعات کلی

تنها سرچشمه آگاهیهای مستقیمی که درباره ترکیب شیمیائی قشر بیرونی زمین در دسترس است، ترکیب سنگهایی است که در سطح زمین نمایانند. ترکیب شیمیائی ژرفنایهای زمین بر پایه بررسیهای ژئوفیزیکی، بویژه لرزه‌شناسی تعیین گردیده است. بر پایه این دانسته‌های غیرمستقیم، زمین دارای یک ساختار زونی هم مرکز (در قشرها) بوده و به پوسته، پوشه (زیرین و زیرین)، هسته (بیرونی و درونی) تقسیم شده، که این تقسیم‌بندی در شکل ۱ نشان داده شده است.

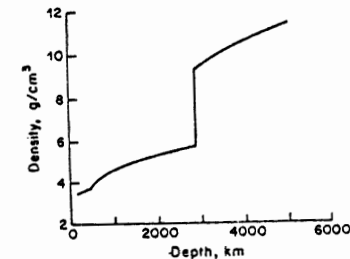


شکل ۱. قشرهای مختلف زمین (از وینوگرادوف)  
 A- پوسته زمین B- پوشه بالائی (اولیوین، پروکسن)، مرز میان پرسته و پوشه (M نایوستگی) C- لایه گذار،  
 D- پوشه زیرین: FeO, MgO و SiO<sub>2</sub> و اکسیدها می‌باشد (فشرده‌ترین حالت قرارگرفتن اتمهای اکسیژن) E- هسته  
 بیرونی F- هسته درونی.

بخش پذیری زمین به قشرهای مختلف، برای نخستین بار از بررسی توزیع منظم چگالی مواد سازنده قشرهای مختلف آن و همچنین بوسیله پایداری تغییرات سرعت امواج زمین لرزه نسبت به ژرفا (شکل ۲) آشکار شده است. چگالی میانگین زمین که  $0.004 \pm 5.017$  گرم بر سانتی متر مکعب است، بسیار بیشتر از چگالی پوسته آن می باشد که این خود نشانه آن است که مواد موجود در درون زمین نسبت به مواد سازنده پوسته دارای چگالی بسیار بالاتری است (شکل ۳). با اینهمه، تاکنون هیچگونه توضیحی درباره واقیعت افزایش چگالی با افزایش ژرفا داده نشده است. این ممکن است به سبب فشردگی ساختمان اتمی مواد بر اثر فشار بسیار زیادی باشد که در درون زمین حکمفرماست. یا آنکه تغییراتی در ترکیب شیمیایی یکایک قشرها باعث آن شده باشد. به احتمال، هر دو عامل یاد شده تا اندازه ای در افزایش چگالی مواد با ژرفا دخالت دارد، ولی نقش کمی آنها همچنان نامشخص باقی می ماند. این خود دلیلی بر ناهماهنگی عمده در کوششهایی است که برای ترسیم مدل های فرضی ترکیب شیمیایی قشرهای ژرف زمین شده است.



شکل ۲- سرعت فشاری (P) و برشی (S) امواج لرزه ای در درون زمین (از: بالن)



شکل ۳- توزیع چگالی در درون زمین (از: بالن)

برای مثال، با در نظر گرفتن چگالی زیاد هسته زمین، بسیاری از پژوهشگران هنوز بر این باورند که هسته، همانند آنچه در شخانه های آهنی یافت می گردد، بیشتر مرکب از آلیاژ آهن و نیکل است. بنابراین آخرین دانسته های تجربی که بستگی چگالی به فشار را نشان می دهد، این فرضیه را که هسته زمین از آهن خالص است، رد می کند. یا چگالی که در فشارهای بالا، حدود چند میلیون اتمسفر، برای آهن

بدست آمده است، با دانسته های ژئوفیزیکی مطابقت ندارد (دمنیسکایا ۱۹۶۷). برخی از انتقادهایی که بر فرضیه آهن-نیکل بودن هسته زمین وارد می شود، اینست که ترکیب شیمیایی هسته اساساً همان ترکیب پوشه زیرین است و چگالی زیاد آن به پدیده های فلزی شدن مواد در اثر فشار بسیار زیاد وابسته است. بتازگی یک سری آگاهی های تجربی درباره خواص فیزیکی آلیاژهای آهن-سیلیسیم و آهن-سولفید در فشارهای مربوط به این آلیاژها، در هسته زمین بدست آمده است. چنین دریافته اند که در این شرایط آلیاژی از آهن-سیلیسیم که شامل ۱۴ تا ۲۰ درصد وزنی سیلیسیم باشد، از نظر چگالی و سرعت موج فشاری، همانند ماده ای است که هسته را می سازد. آگاهی های همانندی نیز در مورد سولفیدهای آهن بدست آمده است. این برآوردها بایستی با احتیاط در نظر گرفته شود، زیرا تبدیلات فازی متفاوت و ذوب (بر اساس مدرک زمین لرزه شناسی، هسته بیرونی به حالت مایع است) در گسترش این فرضیه بحساب آورده نشده است.

با توجه به اینکه هسته  $31/5$  درصد کُل جرم زمین را تشکیل می دهد، غیرممکن است، مدل رضایت بخش و معقولی که نشان دهنده ویژگی های ترکیب شیمیایی میانگین زمین باشد، ساخته شود، مگر آنکه مسأله ترکیب هسته زمین حل گردد. همه مدل های موجود در مورد ترکیب شیمیایی میانگین زمین، بر پایه فرضیه آهن-نیکل بودن هسته استوار است.

ترکیب شیمیایی پوشه زیرین که در ژرفای ۲۹۰۰ کیلومتری، بوسیله سطحی با تغییر ناگهانی در سرعت موج لرزشی فشاری (شکل ۲) از هسته جدا می شود، نیز بهمان میزان فرضی است. فرض بر این است که ترکیب شیمیایی پوشه زیرین تقریباً همانند ترکیب سنگ های پوسته ای اولترابازی یا بازی می باشد. از همانندی ترکیب میانگین پوشه زمین با کوندوریت ها فرضیه دیگری حاصل می شود. برخی از پژوهشگران پیشنهاد کرده اند که ممکن است مقادیر زیادی از سولفورهای فلزی سنگین در پوشه زیرین موجود باشد، ولی هیچگونه تائید معتبری بر این فرضیه در دست نیست. در فشارهای خیلی بالا، اکسیدهای سازنده ماده پوشه زیرین بایستی دارای گروه های اکسیژنی بسیار چگالی باشند.

آندرسون<sup>۱</sup> و همکارانش (۱۹۷۲)، با بررسی تجربی خواص فیزیکی کانی های در فشارهای بالا، موفق شدند مدلی را برای ترکیب شیمیایی پوشه زیرین، بر پایه تفسیری از سرعت امواج زمین لرزه در پوشه و چگالی میانگین مواد پوشه، پیشنهاد دهند. بر مبنای کار آنها، پوشه زیرین ترکیبی است از (مقادیر مولی)  $SiO_2 + 0.50 FeO + 0.18 MgO + 0.32$  در صورتی که احتمال وجود اکسیدهای عناصر دیگری (چون آلومینیم) در پوشه زیرین داده می شد، این مدل می توانست از اعتبار بیشتری برخوردار باشد.

مرز میان پوشه زیرین و زیرین در ژرفای هزار کیلومتری واقع است. دانسته های موجود از بررسی های لرزه شناسی، نشان می دهد که ساختار پوشه بالایی ناهمگن بوده و در ژرفای حدود ۴۰۰ کیلومتری بوسیله سطحی با یک تغییر ناگهانی در چگالی و سرعت موج زمین لرزشی، به دو لایه تقریباً مساوی تقسیم می گردد. علت این ناپوستگی در خواص فیزیکی ممکن است تبدیلهای فازی باشد. قشری از زمین که لایه با سرعت کم (برای امواج زمین لرزه) و یا استتوسفر نامیده می شود، در درون پوشه بالایی در ژرفای ۷۰ تا ۸۰ کیلومتری

## ترکیب شیمیایی پوسته زمین

نایبوستگی میان پوسته و پوشه بالایی زمین، سطح موهوروویچی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. این سطح با تغییر ناگهانی سرعت فشاری (۷/۸ تا ۸/۴ کیلومتر بر ثانیه) و برشی (تا ۳/۴ کیلومتر بر ثانیه) امواج لرزشی مشخص می‌گردد. سطح موهوروویچی در ۳۰ تا ۳۵ کیلومتری زیر قاره‌ها قرار گرفته است، در واقع شکل آن به علت برآمدگی‌ها و فرونشست‌ها در پوسته زمین، حالت پیچیده‌ای به خود گرفته است\*.

پوسته زمین شامل سه زمین‌کره (ژئوسفر) است، که در ترکیب شیمیایی و حالت فیزیکی با هم متفاوت، و عبارتند از: لیتوسفر، ئیدروسفر و اتمسفر. لیتوسفر یا قشر سنگی زمین مهمترین موضوع بررسی زمین‌شناسان در پی‌گردی و اکتشاف کانسارهاست.

لیتوسفر نیز به نوبه خود به سه لایه (یا قشر) تقسیم می‌گردد که ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی مواد تشکیل‌دهنده آنها با هم متفاوت است. لایه بالایی (رسوبی) از انواع مختلف سنگهای رسوبی همراه با مقدار کمی از سنگهای پالئوزوئیک یا آتشفشانی جوانتر، تشکیل یافته است. دو لایه بعدی پوسته را بطور اختیاری گرانیتی و بازالتی نامیده‌اند. مرز میان این لایه‌ها که نایبوستگی کنراد نامیده می‌شود، با استفاده از دانسته‌های لرزه‌شناسی مشخص می‌گردد. چنانچه از دانسته‌های لرزه‌شناسی برمی‌آید، لایه گرانیتی در زیر قاره‌ها ۱۰ تا ۱۱ کیلومتر ضخامت دارد، در حالیکه نسبت ضخامت لایه گرانیتی به لایه بازالتی یک به دو برآورد شده است. در زیر پوسته اقیانوسی لایه گرانیتی وجود ندارد.

مدلی که برای تعیین ترکیب لایه بازالتی بکار می‌رود با دانسته‌های مربوط به خواص این لایه که بر مبنای روشهای ژئوفیزیکی بدست آمده است تطبیق دارد.

افزون بر این، آگاهیهای تجربی در مورد چگالی سنگهایی که ممکن است در شرایط ویژه رخساره‌های گرانولیت و اکلوزیت دگرگونی وجود داشته باشند و همچنین از سرعت امواج لرزشی در چنین سنگهایی، استفاده شده است (بئوس ۱۹۷۲). ترکیب میانگین بدست آمده قشر بازالتی همانند دیوریت است. ترکیب میانگین کل پوسته نیز نزدیک به دیوریت می‌باشد.

جدول یک دانسته‌های مربوط به ترکیب شیمیایی قشر گرانیتی را نشان می‌دهد (درصد وزنی). اگرچه این دانسته‌ها بر پایه آگاهیهای نسبتاً دقیقی از ترکیب شیمیایی میانگین سنگهای سازنده قشر گرانیتی استوار است، با وجود این بایستی به تقریبی بودن آن توجه داشت. سرچشمه‌های اصلی خطا عبارتند از:

الف) نداشتن دانسته‌های دقیقی از نسبت کمتی گرانیت و گرانودیوریت حتی در سطح لیتوسفر.  
ب) نداشتن دانسته‌های دقیقی از نسبت کمتی میان سنگهای دگرگونی و نیز وابستگی آنها با سنگهای نفوذی.

ج) در دست نداشتن هیچگونه آگاهی در زمینه تغییرات ممکن در نسبت میان انواع مختلف سنگها در ژرفا.

1- Mohorovicic

\* - برخی از پژوهشگران پوشه بالایی را تا ژرفائی می‌دانند که به «لایه با سرعت کم» برسد، چنانکه گویی در لیتوسفر قرار دارد و این محرز بودن نظریه مرز پوسته‌ای زیرین را تضعیف می‌نماید. از اینرو دشواریهای دیگری در بررسی ویژگیهای ژئوشیمیایی لیتوسفر و پوشه بالایی پدید می‌آید.

زیر اقیانوسها یا در حدود ۱۵۰ کیلومتری زیر قاره‌ها جای دارد. خواص فیزیکی این لایه بر پایه این شواهد لرزه‌شناسی، نشان می‌دهد که بصورت بخشی در حالت گداخته می‌باشد. هم‌اکنون به این «لایه با سرعت کم» در پوشه زیرین چه از نظر گسترش تکنونیک قشرهای سطح زمین، و چه از نظر اهمیت آن در ماهیت ترکیب شیمیایی این قشرها، همت بسیار داده می‌شود. به احتمال، میان تکامل ترکیب شیمیایی پوشه بالایی و تشکیل پوسته‌ای که بر آن را می‌پوشاند بستگی نزدیکی برقرار است. هم‌اکنون چنین می‌پندارند که پوسته، فرآورده تفریق ژئوشیمیایی پوشه بالایی در اثر میدانهای گرانشی و گرمایی زمین باشد.

اگرچه ترکیب شیمیایی پوشه بالایی همچنان موضوع گفتگوی بسیار است، اما به نظر می‌رسد که نظریه‌های پیرامون ترکیب شیمیایی پوشه بالایی، در مقایسه با فرضیه‌هایی درباره ترکیب قشرهای ژرفای زمین روشنتر و قطعی‌تر باشد. گمان می‌رود، سنگهای اولترابازی که به مقدار کم در سطح پوسته امروزی زمین وجود دارند، نمونه‌های پوشه بالایی بوده و برای بررسیهای مستقیم ژئوشیمیایی و پترولوژی در دسترس می‌باشند.

ولی در هر حال اثر پدید آورده شود که ترکیب پوشه بالایی در فرآیند تفریق و جداسدن مواد سازنده پوشه زمین تغییر درخور ما حفظ‌ای یافته است، در آنصورت وابستگی ترکیب شیمیایی سنگهای اولترابازی که به درون پوسته نفوذ کرده اند، و ترکیب میانگین پوشه بالایی تا حدی مورد تردید واقع می‌شود. در سالهای اخیر برخی از دانشمندان ( ینگ-وود<sup>۱</sup>، آندرسون، هریس<sup>۲</sup>، بک<sup>۳</sup> و دیگران) در تهیه مدلهایی برای ترکیب شیمیایی پوشه بالایی زمین کوشیده‌اند. همه این گونه مدلهای موجود، بر پایه این اندیشه بنا شده‌اند که سنگهای اولترابازی، فرآورده‌ای بی‌زمانه از تکامل ماده پوشه بالایی هستند که پس از تفریق بازالت‌ها بجای مانده‌اند. امروزه مدل بک توسط رینگ‌وود (۱۹۷۲) گسترش یافته است و بر مبنای نسبت  $\frac{1}{3}$  بازالت به پریدوتیت می‌باشد، برد پذیرش بسیاری قرار گرفته است. آن الگوی ترکیب پوشه بالایی که پیرویت نامیده می‌شود، نیز از دیدگاههای مختلف مورد انتقاد قرار گرفته است (اوهارا<sup>۴</sup>، بئوس<sup>۵</sup>، آندرسون و همکاران ۱۹۷۲) و می‌توان آنرا همچون پایه‌ای برای مشخص نمودن ترکیب میانگین پوشه بالایی بکار برد. برای مثال، ترکیب مدلی پوشه بالایی بدانگونه که از دانسته‌های لرزه‌شناسی برمی‌آید، متفاوت می‌باشد. فرضیه دیگری نسبت به تفریق بار توسط گلدشمیت<sup>۶</sup> ارائه شده است، پیشنهاد می‌کند که سنگهایی با ترکیب اکلوزیت در پوشه بالایی وجود دارد. این سنگها هم‌ارز ژئوشیمیایی سنگهای گابرو-بازالتی شناخته شده است، اما به علت تبدیلات ازی که در فشار بالا رخ می‌دهد، دارای چگالی بالاتری است ( $\frac{4}{3}$  در مقایسه با ۳). با وجود اینکه امروزه فرضیه وجود یک لایه اکلوزیت پیوسته در پوشه بالایی توسط بسیاری از دانشمندان رد شده است، ولی امکان وجود آن در این قشر عملاً بر کسی پوشیده نیست. در نتیجه پوشه بالایی به احتمال زیاد دارای ترکیب کالک پیچیده و ناهمگنی است که در پیوند نزدیک با نمودهای تکاملی نواحی زیر سطحی ویژه از زمین می‌باشد. امروزه همه پژوهشگران بر این باورند که فرآیندهایی که در پوشه بالایی در حال پیشرفت است، در کارل پیدایش و تکامل پوسته اهمیت دارند.

1- Ringwood  
4- Ohara

2- Harris  
5- Beus

3- Beck  
6- Goldsch mid

جدول ۱- ترکیب شیمیائی میانگین لیتوسفر و قشرهای آن (درصد وزنی)

اکسیدها	کل لیتوسفر بجز قشر رسوبی	لیتوسفر قاره‌ای بجز قشر رسوبی	قشر بازالتی	قشر گرانیتی	قشر رسوبی قاره‌ها (شامل سنگهای آتشفشانی)*
SiO <sub>2</sub>	۵۷/۴	۶۹/۶	۵۳/۳	۶۶/۱	۴۹/۸۲
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۵/۴	۱۵/۳	۱۵/۴	۱۵/۲	۱۲/۹۷
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۳/۴	۲/۵	۲/۸	۲/۰	۲/۹۷
FeO	۵/۵	۵/۰	۶/۱	۲/۷	۲/۸۱
MgO	۵/۰	۴/۰	۵/۰	۲/۰	۳/۰۹
MnO	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱۱
CaO	۷/۱	۶/۰	۷/۲	۳/۵	۱۱/۶۴
Na <sub>2</sub> O	۳/۱	۳/۲	۳/۲	۳/۱۲	۱/۵۷
K <sub>2</sub> O	۱/۹	۲/۳	۱/۸	۳/۲۴	۲/۰۳
TiO <sub>2</sub>	۱/۱	۱/۰	۱/۲	۰/۶۰	۰/۶۵
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲۸	۰/۱۷
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	۰/۷	۰/۶۵	۰/۶	۰/۷۶	۲/۹۱
CO <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> Cl	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱	۰/۴	۸/۷۳ ۰/۳۳ ۰/۱۹

\* - از رونوف (Ronov) و یاروشفسکی (Yaroshevskii) (۱۹۶۷).

جدول ۲- جایگیری (رخداد) سنگها (درصد جرم قشر زمین)

قشر رسوبی		قشر گرانیتی	
سنگهای آتشفشانی	%	سنگهای رسوبی	%
بازالت	۵۳	سنگ رس و خاک رس	۸۴
آندزیت	۲۵/۴	ماسه و ماسه‌سنگ	۷
دامیت	۲۰/۸	سنگهای کریاته	۸/۲
آتشفشان اسیدی	۰/۸	سنگهای تبخیری	۰/۸
آتشفشان قلیایی	۰/۲		
		گنیس شیت	۶۳/۷
		کوارتزیت و ماسه‌سنگ	۲۱/۵
		آمفیولیت	۲/۹
		سنگهای کریاته	۱/۶
		گابرو	۹/۰
		پریدوتیت	۰/۳
		دونیت	۰/۹
		سینت	۰/۱
		نفلین سینت	۰/۱

عناصر در انواع سنگهای گوناگون تشکیل دهنده لیتوسفر، قشر گرانیتی آن و لیتوسفر قاره‌ای در کل، در جدول ۳ نشان داده شده است.<sup>۱</sup>

جدول ۳- مقادیر میانگین عناصر شیمیائی در لیتوسفر و سنگهای تشکیل دهنده (درصد وزنی)

عدد اتمی	عناصر	لیتوسفر قاره‌ای (بجز پوشش رسوبی)	قشر گرانیتی	گابرو پوریت	سنگهای متوسط یا خشتی	سنگهای بازگ	سنگهای اوفزیزانگ	شیت	سنگهای رسوبی ماسه‌سنگ	سنگهای کریاته	
1	Hydrogen	0,10	0,10	0,06	0,09	0,11	0,12	-	0,40	0,25	0,09
2	Helium										
۵. ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب در هر گرم											
3	Lithium	2,0.10 <sup>-3</sup>	3,0.10 <sup>-3</sup>	3,8.10 <sup>-3</sup>	3,0.10 <sup>-3</sup>	2,5.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	0,2.10 <sup>-3</sup>	6,6.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	0,5.10 <sup>-3</sup>
4	Beryllium	1,5.10 <sup>-4</sup>	2,5.10 <sup>-4</sup>	3,5.10 <sup>-4</sup>	2,5.10 <sup>-4</sup>	1,8.10 <sup>-4</sup>	0,4.10 <sup>-4</sup>	0,2.10 <sup>-4</sup>	3,0.10 <sup>-4</sup>	0,4.10 <sup>-4</sup>	0,1.10 <sup>-4</sup>
5	Boron	0,7.10 <sup>-3</sup>	1,0.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	1,2.10 <sup>-3</sup>	0,9.10 <sup>-3</sup>	0,5.10 <sup>-3</sup>	0,3.10 <sup>-3</sup>	10.10 <sup>-3</sup>	3,5.10 <sup>-3</sup>	2,0.10 <sup>-3</sup>
6	Carbon	1,7.10 <sup>-2</sup>	3,0.10 <sup>-2</sup>	3,0.10 <sup>-2</sup>	3,0.10 <sup>-2</sup>	3,0.10 <sup>-2</sup>	2,0.10 <sup>-2</sup>	1,0.10 <sup>-2</sup>	1,2	1,3	11,0
7	Nitrogen	2,0.10 <sup>-3</sup>	2,6.10 <sup>-3</sup>	2,7.10 <sup>-3</sup>	2,0.10 <sup>-3</sup>	2,0.10 <sup>-3</sup>	3,5.10 <sup>-3</sup>	1,0.10 <sup>-3</sup>	54,5.10 <sup>-3</sup>	13,5.10 <sup>-3</sup>	0,7.10 <sup>-3</sup>
8	Oxygen	46,8	48,1	48,7	48,0	47,0	44,5	43,7	49,0	51,5	49,2
9	Fluorine	5,0.10 <sup>-2</sup>	7,2.10 <sup>-2</sup>	8,3.10 <sup>-2</sup>	6,3.10 <sup>-2</sup>	5,0.10 <sup>-2</sup>	4,0.10 <sup>-2</sup>	1,0.10 <sup>-2</sup>	7,4.10 <sup>-2</sup>	2,7.10 <sup>-2</sup>	3,3.10 <sup>-2</sup>
۸. ۱۰۰ سانتی‌متر مکعب در هر گرم											
11	Sodium	2,3	2,2	2,66	2,78	2,60	1,90	0,18	0,98	0,92	0,25
12	Magnesium	2,4	1,2	0,33	1,10	2,20	4,50	20,50	1,50	0,73	4,60
13	Aluminium	8,1	8,0	7,40	8,60	8,90	8,50	2,40	8,65	2,90	0,96
14	Silicon	27,7	30,9	34,0	30,5	27,5	23,0	20,0	27,5	34,7	3,4
15	Phosphorus	0,10	0,08	0,06	0,11	0,15	0,15	0,05	0,07	0,04	0,05
16	Sulfur	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,01	0,24	0,02	0,12
17	Chlorine	1,0.10 <sup>-2</sup>	1,7.10 <sup>-2</sup>	2,0.10 <sup>-2</sup>	1,3.10 <sup>-2</sup>	1,0.10 <sup>-2</sup>	0,6.10 <sup>-2</sup>	0,5.10 <sup>-2</sup>	1,80.10 <sup>-2</sup>	0,1.10 <sup>-2</sup>	11,5.10 <sup>-2</sup>
۵. ۲/۲۱۰ سانتی‌متر مکعب در هر گرم											
19	Potassium	1,8	2,70	3,50	2,82	1,50	0,70	0,05	2,70	1,32	0,28
20	Calcium	4,3	2,5	1,12	2,40	4,80	7,30	3,40	2,00	2,67	32,5
21	Scandium	2,4.10 <sup>-3</sup>	1,1.10 <sup>-3</sup>	0,7.10 <sup>-3</sup>	1,4.10 <sup>-3</sup>	2,0.10 <sup>-3</sup>	3,0.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	1,3.10 <sup>-3</sup>	0,1.10 <sup>-3</sup>	0,1.10 <sup>-3</sup>
22	Titanium	0,6	0,33	0,17	0,38	0,80	0,80	0,35	0,36	0,30	0,12
23	Vanadium	1,9.10 <sup>-2</sup>	7,6.10 <sup>-3</sup>	4,4.10 <sup>-3</sup>	8,8.10 <sup>-3</sup>	15.10 <sup>-3</sup>	25.10 <sup>-3</sup>	4,0.10 <sup>-3</sup>	13.10 <sup>-3</sup>	2,0.10 <sup>-3</sup>	2,0.10 <sup>-3</sup>
24	Chromium	1,2.10 <sup>-2</sup>	0,34.10 <sup>-2</sup>	0,1.10 <sup>-2</sup>	0,22.10 <sup>-2</sup>	0,55.10 <sup>-2</sup>	1,7.10 <sup>-2</sup>	16,0.10 <sup>-2</sup>	0,9.10 <sup>-2</sup>	0,35.10 <sup>-2</sup>	0,11.10 <sup>-2</sup>
25	Manganese	0,09	0,07	0,04	0,07	0,12	0,12	0,10	0,08	0,04	0,04
26	Iron	5,7	3,6	1,83	3,30	5,50	8,40	8,70	4,80	2,80	0,85
27	Cobalt	3,4.10 <sup>-4</sup>	7,3.10 <sup>-4</sup>	1,0.10 <sup>-4</sup>	7,0.10 <sup>-4</sup>	9,0.10 <sup>-4</sup>	48.10 <sup>-4</sup>	150.10 <sup>-4</sup>	19.10 <sup>-4</sup>	0,3.10 <sup>-4</sup>	0,1.10 <sup>-4</sup>
28	Nickel	9,5.10 <sup>-3</sup>	2,6.10 <sup>-3</sup>	0,45.10 <sup>-3</sup>	1,5.10 <sup>-3</sup>	5,0.10 <sup>-3</sup>	13.10 <sup>-3</sup>	200.10 <sup>-3</sup>	6,8.10 <sup>-3</sup>	0,2.10 <sup>-3</sup>	0,2.10 <sup>-3</sup>

۱- میانگین فراوانی عناصر اندک در قشر گرانیتی و لیتوسفر قاره‌ای بر پایه مقاله اخیر گرین (۱۹۶۹) و همچنین با استفاده از آخرین نشریات موجود، محاسبه شده است.

بنابراین نداشتن دانش کافی از ترکیب شیمیایی قشر گرانیتی، بیش از هر چیز نتیجه نداشتن اطلاعات زمین‌شناسی کافی در مورد ترکیب سنگ‌شناسی این قشر است. با این‌همه با انجام مقایسه‌ای میان ترکیب میانگین قشر و گرانودیوریت‌ها و پارائزها نشان می‌دهد. این نمود بیانی کمی است از وابستگی نزدیک میان ترکیب شیمیائی سنگهای رسوبی ماسه‌ای - رسی که از طریق فرآیندهای دگرگونی پیش‌رونده به شیت‌های بلورین و گنیس تبدیل می‌شوند و ترکیب میانگین لایه گرانیتی که در لیتوسفر وجود دارد. نتیجه آنکه دانسته‌های موجود کنونی ترکیب شیمیایی میانگین دیوریتی را برای کل لیتوسفر و قشر بازالتی آن از یک سو، و ترکیب گرانودیوریتی برای لایه گرانیتی زیر پوسته اقیانوسی را از سوی دیگر، پیشنهاد می‌کند. جدول ۲، ترکیب لیتولوژیکی قشر زمین را نشان می‌دهد.

در جدول ۱ فراوانی اکسیدی ۱۴ عنصر عمده شیمیائی لیتوسفر و قشرهای آن که حاصل جمع آنها به ۱۰۰٪ می‌رسد نموده شده است. در واقع فراوانی این عناصر با منظور نمودن اکسیژن، تنها ۹۹/۵ درصد جرم لیتوسفر را تشکیل می‌دهد. ۰/۵٪ باقیمانده را دیگر عناصر شیمیائی جدول تناوبی تشکیل می‌دهد. فراوانی

ترکیب شیمیائی میانگین انواع اصلی سنگهای پوسته‌ای توسط بنوس (۱۹۷۲) مورد بحث قرار گرفته است.

اکثر رده‌بندیهای ژئوشیمیایی عینی موجود بر پایه جدول ورنادسکی، که در آن فراوانی همه عناصر پوسته‌ای برحسب توانهایی از ده مرتب شده است، استوار می‌باشد (جدول ۴). از این پس در سازندهای طبیعی عناصری که دارای فراوانی ۱٪ یا بیشتر باشد، عناصر اصلی (یا سنگ‌ساز) و عناصری با فراوانی چند دهم درصد را عناصر فرعی، و تمام عناصری که دارای فراوانی کمتر از ۱/۱۰ درصد باشند، عناصر اندک خوانده می‌شوند. به عناصر اندکی که تمرکزهای اقتصادی مهمی از کانیها را در انواع معینی از کانسارها بوجود می‌آورند، عناصر اندک کانه‌ای اطلاق می‌گردد.

جدول ۴- توزیع مقادیر میانگین عناصر شیمیائی در لیتوسفر قاره‌ای، بر پایه دهه‌های ورنادسکی (برای تعریف به فرهنگ لغات در بخش آخر کتاب مراجعه شود).

عناصر	شمار عناصر	لگاریتم فراوانی در دهه	فراوانی میانگین در دهه (برحسب تمرکز جرمی %)	دهه
O, Si	۲	۱۰,۰۰۰	> ۱۰ (۲۰-۵۰)	I
Al, Fe, Ca, Mg, Na, K	۶	۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۱</sup>	II
Ti, P, H, C	۴	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۱</sup>	III
Mn, S, F, Ba, Sr, V, Cr, Zr, Cl	۹	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۲</sup>	IV
Ni, Rb, Zn, Cu, Co, Ce, Y, La,	۱۴	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۳</sup>	V
Nd, Sc, N, Li, Ga, Nb				
Pb, B, Th, Sm, Gd, Pr, Dy, Er,	۲۵	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۴</sup>	VI
Yb, Hf, Br, Cs, Sn, As, Be, Ar, U,				
Ge, Mo, Ho, He, Eu, Tb, W, Ta				
Lu, Tl, I, In, Sb, Tm, Gd, Se	۸	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۵</sup>	VII
Ag, Hg, Bi, Ne, Pt	۵	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۶</sup>	VIII
Pd, Te, Au, Os	۴	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۷</sup>	IX
Re, Ir, Kr	۳	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۸</sup>	X
Xe	۱	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۹</sup>	XI
Ra	۱	۱۰,۰۰۰	۱۰ <sup>-۹</sup>	XII

از جدول ۵ چنین نتیجه می‌شود که اکثر عناصر شیمیائی لیتوسفر میل ترکیبی درخور توجهی با اکسیژن دارند و گروه وسیعی را به نام عناصر اکسیژن دوست تشکیل می‌دهند. این گروه در عمل همه عناصر اصلی و

عدد اتمی	عناصر	لیتوسفر قاره‌ای (میزان پوشش روسی)	قشر گرانیتی	گرانیت	گرانودیوریت	سنگهای مابعد رسوبی یا شش رخ	سنگهای بازتک	سنگهای اولترابازالتیک	شیرت	سنگهای رسوبی	سنگهای کربناته	
29	Copper	6.5.10 <sup>-3</sup>	2.2.10 <sup>-3</sup>	1.0.10 <sup>-3</sup>	2.8.10 <sup>-3</sup>	4.0.10 <sup>-3</sup>	8.7.10 <sup>-3</sup>	1.0.10 <sup>-3</sup>	4.5.10 <sup>-3</sup>	0.1.10 <sup>-3</sup>	0.4.10 <sup>-3</sup>	
30	Zinc	8.7.10 <sup>-3</sup>	5.1.10 <sup>-3</sup>	3.9.10 <sup>-3</sup>	5.8.10 <sup>-3</sup>	7.5.10 <sup>-3</sup>	10.5.10 <sup>-3</sup>	5.0.10 <sup>-3</sup>	9.5.10 <sup>-3</sup>	1.8.10 <sup>-3</sup>	2.0.10 <sup>-3</sup>	
31	Calcium	1.7.10 <sup>-2</sup>	1.9.10 <sup>-2</sup>	2.0.10 <sup>-2</sup>	2.0.10 <sup>-2</sup>	1.7.10 <sup>-2</sup>	1.7.10 <sup>-2</sup>	0.15.10 <sup>-2</sup>	1.9.10 <sup>-2</sup>	1.2.10 <sup>-2</sup>	0.4.10 <sup>-2</sup>	
32	Germanium	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.6.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	
33	Arsenic	1.9.10 <sup>-4</sup>	1.6.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	1.9.10 <sup>-4</sup>	2.0.10 <sup>-4</sup>	2.0.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	13.0.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	
34	Selenium	1.0.10 <sup>-5</sup>	1.4.10 <sup>-5</sup>	1.4.10 <sup>-5</sup>	1.4.10 <sup>-5</sup>	1.4.10 <sup>-5</sup>	1.3.10 <sup>-5</sup>	0.5.10 <sup>-5</sup>	5.0.10 <sup>-5</sup>	0.5.10 <sup>-5</sup>	0.8.10 <sup>-5</sup>	
35	Bromine	2.0.10 <sup>-4</sup>	2.2.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	4.5.10 <sup>-4</sup>	3.6.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	6.2.10 <sup>-4</sup>	
36	Krypton	۱۰۰-۱۳/۳ میلی متر مکعب در هر گرم										
37	Rubidium	9.0.10 <sup>-3</sup>	18.10 <sup>-3</sup>	21.10 <sup>-3</sup>	18.10 <sup>-3</sup>	11.10 <sup>-3</sup>	5.0.10 <sup>-3</sup>	0.5.10 <sup>-3</sup>	14.1.10 <sup>-3</sup>	6.0.10 <sup>-3</sup>	0.3.10 <sup>-3</sup>	
38	Strontium	3.8.10 <sup>-2</sup>	2.3.10 <sup>-2</sup>	1.1.10 <sup>-2</sup>	4.4.10 <sup>-2</sup>	4.5.10 <sup>-2</sup>	4.7.10 <sup>-2</sup>	0.1.10 <sup>-2</sup>	3.0.10 <sup>-2</sup>	0.2.10 <sup>-2</sup>	6.1.10 <sup>-2</sup>	
39	Yttrium	2.6.10 <sup>-3</sup>	3.6.10 <sup>-3</sup>	4.0.10 <sup>-3</sup>	3.4.10 <sup>-3</sup>	2.9.10 <sup>-3</sup>	2.1.10 <sup>-3</sup>	n.10 <sup>-3</sup>	2.8.10 <sup>-3</sup>	4.0.10 <sup>-3</sup>	3.0.10 <sup>-3</sup>	
40	Zirconium	1.3.10 <sup>-2</sup>	1.7.10 <sup>-2</sup>	1.8.10 <sup>-2</sup>	1.8.10 <sup>-2</sup>	1.4.10 <sup>-2</sup>	1.1.10 <sup>-2</sup>	0.45.10 <sup>-2</sup>	1.6.10 <sup>-2</sup>	2.2.10 <sup>-2</sup>	0.2.10 <sup>-2</sup>	
41	Niobium	1.9.10 <sup>-3</sup>	2.0.10 <sup>-3</sup>	2.1.10 <sup>-3</sup>	2.0.10 <sup>-3</sup>	2.0.10 <sup>-3</sup>	1.9.10 <sup>-3</sup>	1.6.10 <sup>-3</sup>	1.1.10 <sup>-3</sup>	n.10 <sup>-3</sup>	0.3.10 <sup>-3</sup>	
42	Molybdenum	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	1.1.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	2.6.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.4.10 <sup>-4</sup>	
43	Technetium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
44	Ruthenium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
45	Rhodium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
46	Palladium	n.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-8</sup>	n.10 <sup>-8</sup>	n.10 <sup>-8</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	2.0.10 <sup>-7</sup>	5.0.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-8</sup>	n.10 <sup>-8</sup>	
47	Silver	9.0.10 <sup>-6</sup>	4.8.10 <sup>-6</sup>	3.7.10 <sup>-6</sup>	5.1.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	11.0.10 <sup>-6</sup>	6.0.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	n.10 <sup>-6</sup>	n.10 <sup>-6</sup>	
48	Cadmium	1.9.10 <sup>-5</sup>	1.5.10 <sup>-5</sup>	1.6.10 <sup>-5</sup>	1.6.10 <sup>-5</sup>	1.8.10 <sup>-5</sup>	2.2.10 <sup>-5</sup>	1.2.10 <sup>-5</sup>	0.1.10 <sup>-5</sup>	0.1.10 <sup>-5</sup>	0.4.10 <sup>-5</sup>	
49	Indium	2.3.10 <sup>-5</sup>	2.5.10 <sup>-5</sup>	2.6.10 <sup>-5</sup>	2.4.10 <sup>-5</sup>	2.2.10 <sup>-5</sup>	2.2.10 <sup>-5</sup>	0.1.10 <sup>-5</sup>	1.0.10 <sup>-5</sup>	0.1.10 <sup>-5</sup>	0.1.10 <sup>-5</sup>	
50	Tin	1.9.10 <sup>-4</sup>	2.7.10 <sup>-4</sup>	3.0.10 <sup>-4</sup>	2.5.10 <sup>-4</sup>	1.6.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	0.5.10 <sup>-4</sup>	6.0.10 <sup>-4</sup>	0.1.10 <sup>-4</sup>	0.1.10 <sup>-4</sup>	
51	Antimony	2.0.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	1.0.10 <sup>-5</sup>	1.5.10 <sup>-5</sup>	0.1.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	
52	Tellurium	1.0.10 <sup>-7</sup>	1.0.10 <sup>-7</sup>	1.0.10 <sup>-7</sup>	1.0.10 <sup>-7</sup>	1.0.10 <sup>-7</sup>	1.0.10 <sup>-7</sup>	0.1.10 <sup>-7</sup>	10.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	
53	Iodine	5.10 <sup>-9</sup>	5.10 <sup>-9</sup>	5.10 <sup>-9</sup>	5.10 <sup>-9</sup>	5.10 <sup>-9</sup>	5.10 <sup>-9</sup>	5.10 <sup>-9</sup>	2.2.10 <sup>-9</sup>	1.7.10 <sup>-9</sup>	1.2.10 <sup>-9</sup>	
54	Xenon	۱۰۰-۳/۴ میلی متر مکعب در هر گرم										
55	Cesium	2.0.10 <sup>-4</sup>	3.8.10 <sup>-4</sup>	5.0.10 <sup>-4</sup>	2.0.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	1.1.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	5.0.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	
56	Barium	4.5.10 <sup>-2</sup>	6.8.10 <sup>-2</sup>	8.4.10 <sup>-2</sup>	4.5.10 <sup>-2</sup>	3.8.10 <sup>-2</sup>	3.3.10 <sup>-2</sup>	0.4.10 <sup>-2</sup>	5.8.10 <sup>-2</sup>	n.10 <sup>-2</sup>	1.0.10 <sup>-2</sup>	
57	Lanthanum	2.5.10 <sup>-3</sup>	4.6.10 <sup>-3</sup>	5.5.10 <sup>-3</sup>	4.0.10 <sup>-3</sup>	3.0.10 <sup>-3</sup>	1.5.10 <sup>-3</sup>	n.10 <sup>-3</sup>	9.2.10 <sup>-3</sup>	3.0.10 <sup>-3</sup>	n.10 <sup>-3</sup>	
58	Cerium	6.0.10 <sup>-3</sup>	8.3.10 <sup>-3</sup>	9.2.10 <sup>-3</sup>	8.0.10 <sup>-3</sup>	6.5.10 <sup>-3</sup>	4.6.10 <sup>-3</sup>	n.10 <sup>-3</sup>	5.9.10 <sup>-3</sup>	9.2.10 <sup>-3</sup>	1.2.10 <sup>-3</sup>	
59	Praseodymium	5.7.10 <sup>-4</sup>	7.9.10 <sup>-4</sup>	8.8.10 <sup>-4</sup>	7.5.10 <sup>-4</sup>	6.2.10 <sup>-4</sup>	4.6.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	5.8.10 <sup>-4</sup>	8.8.10 <sup>-4</sup>	1.1.10 <sup>-4</sup>	
60	Neodymium	2.4.10 <sup>-3</sup>	3.3.10 <sup>-3</sup>	3.7.10 <sup>-3</sup>	3.2.10 <sup>-3</sup>	2.7.10 <sup>-3</sup>	2.0.10 <sup>-3</sup>	n.10 <sup>-3</sup>	2.4.10 <sup>-3</sup>	3.7.10 <sup>-3</sup>	4.7.10 <sup>-3</sup>	
61	Promethium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
62	Samarium	6.5.10 <sup>-4</sup>	9.0.10 <sup>-4</sup>	10.0.10 <sup>-4</sup>	8.5.10 <sup>-4</sup>	7.5.10 <sup>-4</sup>	5.3.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	6.4.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	
63	Europium	1.0.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	
64	Gadolinium	6.5.10 <sup>-4</sup>	9.0.10 <sup>-4</sup>	10.0.10 <sup>-4</sup>	8.5.10 <sup>-4</sup>	7.5.10 <sup>-4</sup>	5.3.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	6.4.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	1.3.10 <sup>-4</sup>	
65	Terbium	1.0.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-4</sup>	1.6.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	1.1.10 <sup>-4</sup>	1.6.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	
66	Dysprosium	4.6.10 <sup>-4</sup>	6.5.10 <sup>-4</sup>	7.2.10 <sup>-4</sup>	5.1.10 <sup>-4</sup>	3.2.10 <sup>-4</sup>	3.8.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	4.8.10 <sup>-4</sup>	7.2.10 <sup>-4</sup>	0.9.10 <sup>-4</sup>	
67	Holmium	1.3.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	9.0.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	1.1.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	2.0.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	
68	Erbium	2.6.10 <sup>-4</sup>	3.6.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	3.2.10 <sup>-4</sup>	2.8.10 <sup>-4</sup>	2.1.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	2.5.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	0.5.10 <sup>-4</sup>	
69	Thulium	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	0.4.10 <sup>-4</sup>	
70	Ytterbium	2.8.10 <sup>-4</sup>	3.6.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	3.2.10 <sup>-4</sup>	2.8.10 <sup>-4</sup>	2.1.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	2.6.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	0.5.10 <sup>-4</sup>	
71	Lutecium	0.8.10 <sup>-4</sup>	1.1.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	0.7.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	
72	Hafnium	2.6.10 <sup>-4</sup>	3.5.10 <sup>-4</sup>	3.9.10 <sup>-4</sup>	3.2.10 <sup>-4</sup>	2.8.10 <sup>-4</sup>	2.2.10 <sup>-4</sup>	0.5.10 <sup>-4</sup>	2.8.10 <sup>-4</sup>	3.9.10 <sup>-4</sup>	0.3.10 <sup>-4</sup>	
73	Tantalum	1.0.10 <sup>-4</sup>	2.1.10 <sup>-4</sup>	2.5.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	0.5.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	
74	Tungsten	1.1.10 <sup>-4</sup>	1.9.10 <sup>-4</sup>	2.2.10 <sup>-4</sup>	1.7.10 <sup>-4</sup>	1.2.10 <sup>-4</sup>	0.7.10 <sup>-4</sup>	0.1.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	
75	Rhenium	7.0.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	7.0.10 <sup>-6</sup>	-	-	-	-	
76	Osmium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
77	Iridium	-	1.5.10 <sup>-8</sup>	1.0.10 <sup>-8</sup>	-	-	-	-	2.2.10 <sup>-8</sup>	-	-	
78	Platinum	-	-	-	-	-	-	1.0.10 <sup>-5</sup>	2.0.10 <sup>-5</sup>	-	-	
79	Gold	1.7.10 <sup>-7</sup>	1.2.10 <sup>-7</sup>	0.8.10 <sup>-7</sup>	1.2.10 <sup>-7</sup>	2.8.10 <sup>-7</sup>	3.6.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	n.10 <sup>-7</sup>	
80	Mercury	4.6.10 <sup>-6</sup>	6.6.10 <sup>-6</sup>	6.7.10 <sup>-6</sup>	6.7.10 <sup>-6</sup>	7.5.10 <sup>-6</sup>	6.5.10 <sup>-6</sup>	6.4.10 <sup>-6</sup>	6.8.10 <sup>-6</sup>	7.4.10 <sup>-6</sup>	4.5.10 <sup>-6</sup>	
81	Thallium	0.7.10 <sup>-4</sup>	1.8.10 <sup>-4</sup>	2.3.10 <sup>-4</sup>	1.5.10 <sup>-4</sup>	1.0.10 <sup>-4</sup>	0.2.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-4</sup>	0.8.10 <sup>-4</sup>	n.10 <sup>-4</sup>	
82	Lead	0.9.10 <sup>-3</sup>	1.6.10 <sup>-3</sup>	1.9.10 <sup>-3</sup>	1.5.10 <sup>-3</sup>	1.2.10 <sup>-3</sup>	0.6.10 <sup>-3</sup>	0.1.10 <sup>-3</sup>	2.0.10 <sup>-3</sup>	0.7.10 <sup>-3</sup>	0.9.10 <sup>-3</sup>	
83	Bismuth	0.8.10 <sup>-6</sup>	1.0.10 <sup>-6</sup>	1.0.10 <sup>-6</sup>	1.0.10 <sup>-6</sup>	0.8.10 <sup>-6</sup>	0.7.10 <sup>-6</sup>	0.1.10 <sup>-6</sup>	-	-	-	
84	Polonium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
85	Astatine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
86	Ra	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
87	Francium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
88	Radium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
89	Actinium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
90	Thorium	7.3.10 <sup>-4</sup>	1.4.10 <sup>-3</sup>	1.7.10 <sup>-3</sup>	1.2.10 <sup>-3</sup>	8.5.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-4</sup>	4.0.10 <sup>-7</sup>				

عناصر فرعی لیتوسفر را دربرمی‌گیرد. از اینرو این عناصر زمینه شیمیائی ماده پوسته‌ای زمین را تشکیل می‌دهند (زیر گروه لیتوفیلی عناصر) تعداد کمتری از عناصر اکسیژن دوست به انباشت با آهن در سازندهای طبیعی گرایش دارند و این گروه بنام عناصر سیدروفیل معرفی شده‌اند.

جدول ۵ - رده‌بندی ژئوشیمیائی عناصر پوسته‌ای

عناصر اصلی (x > 1%)	عناصر فرعی (x = 0.1%)	عناصر اندک (x < 0.1%)
۱- اکسیژن دوست a - لیتوفیل Al, Si, O K, Na, Ca, Mg, Fe	(C), P, Tc, Mn	پراکنده: Ge, Ga Sr, F, B, Li, Y, Ba و عناصر گروه خاک‌های کمیاب، Th, W, Cs, Sn, Ta, Nb, Zr, U
b - سیدروفیل (Fe)	—	Ni, Co, Cr, V
۲- گوگرد دوست (کالکوفیل)	—	Mo, Se, As, Zn, Cu, S Bi, Pb, Hg, Te, Sb, Ag
۳- نجیب	—	Rh, Ra Au, Pt, Ir, Os, Pd
۴- هیدروفیل (۰)	H	(S), I, Br, Cl
۵- اتموفیل (۰)	C	Rn, Xe, Ar, Ne, N, He

گروه عناصر گوگرد دوست شامل آن دسته از عناصر شیمیائی است، که نسبت به گوگرد میل ترکیبی درخور توجهی دارند. این عناصر معمولاً در سنگها به صورت سولفید موجودند و گرایش به تجمع با گوگرد در نهشته‌های سولفیدی دارند. عناصر نجیب، شامل شبه پلاتین‌ها و طلا، عموماً در طبیعت به صورت فلزات اصلی (خالص) موجودند. سه گروه اول عناصر اندک به دو دسته تقسیم می‌شوند: عناصر کانی‌ساز و عناصر پراکنده. با وجود اینکه میانگین فراوانی عناصر کانی‌ساز (برای مثال سلنیم، تلوریم، تانتالیوم، بریلیم و غیره) در داخل پوسته بسیار کم است، این عناصر کانیهای بسیاری را تشکیل می‌دهند<sup>۱</sup>.

عناصر پراکنده برخلاف عناصر کانی‌ساز، در ساختن کانیها نقشی ندارند ولی در ساختار برخی از آنها بصورت درآمیخته‌های ایزومورفی شرکت نموده یا ممکن است کانیهای مجزایی را بوجود آورند که در طبیعت بسیار کمیابند. رخداد پراکندگی برخی از عناصر اندک بطور عمده بستگی به همانندی اندازه و ویژگی

۲- این مطلب امکان این را که بزرگترین بخش عناصر کانی‌ساز در پوسته زمین می‌تواند بعنوان درآمیخته‌های افشان در داخل ساختمانهای بلوری کانیهای دیگر جایگیر شود، رد نمی‌کند.

اتمها و یونهایشان با اتمها و یونهای عناصر اصلی دارد. نتیجه آنکه یونهای عناصر اندک پراکنده به آسانی می‌توانند جایگزین یونهای عناصر فراوانتر مربوطه در لیتوسفر شوند که این خود منجر به پراکندگی آنها در ساختار کانیهای عناصر اصلی می‌گردد. جفتهای شاخص عبارتند از گالیم - آلومینیم، روبیدیم - پتاسیم، ژرمانیم - سیلیسیم و هافنیم - زیرکونیم. مقدار عنصر پراکنده که در ساختار کانی میزبان تجمع می‌یابد، بوسیله خواص فیزیکی - شیمیائی فرآیند تشکیل کانی، تعیین می‌گردد. بنابراین در پاره‌ای موارد نسبت عنصر اصلی به عنصر پراکنده استخلافی (جایگزین) ممکن است شاخص شرایطی باشد که کانی و سنگ درونگیر آن تشکیل شده‌اند. نسبت‌هایی از این نوع (مثلاً K/Rb یا Al/Ga) که به منظور بررسیهای سنگ‌شناسی یا ژئوشیمیائی استفاده می‌شود، «نسبت‌های شاخص» نامیده می‌شوند.

برخی از عناصر پراکنده دارای ویژگیهای دوگانه‌ای است که مربوط به نمودهای (سیمای) ویژه ساختار اتمی آنها می‌باشد و این عناصر ممکن است در کانیهای اکسیدی و سولفیدی هر دو، نمایان گردند. از آن جمله می‌توان گالیم، ژرمانیم و تالیم را نام برد.

عناصر گروه هیدروژن دوست شامل نمونه وارترین عناصر هیدروسفر بوده و در بیشتر موارد بخش آبیونی ترکیبات شیمیایی موجود در محلولهای آبی را دربرمی‌گیرد. عناصر موجود در اتمسفر و مواد سازنده گازی لیتوسفر جامد از جمله گازهای بی‌اثر، گروه عناصر شیمیائی اتموفیل را تشکیل می‌دهند.

قشر رسوبی لیتوسفر، برخلاف قشرهای گرانیتی و بازالتی آن با گوناگونی بیشتر در ترکیب شیمیائی به جهت تفاوت در ترکیب سنگهای سازنده آنها، مشخص می‌گردد. این به علت پدیده‌های تفریق سوپرژن موادی است که هنگام هوازگی سنگ‌بستر در سطح زمین و همچنین در فرآیند رسوب‌سازی رخ می‌دهند. یک نمود شیمیائی ویژه قشر رسوبی، انباشت شایان توجه از دی‌اکسید کربن، در میان سنگهای کربناته است. چنین سنگهایی سازندهای ویژه این قشر پوسته‌ای رسوبی است.

سیمای دیگر قشر رسوبی فراوانی آبی است که فضای میان‌دانه‌ها و درزهای موئینه در سنگهای رسوبی را پر می‌کند. این به اصطلاح سیال درون روزنه‌ای بیش از ۱/۴ از قشر رسوبی لیتوسفر را دربرمی‌گیرد. مقدار کل سیالات درون روزنه‌ای معادل ۲۲/۵٪ کل جرم اقیانوسهای جهان است. ترکیب سیالات درون روزنه‌ای بایستی همانند ترکیب آب دریا باشد، زیرا همانگونه که از داده‌های مقاومت‌سنجی برمی‌آید، این نتایج برای هر دو نوع آب کاملاً همانند است. سیال درون روزنه‌ای پیوند پوسته‌ای را میان قشر رسوبی لیتوسفر و هیدروسفر (قشر آبی روی زمین) بوجود می‌آورد، آبهای هیدروسفر بر اساس ترکیب شیمیایی به دو گروه متمایز تقسیم می‌شوند: ۱- آب شور اقیانوسها و دریاها و ۲- آب شیرین آبریزهای سطحی و دریاچه‌ها. آب شور از فراوانی بسیار زیادتری برخوردار است. میان هیدروسفر و اتمسفر (قشر گازی که زمین را دربرمی‌گیرد) تأثیر متقابل نزدیک و همیشگی موجود است.

بیوسفر یازست کره، این نظریه شامل همه شکل‌های پیدایش حیات در روی زمین است که در زندگی و فعالیت بشر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیست کره که در قلمرو ژئوشیمی قرار می‌گیرد، همبستگی موجود میان اندامهای (ارگانیسم) حیوان و گیاه (از جمله میکروارگانیسمها) را در سطح زمین دربرمی‌گیرد. جرم کل ماده زنده بسیار کم است و تنها ۱٪ کل جرم پوسته‌ای را تشکیل می‌دهد که بطور عمده دربرگیرنده

موجودات نیا، آبی و گیاهان زمینی است.

برخلاف سایر زمین‌کره‌ها، مواد تشکیل‌دهنده اصلی ماده زنده، اکسیژن (حدود ۷۰٪) کربن (حدود ۱۸٪) و هیدروژن (حدود ۱۰٪) می‌باشد. این سه عنصر اصلی حیات همراه با کلسیم (۵/۰٪)، پتاسیم (۳/۰٪)، بت (۳/۰٪)، منیزیم (۰/۰۷٪)، فسفر (۰/۰۷٪)، گوگرد (۰/۰۵٪)، کلسیم (۰/۰۴٪)، سدیم (۰/۰۲٪) آهن (۰/۰۲٪) جمعاً ۹۹/۴٪ ماده زنده را تشکیل می‌دهند. ۰/۶٪ باقیمانده را عناصر اندک تشکیل می‌دهند. و عملاً بقیه عناصر جدول مندلیف را دربرمی‌گیرد. ویژگیهای فراوانی عناصر کمیاب، در بخشهای مختلف زیست‌کره به شرایط معینی بویژه به ترکیب شیمیایی محیط وابسته است. به این دلیل، از اندامهای زنده و بطور عمده گیاهان زمینی، برای بررسی برخی نمودهای ترکیبی گستره‌های سطحی لیتوسفر و همچنین در اکتشاف کانسارها استفاده می‌شود.

### فراوانی عناصر شیمیایی در سازندهای طبیعی استانهای ژئوشیمیایی

ژئوشیمی بدانها در توصیف خود از توزیع (پخش) عناصر شیمیایی معین در سنگها و دیگر سازندهای طبیعی، معیاراً نمود را به برآوردی از مقدار میانگین عنصر مورد بررسی محدود می‌کنند. گرچه مقدار میانگین، ویژگی ژئوشیمیایی مهمی از توزیع یک عنصر است، با اینهمه تنها آگاهیهای محدودی را فراهم می‌سازد. ناشناخته‌هایی چون تغییرپذیری توزیع (پخش) عنصری در سنگها، کانه‌ها، خاک و غیره از ویژگی‌های ژئوشیمیایی مهم توزیع عنصری است. در یک پیکره طبیعی نمی‌توان خواص شیمیایی اصلی یک عنصر را بازشناخت و یا حتی صحت درصد میانگین بدست آمده را ارزیابی نمود، مگر آنکه تفسیرپذیری توزیع عنصری معلوم و مشخص باشد. امروزه انش زمین‌شناسی به چنان مرحله‌ای از پیشرفت رسیده است که دانسته‌های پردازش شده ریاضی برای تشخیص ندامهای آماری در توزیع هر عنصر بکار گرفته می‌شود و با کاربرد آنها می‌توان نتایج کاملاً قابل اطمینان را در باره ترکیب شیمیایی سازندهای ویژه بدست آورد. با مددجویی از آمار به دانسته‌های زیر می‌توان دست یافت:

- ۱- ارزیابی اعتبار نتایج،
  - ۲- مقایسه پراکندگیهای عناصر مورد بررسی،
  - ۳- آشنایی وابستگیهای طبیعی میان عناصر،
  - ۴- تعیین احتمال وقوع عنصر (بهر مقدار) یا آمیخته‌ای از عناصر مورد اکتشاف در یک اجتماع ژئوشیمیایی.
- نتیجه بررسی‌های تحلیلی از نمونه‌های ژئوشیمیایی که در پژوهشهای صحرایی بصورت منظم برداشته شده باشند، سرچشمه آگاهی در باره ترکیب شیمیایی سازندهای طبیعی است. این نتایج با نام خواص پتروگرافی سنگها (یا استفاده از دیگر ویژگیها، اگر نمونه برداری از آب یا گیاه انجام شده باشد) بوسیله روشهای آماری بهینه، مورد پردازش قرار می‌گیرند. این کار برای تعیین پارامترهای توزیع (پخش) عناصر شیمیایی یا لگاریتم آنها (بسته به قانون توزیع) صورت می‌گیرد.

برآوردهای اصلی پارامترهای توزیع عبارتند از: میانگین حسابی، واریانس (پراش) و انحراف استاندارد مقادیر (در مورد قانون توزیع نرمال) یا میانگین حسابی پراش و انحراف استاندارد لگاریتم‌های مقادیر (در مورد توزیع لوگ نرمال).

برآورد پارامترهای یاد شده، این امکان را می‌دهد که چگونگی توزیع یک عنصر شیمیایی در یک سازند طبیعی یا هر اندازه‌ای (از یک لایه نازک تا کل پوسته زمین) از راه ریاضی توصیف شود. دقت اندازه‌گیری در نهایت، بستگی به میزان آگاهیهای ژئوشیمیایی مورد استفاده، یعنی شمار نمونه‌های موضوع مورد بررسی خواهد داشت. پارامترهای پخش (توزیع) عناصر شیمیایی بسته به مقیاس موضوع طبیعی مورد بررسی به سه گروه تقسیم می‌شوند: کلی (جهانی)، ناحیه‌ای، موضعی (جدول ۶).

### جدول ۶- پارامترهای آماری توزیع عناصر شیمیایی در پوسته زمین

موضعی	ناحیه‌ای	کلی
ویژگی یکایک پشته‌ها، غیره، در میان گستره‌های محدود. در صورتیکه سنگها تحت تأثیر فرآیندهای کانی‌سازی درون‌سازاد (اندوژنیک) و برون‌سازاد (اگزوژنیک) و با تمرکز عناصر کانه‌ای قرار نگرفته باشند، زمینه ژئوشیمیایی را توصیف می‌کنند.	ویژگی انواع و گروههای سنگهای که نماینده یک ناحیه ویژه و یا استان ژئوشیمیایی هستند. این پارامترها برای برآورد انحراف پارامترهای ناحیه‌ای از حالت نورم بکار می‌روند.	ویژگی انواع و گروههای سنگها در مقیاس پوسته‌ای برآورد مقدار میانگین برای انواع یا گروههای سنگها، یا برای کل پوسته زمین که کلارک سنگ مورد نظر یا کلارک لیتوسفر و یا کلارک پوسته زمین نامیده می‌شود. این پارامترها برای تعیین انحراف پارامترهای ناحیه‌ای از حالت نورم بکار می‌روند.

در سال ۱۸۸۹ یک ژئوشیمیست آمریکایی به نام کلارک<sup>۱</sup>، نخستین کسی بود که ترکیب میانگین فراوانترین عناصر موجود در لیتوسفر را محاسبه نمود. برای جاودان ماندن نام او فرسمن<sup>۲</sup> پیشنهاد کرد که مقدار میانگین یک عنصر شیمیایی معین در یک سیستم کیهان شیمیایی و یا ژئوشیمیایی مشخص (پوسته زمین، زمین، جو خورشیدی و جز اینها) کلارک عنصر شیمیایی نامیده شود. کلارک به صورت درصد وزن سیستم مورد نظر یا درصد مقدار کل (یا حجم) اتمهای تشکیل‌دهنده، بیان می‌گردد. این نامگذاری در نشریات ژئوشیمیایی شوری معمول است، در حالیکه در غرب جایگزین واژه ریاضی قراردادی «میانگین درصد» نشده است. پارامترهای کلی توزیع عناصر شیمیایی در پوسته زمین ممکن است در بررسیهای ژئوشیمیایی بعنوان معیاری برای ارزیابی ویژگیهای توزیع عنصری در درون یکایک گستره‌های ساختاری بزرگ - مقیاس

1- Clarke

2- Fersman



جدول ۷. مقدار پارامترهای پخش کلی، ناحیه‌ای و موضعی عناصر منتخب در گرانیت‌ها

خصوصیات مقدار	ناحیه و ترکیب سنگها		میانگین حسابی -		دامنه نوسان مقدار (با احتمال 1% برای ارقام مرزی)
	مقدار	لگاریتم مقدار	مقدار	لگاریتم مقدار	
نیتانیم (درصد)					
کلی	۰/۲	—	—	—	۰/۲۹ - ۰/۱۱
ناحیه‌ای	۰/۱۸	—	—	—	۰/۵۹ - ۰/۰۳
موضعی	۰/۳۱	—	—	—	۰/۷۴ - ۰/۱۵
لیتیم (درصد)					
کلی	۳۸	۱/۵۰۴	—	—	۱۳۰ - ۸
ناحیه‌ای	۴۰	۱/۵۲۸	—	—	۱۷۴ - ۴
موضعی	۳۳	—	۱۳/۶	—	۵۹۰ - ۵ ۶۵ - ۱
	۱۲۰	۲/۱۴۷	—	—	۳۴۰ - ۶۰

پارامترهای پخش (توزیع) موضعی برای عناصر اندک در سنگهایی برآورد می‌شود که تحت تاثیر فرآیندهای کانی‌سازی که منجر به تشکیل کانه‌ها و تغییرات برونزاد (اگزوزیک) بعدی در تمرکزهای معدنی (کانه‌ای) می‌شود، قرار نگرفته باشند و آنچه را که «زمینه ژئوشیمیایی» نامیده می‌شود برای یک ناحیه مورد نظر مشخص می‌نماید. مفهوم زمینه ژئوشیمیایی مبتنی است بر برآوردهای آماری توزیع عناصر اندک در سنگهایی از ناحیه یا گستره‌ای معین که تحت تاثیر تمرکزهای عنصر کانه‌ای برونزاد یا درونزاد قرار نگرفته باشد. پارامترهای پخش (توزیع) عناصر شیمیایی در سازندهای زمین‌شناختی گوناگون، بر روی هم، پارامترهای ناحیه‌ای این عناصر را تعیین می‌کند که این پارامترهای ناحیه‌ای نیز بنوبه خود و بطور کلی نماینده پارامترهای استان ژئوشیمیایی است. اگر پارامترهای موضعی پخش‌های عنصری برای کمپلکس‌های زمین‌شناختی معین و همچنین فراوانی انواع مختلف سنگها در یک استان ژئوشیمیایی، معلوم باشد، به آسانی می‌توان پارامترهای ناحیه‌ای مشخص‌کننده نموده‌های ژئوشیمیایی آن استان را برآورد نمود. افزون بر برآوردهای معمول پارامترهای توزیع که برای مقایسه و توصیف سازندهای زمین‌شناختی بکار می‌روند، در پاره‌ای موارد، اصطلاح نسبت تمرکز (CR) یا کلارک تمرکز (CC) استفاده می‌شود که عبارت

پوسته زمین که استانهای ژئوشیمیایی نامیده می‌شوند، بکار رود. مفهوم استان ژئوشیمیایی برای نخستین بار توسط فرسمن (۱۹۳۳-۳۴) مطرح شد. وی این واژه را برای توصیف نواحی همگن ژئوشیمیایی پیشنهاد نمود که با اجتماع ویژه‌ای از عناصر شیمیایی مشخص می‌شوند. بئوس<sup>۱</sup> (۱۹۶۸) این مفهوم را به این صورت تعمیم داد که: «واحدهای پوسته‌ای بزرگ مقیاس مشخص شده بوسیله نموده‌های مشترکی از تکامل زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی که بر حسب ترکیب شیمیایی مواد تشکیل‌دهنده کمپلکس‌های زمین‌شناسی، همچنین بصورت تمرکزهای فلزی و یا غیرفلزی درونزاد و برونزاد عناصر شیمیایی بیان می‌شود». توزیع زمانی و فضایی انواع مختلف تمرکزهای معدنی (کانه‌ای) نمونه‌وار یک استان ژئوشیمیایی معین، که امکان دارد در مراحل مختلف تکامل زمین‌شناختی گسترش یافته باشد، می‌تواند خصوصیات فلزایی آن استان را تعیین نماید. از اینرو تحلیل فلزایی هر ناحیه بایستی بر پایه دانسته‌های جامع و وسیعی باشد، که هم نموده‌های تکامل ژئوشیمیایی کمپلکس‌های زمین‌شناسی و هم محیطهای تکتونیک- زمین‌شناسی تشکیل آنها را دربرگیرد.

ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهایی که نماینده کل استانهای ژئوشیمیایی هستند بوسیله برآوردهای ناحیه‌ای پارامترهای توزیع عناصر سازنده آنها توصیف می‌گردد. در برخی موارد، ممکن است پارامترهای ناحیه‌ای به پارامترهای کلی نزدیک باشد، ولی در سایر موارد اختلاف‌ها قابل ملاحظه است (جداول ۷ و ۸). در نتیجه، درون پوسته زمین، استانهای (ژئوشیمیایی) با ویژگیهای توزیع ناهنجاری از یک یا چند عنصر شیمیایی وجود دارد، که در مقایسه با دانسته‌های میانگین مشخص‌کننده انواع سنگهای معین در مقیاس پوسته‌ای، بطور قابل توجهی متفاوتند.

در یک استان ژئوشیمیایی ممکن است تفاوت‌های درخور ملاحظه‌ای در توزیع یکایک عناصر یا اجتماعهای عنصری، در سنگهایی از یک نوع ولی یا سنهای مختلف، وجود داشته باشد. در این موارد پارامترهای توزیع ناحیه‌ای که برای یکایک کمپلکس‌های با سنهای مختلف اندازه‌گیری شده است، نموده‌های ژئوشیمیایی یک مرحله آذرین- تکتونیک (tectono-igneous) ویژه و یا مرحله نهشته شدن در بوجود آمدن استان ژئوشیمیایی مورد نظر را مشخص می‌نماید. این تفاوتها بویژه در توزیع عناصر اندک بخوبی آشکار است. در پاره‌ای موارد با استفاده از این تفاوتها تقسیم‌بندی فرعی کمپلکس آذرین و رسوبی با سنهای متفاوت انجام می‌گیرد، که با روشهای سنگ‌شناسی یا زمین‌شناسی متداول، میسر نیست. ویژگیهای توزیع عناصر اندک بروشنی نشان می‌دهد، که آیا یک سنگ پلوتونیک یا آتشفشانی معین، مورد دگرسانی پسمانگمای نیز قرار گرفته است یا نه، حتی اگر این دگرسانی‌ها سبب هیچ تغییر محسوس در شکل ظاهری سنگ نشده باشد.

معمولاً در یک استان ژئوشیمیایی معین، تنها گستره‌های محدودی از سطح زمین با روشهای ژئوشیمیایی، مورد پژوهش و بررسی قرار می‌گیرند، پارامترهای توزیع موضعی عناصر شیمیایی، مشخص‌کننده نموده‌های ژئوشیمیایی یک موضوع زمین‌شناسی خاص، برای واحدهای زمین‌شناسی ویژه‌ای، در گستره مورد بررسی، برآورد می‌شوند. (پشته‌های آذرین، سری آتشفشانی، سوئیت‌ها یا کمپلکس‌های دگرگونی و رسوبی)

1- Beus

جدول ۸- پار تروای توزیع کلتی و ناحیه‌ای عناصر سنگ‌ساز در گرانیت‌ها (بر حسب درصد)

عنصر	مقادیر پارامترهای کلتی (میانگین برای ۶۵ ناحیه از زمین)			مقدار میانگین عددی $\bar{x}$
	دامنه نوسان میانگین مقادیر ناحیه‌ای (با احتمال ۰/۰۱ برای ارقام واقع در مرز)	ضریب تغییرات	انحراف استاندارد	
O				۱۷/۷
Si	۳۲/۴ - ۳۵/۶	۰/۰۲	۰/۷۰	۳۲/۰ ± ۰/۲
Al	۶/۳۵ - ۸/۴۵	۰/۰۶	۰/۴۵	۷/۴ ± ۰/۱
Fe	۱/۳۱ - ۲/۳۹	۰/۱۲	۰/۲۳	۱/۸۰ ± ۰/۰۸
Mg	۰/۱۵ - ۰/۶۶	۰/۲۲	(۰/۱۴۱)	۰/۳۳ (-۰/۰۷) **
Ca	۰/۵۶ - ۱/۶۸	۰/۲۲	۰/۲۴	۱/۱ ± ۰/۰۶
Na	۱/۷۷ - ۳/۶۳	۰/۱۵	۰/۴۰	۲/۷ ± ۰/۰۴
K	۲/۶۲ - ۴/۵۸	۰/۱۲	۰/۴۲	۳/۶ ± ۰/۱۲
Ti	۰/۰۶ - ۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۰۵	۰/۱۰ ± ۰/۰۱
P	۰/۰۲ - ۰/۱۴	۰/۳۶	۰/۱۷۰	۰/۰۶ (-۱/۰۵۶)
H	۰/۰۳۷ - ۰/۰۷۹	۰/۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۵۸

\* - خطای اندازه‌گیری میانگین حسابی (عددی) در تراز اطمینانی برابر با ۰/۰۵ برآورد شده است.  
 \*\* - مقادیر داخل پر تنز برآورد لگاریتمی پارامترهای توزیع‌هایی است که از قانون لوگ نرمال پیروی نمی‌نمایند.

ادامه جدول ۸

عنصر	مقادیر پارامترهای ناحیه‌ای (ناحیه آنسوی بایکال - میانگین ۱۶۰ نمونه)			مقدار میانگین عددی $\bar{x}$
	دامنه نوسان میانگین مقادیر ناحیه‌ای (با احتمال ۰/۰۱ برای ارقام واقع در مرز)	ضریب تغییرات	انحراف استاندارد	
O				۲۱/۸
Si	۳۱/۰ - ۳۶/۶	۰/۰۴	۱/۲۱	۳۱/۸ ± ۰/۲
Al	۵/۶ - ۱۰/۰	۰/۱۲	۰/۹۵	۷/۸ ± ۰/۱۵
Fe	۰/۳۶ - ۴/۴۶	۰/۳۷	(۰/۲۳۴)	۱/۱۰ (۰/۰۴)
Mg	۰/۰۳ - ۱/۷۸	۰/۶۹	(۰/۴۱۱)	۰/۳۸ (-۰/۰۹۹) **
Ca	۰/۱۷ - ۴/۴۷	۰/۴۹	(۰/۳۰۳)	۱/۰۱ (-۰/۰۵۶)
Na	۰/۱۰ - ۴/۳۰	۰/۲۶	۰/۷۰	۲/۱۰ ± ۰/۱۱
K	۱/۶۹ - ۵/۹۷	۰/۲۴	۰/۹۲	۳/۳ ± ۰/۱۴
Ti	۰/۰۲ - ۰/۶۱	۰/۴۹	۰/۳۰۵	۰/۱۱ (-۰/۰۲۸)
P	—	—	—	—
H	—	—	—	—

\* - خطای اندازه‌گیری میانگین حسابی (عددی) در تراز اطمینانی برابر با ۰/۰۵ برآورد شده است.  
 \*\* - مقادیر داخل پر تنز برآورد لگاریتمی پارامترهای توزیع‌هایی است که از قانون لوگ نرمال پیروی نمی‌نمایند.

است از نسبت مقدار میانگین عنصر در ماده مورد بررسی (سنگ، پشته، کمپلکس و غیره) به مقدار میانگین ناحیه‌ای یا کلتی همان عنصر. توصیه می‌شود که نسبت تمرکز به وسیله مقایسه مقادیر میانگین موضعی با پارامترهای ناحیه‌ای مربوط (برآورد شده) تعیین گردد، زیرا که در برخی موارد ممکن است کاربرد کلارک‌های پوسته‌ای، تنها آگاهی‌هایی تقریبی در باره نمودهای ژئوشیمیایی کمپلکس سنگی مورد نظر را بدهد. بایستی به خاطر سپرد که مقدار عناصر اندک در انواع همانندی از سنگها، از یک استان به استان ژئوشیمیایی دیگر متفاوت است. بنابراین مقدار CR تعیین شده با توجه به مقدار میانگین کلتی (کلتی  $\times$  / موضعی  $\times$  CR) ممکن است در ناحیه‌های مختلف بکلی معنای ژئوشیمیایی متفاوتی داشته باشد. برای مثال فرض می‌کنیم مقدار لیتیم اندازه‌گیری شده در پشته گرانیتی معینی واقع در پشته بلورین اوکراین و در ناحیه خاوری آنسوی بایکال ۱۰۰ گرم در تن باشد، که بسیار زیادتر از مقدار میانگین این عنصر در گرانیت‌های لیتوسفر است، (CR = ۲/۶)، به‌جهت در ناحیه خاوری آنسوی بایکال این مقدار لیتیم، نمونه‌وار مقدار لیتیمی است که در گرانیت‌های مزوزوئیک موجود در این استان یافت می‌شود. در نتیجه، در این مورد، نسبت تمرکز ناحیه‌ای تنها اندکی از یک بیشتر است:  $۱/۱ = ۱۰۰/۹۰ =$  ناحیه‌ای  $\times$  / موضعی  $\times$  = ناحیه‌ای CR.

بر اساس برآوردهائی که از پارامترهای توزیع لیتیم ناحیه‌ای در گرانیت‌های پشته بلورین اوکراین صورت گرفته، احتمال وجود لیتیم بمقداری برابر، یا بیشتر از ۱۰۰ گرم در تن، کمتر از ۰/۰۲ می‌باشد (یعنی از هر ۱۰۰ مورد کمتر از دو مورد). این مقدار لیتیم در گرانیت‌ها بایستی یک ناهنجاری ژئوشیمیایی موضعی شدید در نظر گرفته شود. کشف علت آن سزاوار یک بررسی تمام عیار است. این ناهنجاری با نسبت تمرکز ناحیه‌ای بروشنی بیان می‌گردد:  $۲/۵ = ۱۰۰/۴۰ =$  ناحیه‌ای CR.

در برخی موارد ممکن است نسبتهای تمرکز تجریدی عناصر اندک در سنگها را برای تعیین نسبتهای ژئوشیمیایی افزایشی (جمعی) و چندبارگی (ضربی) پیچیده‌تر که رفتار گروههای معینی از عناصر شیمیایی در سنگها را مشخص می‌نماید، بکار برد.

$$CR_{MULT.} = CR_1 \cdot CR_2 \cdot CR_3 \dots CR_n$$

$$CR_{ADD.} = CR_1 + CR_2 + CR_3 + \dots CR_n$$

برای مثال، این نسبتها، ممکن است در محاسبه اندیس ژئوشیمیایی بکار روند. اندیس ژئوشیمیایی، نسبت اندیس‌های چندبارگی (ضربی) و افزایشی (جمعی) عناصری را که در سنگها انباشته می‌شوند به فراوانیهای میانگین ناحیه‌ای یا کلتی یا به عناصر موجود در این سنگها که مقدار آنها کمتر از مقادیر میانگین کلتی (و یا ناحیه‌ای) مقرر می‌باشد، نشان می‌دهد. اندیس حاصل ممکن است چون معیاری برای ارزیابی همانندی یا تفاوت‌های ژئوشیمیایی، میان سنگهای گوناگون مورد بررسی و دیگر انواع همانند استفاده شود. جدول ۹ نتایج بدست آمده توسط ایشووسکایا<sup>۱</sup> (۱۹۷۳) را نشان می‌دهد. او از عاملهای ژئوشیمیایی افزایشی و چندبارگی (ضربی) برای تقسیم‌بندی فرعی گرانیت‌های با ظاهر همانند در بخش خاوری توده آذرین درونی کورسون نوومیرگرود<sup>۲</sup> (دراوکرین) استفاده نمود. این گرانیت‌ها طبق نقشه برداری زمین‌شناختی به

1- Ishevskaya

2- Korsun- Novomirgorod

جدول ۱۱- کانیهای اصلی سنگهای لیتوسفر که از عناصر فرعی و عناصر اندک تشکیل شده است.

عناصر	گرانیت‌ها و گرانودیوریت‌ها	سنگهای متوسط باری	سنگهای آلکان	سنگهای اولترابازی
تیتانیم	ایلمنیت، اسفن	ایلمنیت، اسفن	ایلمینوروتیل، اسفن، سیلیکاتهای	-
فسفر	آپاتیت، مونازیت	آپاتیت	آپاتیت	-
گوگرد	-	سولفورهای آهن، مس، سرب، روی و غیره	-	-
زئیرکونیم	زئیرکون	زئیرکون	زئیرکون، سیلیکاتهای	-
لیتیم	میکاهای لیتیم، آمیگونیت	-	-	-
برلیوم	بریل، برتراندیت، فسفات کربنات بریل (در گرانیت‌های دگرسان شده متاسوماتیکی)	-	-	-
فلورور	فلوریت، توپاز	-	ولیبایت	-
کروم	-	کرومیت	-	کرومیت
منگنز	اکسیدهای دومین	اکسیدهای دومین	اکسیدهای دومین	اکسیدهای دومین
مس، روی	سولفورها	سولفیدها	سولفیدها	سولفیدها
سرب، نیکل	ارستویریت	ارستویریت	-	-
آرستیک	مولیدین	-	مولیدین	-
مولیدین	کاستیریت	-	-	-
قلع	مونازیت، آلایت، گزنویت، نیوبیت‌های خاکهای کمیاب	-	لوپاریت، سیلیکاتهای	-
خاکهای کمیاب	کلمیت، تانتالیت، پیرولکر میکروولیت	-	کمپلکس سیلیکاتها	-
نیوبیم و تانتالیم	تانتالو، نیوبیت‌های خاکهای کمیاب (در گرانیت‌های دگرسان شده متاسوماتیکی)	-	لوپاریت	-
توریم	مونازیت، توریت	-	توریت	-
اورانیم	اکسیدهای اورانیم فسفات‌ها و غیره	-	-	-

الگوهای توزیع عناصر شیمیایی در سنگهاست. چنین بررسیهایی تعیین نسبت هر عنصر متمرکز در کانی خاص خود و نیز توزیع آن به شکل ناخالصی ایزومرفی در کانیهای سنگ‌ساز و همراه را که تشکیل دهنده فازها و رخساره‌های گوناگون کمپلکس سنگی مورد بررسی است، امکان‌پذیر می‌سازد. از نظر پدیده‌های گسترده خارج شدن و بازنشست عناصر اندک، که در طول واکنش‌های تبلور دوباره و دگرسانی پسمانگمای سنگهای آذرین نخستین رخ می‌دهد، آگاهی‌های بدست‌آمده از این بررسیها نه تنها برای مشخص کردن تاریخچه ژئوشیمیایی عناصر، بلکه همچنین در یافتن معیارهایی برای استفاده در تعیین توان کانه‌زایی کمپلکس مورد بررسی، اهمیت ویژه‌ای دارد.

بررسی شکل ایزومرفی جایگیری عناصر در سنگها، جداسازی اجزاء تک‌کانی از سنگها و تجزیه کمتی عناصر مورد نظر در آنها را دربرمی‌گیرد. آگاهی‌های بدست‌آمده از بررسیهای پتروگرافی کمتی و کانی‌شناسی،

همراه با نتایج تجزیه اجزاء تک‌کانی بالا، برای گردآوری و تلفیق به اصطلاح موازنه توزیع یک عنصر در سنگها استفاده می‌شود. این جدولها بخش مهمی از پاره‌ای از بررسیهای ژئوشیمیایی را تشکیل می‌دهند و در برخی موارد کمک مؤثری در بررسی ویژگیهای توزیع مواد سازنده ارزشمند کانه‌هایی است که ترکیب پیچیده‌ای دارند (مثالی از موازنه توزیع (بخش) یک عنصر اندک در سنگها در جدول ۱۲ آمده است). تعمیم دانسته‌های موجود در باره الگوهای توزیع در آمیخته‌های ایزومرفی عناصر اندک، در کانیهای بدست‌آمده از سنگهای درونزاد امکان می‌دهد کانیهای تمرکزدهنده (فراهم آورنده) را برای هر عنصر اندک (کانیهای که بیشترین مقدار از این عنصر اندک را در خود متمرکز می‌کنند) و یا توده‌ای از عنصر اندک در سنگ را شناسایی کرد (جدول ۱۳).

جدول ۱۲- موازنه توزیع سرب در گرانیت (آداملیت) از ناحیه چاتکی تین‌شان (از کوزیروف Kozyrev و همکاران)

کانی	مقدار کانی در سنگ %	مقدار سرب در کانی p.p.m	مقدار سرب درون سنگ مربوط به کانی، %
کوارتز	۲۸/۰	تعیین نشده است	-
پلاژیوکلاز	۲۹/۰	۱۱	۱۸/۸
فلدسپات پتاسیم*	۳۷/۹	۳۴	۷۵/۸
بیوتیت	۳/۷	۴۰	۸/۷
مانیتیت	۰/۲	۱۱	۰/۱
زئیرکون**	۰/۰۰۴	۱۱۰	۰/۰۲
اسفن	۰/۰۰۳	دیده نشده است	-

فراوانی سرب در سنگ بر حسب ppm:  
 (۱) مقدار محاسبه شده: ۱۷/۶  
 (۲) اندازه‌گیری شده از راه تجزیه: ۱۷

\* - فلدسپات پتاسیم حمل‌کننده بخش عمده سرب موجود در سنگ.  
 \*\* - زئیرکون - تمرکزدهنده (فراهم آورنده) سرب در سنگ.

از جدول بالا چنین برمی‌آید که بیوتیت بهترین کانی شاخص برای شناخت ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای آذرین سیلیسی و خشتی است. این کانی نشاندهنده وجود لیتیم، منیزیم، مس، روی، نیوبیم، تانتالیم، قلع و تنگستن است شاخص‌های کم‌اهمیت‌تر عبارتند از: موسکویت (برلیوم، فلونور، تانتالیم، و قلع)، پلاژیوکلاز (برلیوم و مولیدین)، فلدسپات پتاسیم (سرب، روییدیم، مولیدین)، اسفن، ایلمنیت و زئیرکون (نیوبیم، تانتالیم، مولیدین و قلع)، مانیتیت (مولیدین، سرب، کروم) و پیروکسن‌ها و آمفیبول‌ها (مس و روی).

جدول ۱۳- تمرکز دهنده (فراهم آورنده)ها و حمل کننده های معدنی بخش عمده عناصر اندک

در سنگها

عناصر	کانی
لیتم رویدیم	یکاد (در سنگهای اسیدی) بویژه بیوتیت، هورن بلند (در سنگهای خشن و بازی) بیوتیت (تمرکزدهنده رویدیم در سنگهای اسیدی و خشن) فلدسپات پتاسیم (حمل کننده در سنگهای شبه گرانیتی، میکاها (در سنگهای خشن)
بریلیم فلوئور	لاژولکلازها (حمل کننده بریلیم در سنگهای نفوذی)، موسکوویت (فراهم آورنده این عنصر) یکادا و هورن بلندها (در غیاب کانهای مستقل خود)
کرم نیکل و کبالت*	یروآسن و منیتیت (در سنگهای فوق بازی و بازی در غیاب کرومیت) یروآسن های منیزیم و اولیوین (در سنگهای بازی و اولترابازی)، بیوتیت (در سنگهای خشن و اسیدی)
مس روی	یروآسن ها و آمفیبولها، همچنین مانیتیت و بیوتیت (در سنگهای نفوذی) بیوتیت و آمفیبول (در سنگهای خشن و اسیدی)، مانیتیت (در سنگهای بازی). نقش تورمالین در سنگها بررسی است.
نیوبیم و تانتالیم	یلمنیت، زیرکن، کاسیتیریت، اسفن (در سنگهای گرانیتوئید). بیوتیت شاخص جالبی است. میکاهای دیگر از اهمیت کمتری برخوردار است.
مولیبدن	فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز (حمل کننده در سنگهای آذرین). بالاترین فراهم آمدگها در مانیتیت، ایلمنیت، و اسفن دیده شده است.
قلع سزیم	بیوتیت (در سنگهای گرانیتوئید)، موسکوویت (در گرانیت های موسکوویتی)، تورمالین. بیوتیت و بعیزان کمتری موسکوویت (در گرانیت ها)
تنگستن	بیوتیت (در سنگهای گرانیتوئید)
سرب	ارتوکلازها (در سنگهای اسیدی و خشن). بیشترین فراهم آمدگی ها در زیرکن (و در برخی کانی های فرعی دیگر) یافت می شود.
* بیوتیت و دیگر کانی ها اغلب انکلوزیونهای بسیار کمی از سولفیدهای این عناصر را دربردارند که تعیین نقش کمی آنها دشوار است.	

برخی از فسفات ها و جز اینها) وجود دارد. برای مثال، اگر سنگهای گرانیتوئید را با محلول ضعیفی (۱:۵۰) از اسید کلریدریک به اضافه کلرور سدیم (۱ گرم در لیتر) شستشو دهیم، ۳۰٪ تا ۵۰٪ از سرب و ۷۰٪ تا ۹۰٪ از روی وارد محلول می گردد. سولفورمولیبدن که به آسانی حل نمی شود، تنها بوسیله تیزاب سلطانی قابل شستشو است. این عمل ۳۰ تا ۸۰٪ مولیبدن را از گرانیت جدا می سازد. در مورد اورانیم، با اثر دادن محلولی از کربنات آمونیم بر فلدسپات ها و کوارتز در سنگهای گرانیتوئید، امکان شستشوی ۷۰ تا ۱۰۰٪ کل مقدار این عنصر از سنگ فراهم می گردد.

شیوه جایگیری سریع انحلال عناصر اندک در سنگهای رسوبی و خاکها درخور توجه عملی خاصی است. در این مورد، بیشترین مقدار عناصر به شکل یونهای جذب شده در سطح ذرات پراکنده ریزی که مشخصه مواد تشکیل دهنده سازندهای رسوبی و خاکها می باشد، موجود است.

نقش هورنبلند و تو. مالین درخور توجه بیشتری است.

در سنگهای بی و اولترابازی، پیروکسن ها و آمفیبول ها و به میزان کمتری اولیوین، جالب ترین شاخص ها برای کرم، نیکل، کبالت و مس (افزون بر سولفورها) محسوب می شوند.

نحوه به اصطلاح طول پاپویای جایگیری عناصر اندک در سنگها درخور توجه ویژه است. این حالت جایگیری از راه شستشوی سنگ بوسیله آب یا حلالهای دیگری که سیلیکاتها را تخریب نمی کنند و یا تنها سبب تغییر اندکی در آنها (محلولهای کربنات سدیم، کربنات آمونیم، محلولهای اسیدی ضعیف و جز اینها) می شوند، تعیین می گردد. بدین ترتیب این نوع طرز عمل موجب شستشوی ترکیبات یا عناصری می شود که در سنگ به صورت حلوهای موئینه و میان روزنه ای، در انکلوزیونهای مایع-گازی، همچنین در کانیهایی که به آسانی حل می گردند، بویژه، میکروانکلوزیونها و انکلوزیونهای بسیار کوچک سولفوری، عناصر آزاد،

## فصل ۲

### مهاجرت ژئوشیمیایی عناصر

در هر سازند زمین شناختی در پوسته زمین، توزیع عناصر شیمیایی، با تفاوت موجود در فراوانی‌های عنصری نسبت به میانگین‌های موضعی، ناحیه‌ای و کلی مشخص می‌شود. اگر درصد میانگین (کلارک) یک عنصر در لیتوسفر بعنوان نورم میانگین معینی بحساب آید، در اینصورت انحراف از این نورم به سوی مقادیر کمتر «پراکندگی» و به سوی مقادیر بیشتر «تمرکز» آن عنصر خوانده می‌شود. بیشترین تمرکز یک عنصر شیمیایی در یک گستره پوسته‌ای معین که ارزش اقتصادی داشته باشد کانسار (یا نهشته) نامیده می‌شود. تمرکز و پراکندگی عناصر به علت حرکت اتمهای آنها در پوسته زمین است و این حرکت مهاجرت نامیده می‌شود. مهاجرت ژئوشیمیایی، چنانکه بوسیله فرسمن بیان شده است، عبارت از حرکت اتمهای عناصر شیمیایی در پوسته زمین است که معمولاً پراکندگی و یا تمرکز را بدنبال دارد. میان عاملهای داخلی (درونی) مهاجرت که از خواص فیزیکی و شیمیایی اتمهای عناصر شیمیایی پیروی می‌کنند و عاملهای خارجی (بیرونی)، که دربرگیرنده خواص ترمودینامیک و محیطهای شیمیایی مهاجرتند، تفاوت وجود دارد.

### عامل‌های درونی مهاجرت

عاملهای درونی مهاجرت شامل خواص گرمایی، گرانشی و همچنین خواص شیمیایی و رادیواکتیوی اتمهاست.

#### خواص گرمایی

در فرآیندهای زمین‌شناسی و کیهانی، قابلیت ذوب و تبخیرپذیری عناصر شیمیایی و ترکیبات آنها،

بستگی به خواص گرمایی آنها (از جمله خواص پیوندی) دارد. این خواص بویژه برای مهاجرت عناصر در مرحله سماوی کامل ماده، در دماهایی بالاتر از نقاط ذوب و جوش عناصر، اهمیت دارد. خواص ذوب ترکیبهای شیمیایی، در پوسته زیرین و پوسته (گوشته) بالائی، قوانین تشکیل گدازه‌های ماگمایی و ویژگیهای مهاجرت عناصر را ماگماها را تعیین می‌کند. در مورد جیوه، ید و عناصر گازی، خواص پیوندی نقش مهمی را در طول مهاجرت در قشرهای سطحی پوسته زمین از جمله منطقه سوپرژن ایفا می‌کند.

### خواص جاذبه‌ای (گرانشی)

خواص گرانشی آنها و یونها علتی است برای نمودهای مهاجرتی آنها در میدان جاذبه (گرانش) زمین. پخش دوباره عناصر شیمیایی، بر حسب حجم ویژه ذرات، نقش تعیین‌کننده‌ای در مهاجرت این عناصر، در پوسته زمین و پوسته بالایی دارد و بعنوان عامل اصلی در تکامل قشرهای بیرونی زمین و پیدایش ساختار قشر کنونی بشمار می‌آید (پتوس ۱۹۷۲). نقش خواص گرانشی عناصر در طول مهاجرتشان در گدازه‌های ماگمایی آشکار می‌گردد. در این گونه موارد، تفریق گرانشی موضعی درون یک مخزن ماگمایی سبب انباشت آندسته از عناصر شیمیایی (پلاتین و عناصر گروه پلاتین) یا کانیهای (کرومیت و غیره) می‌شود که در ترازهای پایتتر مخزن دارای چگالی بیشتری هستند. فرایندهای جدا شدن گرانشی گدازه‌های مایع در مایعات آمیزش‌ناپذیر با چگالی‌های مختلف، در سنگ‌شناسی به واژه معمول لیکویشن<sup>۱</sup> (میعان) شناخته شده است.

### خواص شیمیایی

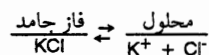
خواص شیمیایی عناصر نقش تعیین‌کننده‌ای در مهاجرت آنها درون پوسته دارد و چنین مهاجرتی بطور عمده در فاز مایع رخ می‌دهد (در گدازه‌ها، همچنین در محلولهای آبی فوق بحرانی و گرمایی). مهاجرت عنصر در فازهای گازی (بجز محلولهای آبی، فوق بحرانی) و جامد به یقین از اهمیت کمتری برخوردار است. در تمام موارد خلالت و چگونگی مهاجرت عناصر شیمیایی، بستگی به پایداری ترکیبات مهاجرت‌کننده در محیطهای فیزیکی-شیمیایی ویژه دارد. وجود انواع بیشتر کانسارها، بجز نفت و گاز، مرهون تمرکز برخی عناصر شیمیایی در محلولهای آبی است، که مهاجرت این عناصر در آنها رخ می‌دهد. به این دلیل است که بررسی رفتار عناصر شیمیایی در آن محلولهای آبی که خواصی نزدیک به محلولهای طبیعی دارند، توجه بسیار زیاد شیمی‌انها را که علاقمند به دانستن فرآیندهای تشکیل کانه هستند به خود جلب می‌نماید. تا ناحیه مورد بررسی درک نشود، فهم پدیده‌های نهشته شدن کانه‌ها ممکن نیست.

برای توصیف پویایی عناصر شیمیایی در محلولهای آبی بایستی دوباره تأکید شود که این پویایی بطور عمده بستگی به پایداری ترکیبات شیمیایی دارد (چگونگی انتقال) که این عناصر به آنجا مهاجرت می‌کنند. مفهوم پایداری بایستی روشن گردد. نکته اساسی این است که ترکیب محلولهای طبیعی پویا در شکافها و روزنه‌های بین دای سنگها در سطوح مختلف پوسته زمین بسیار پیچیده است. این مطلب بویژه در مورد

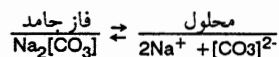
1- Liquation

محلولهای فوق بحرانی و گرمایی صدق می‌کند که در شرایط دما و فشار زیاد درون بخشهای ژرف لیتوسفر، مهاجرت می‌کنند. این محلولها که در واکنش دائمی با سنگهای پیرامون خود هستند، از همه عناصر اصلی سنگها اشباع شده‌اند. افزون بر این معمولاً دارای موادی مانند کربن، فلورور، و شکلهای مختلف یون کربنات هستند که به آسانی مهاجرت می‌کنند. فعل و انفعالات شیمیایی مختلف که در این گونه محلولهای کمپلکسی رخ می‌دهد، ترکیبات شیمیایی غیر محلولی را پدید می‌آورد که بصورت کانی در محلولها ته‌نشین می‌گردند. برای اینکه یک ترکیب شیمیایی به مسافت شایان توجهی منتقل گردد آن ترکیب نباید با سایر اجزاء سازنده وارد واکنش شود. در غیر اینصورت ممکن است کانیهای غیر محلولی را تشکیل دهد. ترکیبات سازگار با چنین شرایطی، پایدار مهاجرتی نامیده می‌شوند. این ترکیبات و عناصر سازنده آنها ممکن است در فرآیندهای طبیعی، از محل پیدایش خود تا مسافت شایان توجهی انتقال یابند. این عمل در مورد یکایک یونهای تفکیک شده برخی عناصر اتفاق می‌افتد، بشرط آنکه با سایر اجزاء سازنده در محلول واکنش نداشته و تولید ترکیبات نامحلول نکند. از اینرو پویایی عناصر در محلولهای آبی بوسیله خواص شیمیایی یونهای تفکیک شده این عناصر و نیز بوسیله ترکیبات پایدار مهاجرتی آنها با عناصر دیگر تعیین می‌گردد.

شیمی کلاسیک بخوبی نشان می‌دهد که خواص ترکیبات شیمیایی بمقدار زیادی بوسیله خواص اتمهای تشکیل‌دهنده آنها و نیز طبیعت پیوند شیمیایی میان آنها، تعیین می‌گردد. ما وارد جزئیات پیوند شیمیایی که در شیمی عمومی به آن پرداخته شده نمی‌شویم، بلکه تنها مروری خواهیم داشت بر خصوصیات و نمودهای پیوندهای یونی (الکترواستاتیکی) و اتمی (کووالانس) که در ترکیبات طبیعی متداولتراند و آهایی که در مهاجرت ژئوشیمیایی ضروری است. برای مثال، از نقطه نظر مهاجرت، بارزترین خصوصیت و نمود ترکیباتی با پیوند یونی غالب، قابلیت تفکیک آنها در محلولهای آبی است. از اینرو ضرورتاً، این یونهای تفکیک شده چنین ترکیباتی است که در محلولها مهاجرت می‌کند.



ترکیبات با پیوند کووالانس غالب، معمولاً در محلولهای آبی تفکیک نمی‌شوند و بشکل تلفیقی که اصطلاحاً یونهای کمپلکسی یا رادیکالهای کمپلکسی خوانده می‌شوند، مهاجرت می‌کنند. مثالهای نمونه‌ای از یونهای کمپلکسی:



قابلیت تشکیل پیوندهای یونی یا کووالانسی عناصر شیمیایی کاملاً بستگی به خواص اتمهای آنها، بویژه به انرژی پیوندی آنها با الکترونهای مداری آنها دارد. فلزات قلیائی با دارا بودن ضعیفترین انرژی پیوندی با الکترونهای مدار خارجی مشخص می‌شوند. قویترین انرژی پیوندی با الکترونهای خارجی، بوسیله عناصر اسیدساز تیپیک که در گوشه بالایی سمت راست جدول تناوبی جای دارند و همچنین بوسیله اکسیژن نمایش

داده می‌شود. این عناصر در تأثیر متقابل با اتمهای دیگر عناصر، گرایش بارزی به گرفتن الکترونهاى ظرفیت بنمایش می‌گذارند و اگر در گرفتن این الکترونها موفق باشند، خود یونیزه و تبدیل به آنیونهای با بار منفی می‌گردند. برای بیان کمی توانایی آنها به نگهداری الکترونهاى خود و گرفتن الکترونهاى بیرونی دیگر آنها، از مقدار الکترونگاتیویته (EN) استفاده می‌شود که با کیلوکالری یا کیلوکالری بر اتم گرم اندازه گیری می‌شود (جدول ۱۴).

نوع ویژه پیوند شیمیایی، به مقدار زیادی بوسیله تفاوت‌هایی تعیین می‌گردد که در الکترونگاتیویته اتمهای مورد واکنش وجود دارد. هر چقدر اختلاف بیشتر باشد، جذب الکترونهاى عنصر با الکترونگاتیویته کمتر، توسط عنصر با الکترونگاتیویته بیشتر، آسانتر خواهد بود. بنابراین مقادیر کم الکترونگاتیویته فلزات قلیائی پیوند ضعیف آنها با الکترونهاى ظرفیت را می‌نمایاند. فلزات این گروه به هنگام واکنش با هالوژنها، اکسیژن یا گوگرد، به آسانی الکترونهاى خارجی (بیرونی) خود را از دست داده و تشکیل پیوندهای الکترواستاتیک یونی می‌دهد. هنگامی که اختلاف در الکترونگاتیویته اتمهای در حال واکنش کمتر شود، عنصر اسیدساز انرژی کافی برای برداشتن الکترونهاى ظرفیت را از اتمهایی که با آنها در واکنش است نخواهد داشت. در چنین مواردی گرایش بسوی تشکیل پیوند کووالانس یا اتمی خواهد بود.

جدول ۱۴- الکترونگاتیویته (EN) برخی عناصر شیمیایی، کیلوکالری بر اتم گرم

عنصر	EN	عنصر	EN	عنصر	EN
Ti <sup>4+</sup> , Cr <sup>3+</sup>	۲۵۰	Pb <sup>2+</sup> , Ag <sup>+</sup> , Cu <sup>+</sup>	۱۸۰ - ۱۹۰	Cs <sup>+</sup>	۹۰
Si <sup>4+</sup> , Sn <sup>4+</sup>	۲۶۰ - ۲۷۰	Fe <sup>2+</sup>		Rb <sup>+</sup> , K	۹۷ - ۱۰۰
S <sup>4+</sup>	۲۷۰ - ۲۸۰	Sb <sup>3+</sup> , Bi <sup>3+</sup> , Co <sup>2+</sup>	۱۹۰ - ۲۰۰	Ba <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup>	۱۱۵ - ۱۲۰
B <sup>3+</sup>	۲۸۰ - ۲۹۰	Zn <sup>2+</sup>	۲۰۰ - ۲۰۵	Li <sup>+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , La <sup>3+</sup>	۱۲۰ - ۱۳۰
As <sup>5+</sup>	۲۹۰ - ۳۰۰	Be <sup>2+</sup> , W <sup>4+</sup> , Ta <sup>5+</sup>	۲۰۵ - ۲۱۰	Ce <sup>3+</sup>	۱۴۰ - ۱۵۰
		U <sup>6+</sup> , Ni <sup>2+</sup>			
P <sup>5+</sup>	۳۰۰ - ۳۱۰	Hg <sup>2+</sup> , Al <sup>3+</sup> , As <sup>3+</sup>	۲۱۰ - ۲۲۰	Th <sup>4+</sup>	۱۶۰ - ۱۷۰
H <sup>+</sup>	۳۱۰ - ۳۱۵	V <sup>3+</sup> , Nb <sup>5+</sup> , Mo <sup>4+</sup>	۲۲۰ - ۲۳۰	Mg <sup>2+</sup> , U <sup>4+</sup>	۱۷۰ - ۱۸۰
C <sup>4+</sup> S <sup>6+</sup>	۳۷۰ - ۳۸۰	Fe <sup>3+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Hg <sup>+</sup>	۲۳۰ - ۲۴۰		
Cl <sup>7+</sup>	۴۶۰	Pb <sup>4+</sup>			
O <sup>8+</sup>	۵۳۰				
F <sup>7+</sup>	۶۰۵				

اتمهای مورد واکنش، الکترونهاى ظرفیت خود را که دارای اسپینهای (Spins) مخالف است به اشتراک می‌گذارند، بطوریکه این جفت الکترونها بطور همزمان متعلق به هر دو اتم تشکیل دهنده جفت الکترون خواهد بود.

مولکول گازهای H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> ساده‌ترین مثال برای پیوند کووالانس است. دو اتم با الکترونگاتیویته

یکسان ممکن است بوسیله یک پیوند اتمی (در این مورد بخصوص، کووالانس) بهم اتصال یابند. با اینهمه مواردی که اتمهای با الکترونگاتیویته یکسان تشکیل پیوند دهند، در طبیعت بسیار کمیاب است. پیوند اتمهای با الکترونگاتیویته مختلف بسیار متداولتر است. و پیوندهای به اصطلاح مختلط یا آمیخته، بعلاوه تأثیر متقابل اتمهای گوناگون ایجاد می‌گردد و مستلزم انتقال برخی الکترونهاى ظرفیت از عنصری با الکترونگاتیویته کمتر به عنصری با الکترونگاتیویته بیشتر است، بقیه الکترونهاى اتمهای واکنش‌کننده با جفت شدن، بهم پیوسته و تشکیل پیوند کووالانسی می‌دهند. به بیان دقیق‌تر، همه پیوندهای شیمیایی میان عناصر، مختلط است. درجه پیوند کووالانسی در فلوریدهای قلیائی از چند درصد تجاوز نمی‌کند، در حالیکه در اکسیدهای چون کوارتز، درجه پیوند کووالانسی میان سیلیس (EN = ۲۷۰ kcal/g-atom) و اکسیژن (EN = ۵۳۰ kcal/g-atom) به ۵۳٪ می‌رسد\*.

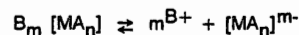
جدول ۱۴ نشان می‌دهد که مهمترین گروه عناصر شیمیایی، از جمله بیشتر عناصری که ارزش اقتصادی دارند، با مقادیر میانگین الکترونگاتیویته از ۱۹۰ تا ۲۷۰ کیلوکالری بر اتم گرم، مشخص می‌شود. این گروه تمام عناصر به اصطلاح آمفوتر (زیرکونیم، تنگستن، بریلیم، روی، آلومینیم، مولیبدن و غیره) را در برمی‌گیرد که ممکن است بسته به ترکیب محلولها، خواص قلیایی یا اسیدی از خود نشان دهند. خواص آمفوتری عناصر، قابلیت آنها را در تشکیل ترکیبات کمپلکس پایدار در محلولهای آبی با مواد سازنده معین تعیین می‌کند، که این خود از دیدگاه مهاجرت ژئوشیمیایی اهمیت دارد. این ترکیبات کمپلکسی که کمپلکسهای اسیدی نیز نامیده می‌شوند، با برتری، پیوند کووالانسی میان عنصر آمفوتر و اتم اسیدی یا رادیکال (که در این مورد افزوده خوانده می‌شود) مشخص می‌گردند. در محلولهای آبی ترکیبات، با پیوند کووالانسی قوی مشخص می‌شوند و از اینرو، فعالیت اتمهای سازنده در محلول بسرعت کاهش می‌یابد\*.\* این نمود ویژه اتمهای با پیوند کووالانسی در محلولهای آبی، نقش نسبتاً مهمی در مهاجرت بسیاری از عناصر شیمیایی ایفا می‌نماید. پیوند عنصر شیمیایی در یک یون کمپلکس پایدار- مهاجرتی، چنان عمل می‌کند که گویی خارج از حیطه تأثیر مواد سازنده درون محلولی است که قادر به واکنش با سایر ترکیبات تشکیل دهنده هستند. این مطلب را با مثالی از کمپلکسهای آمونیم و کلرور آمونیم با پلاتین که بوسیله لیدف<sup>۱</sup> (۱۹۵۷) بحث شده است می‌توان نشان داد. ترکیب [Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>4+</sup> در محلول به یونهای [Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>]<sup>4+</sup> و 4Cl<sup>-</sup> تفکیک می‌شود می‌توان همه یونهای کلر را بوسیله نیترات نقره بصورت کلرید نقره رسوب داد. با اینهمه ترکیب [Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>Cl]<sub>2</sub> در طول تفکیک شدن تنها 2Cl<sup>-</sup> آزاد می‌سازد و نتیجه آنکه تنها نیمی از مقدار کل Cl بوسیله AgNO<sub>3</sub> ته‌نشین می‌شود و ترکیب [Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Cl] در محلول آبی تفکیک نمی‌شود و AgNO<sub>3</sub> نمی‌تواند کلری را رسوب دهد.

\* - عناصر با الکترونگاتیویته‌ای از ۲۶۰ تا ۴۰۰ کیلوکالری بر اتم گرم که در آنها پیوند کووالانسی غالب است، ترکیبات اکسیژنه را تشکیل می‌دهند. تشکیل کمپلکس آنیونهای اکسیژن‌دار مانند [SO<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>, [CO<sub>3</sub>]<sup>2-</sup>, [PO<sub>4</sub>]<sup>3-</sup>, [BO<sub>3</sub>]<sup>3-</sup> و جز اینها از ویژگیهای چنین پیوندهایی است.

\* \* - فعالیت یا غلظت مؤثر یک عنصر در یک محلول، تأثیر متقابل همه یونهای موجود را بویژه، تأثیر آنها را بر قابلیت شرکت آن عنصر در واکنشهای شیمیایی ویژه آن عنصر، بحساب می‌آورد. فعالیت با فرمول  $a = f \times c$  بیان می‌شود، که a عبارت است از فعالیت، c غلظت عنصر، f عامل تناسب که عامل (فاکتور) فعالیت خوانده می‌شود. در محلولهای بسیار رقیق که اثر یونهای خارجی قابل چشم‌پوشی است، f به یک نزدیک است و فعالیت عنصر معادل غلظت آن می‌شود.

1- Lebedev

فرمول یک ترکیب کمپلکس اسیدی، معمولاً بطور شماتیک بصورت  $B_m[M A_n]$  نشان داده می‌شود. که B عنصر قلیائی است (Ca, Cs, Rb, Li, Na, K) عنصر آمفوتر کمپلکس ساز (Mo, Hg, Al, Nd, Ta, U, Be, Zn, W) و غیره) و A افزوده الکترونگاتیو (Cl, F, S, [Co<sub>n</sub>]<sup>m+</sup> جز اینها). کمپلکس‌های اسیدی طبق شمایی زیر در محلولهای آبی تفکیک می‌شوند:



کمپلکس‌های اسیدی پیچیده تر، ممکن است فرمول استاندارد به شکل  $[M A_n] A_m$  داشته باشند که در محلول به یونهای  $[M A_n]^-$  و  $m A^+$  تفکیک می‌گردد.

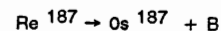
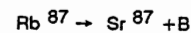
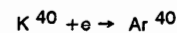
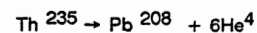
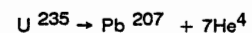
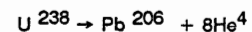
مادامیکه محیه برای پایداری یک یون کمپلکس مساعد باشد، همه مواد تشکیل دهنده آن ممکن است به آزادی در محلول آبی مهاجرت نمایند و این عناصر تا مسافتهای شایان توجهی انتقال یابند. در این کتاب از محیطهای مساعد برای پایداری ذرات کمپلکس و نیز عاملهای مسبب تجزیه آنها، در آنجا که عاملهای بیرونی مهاجرت پذیرند، بحث خواهد شد.

بدین ترتیب مهاجرت عناصر در محلولهای طبیعی ممکن است در ارتباط با خواص شیمیائی آنها به شکلهای زیر رخ دهد:

۱- به شکل یونی (بطور عمده بازهای قوی)، ۲- به شکل یونهای کمپلکسی که پیوندهنده عناصر آمفوتری و معرفیه کمپلکس ساز به عناصر اسیدی با حداکثر الکترونگاتیویته است. در این مورد دو خاصیت اصلی تر عبارت مهاجرت پذیر در محلولهای طبیعی را می‌توان مشخص نمود. این ترکیبات بایستی محلول و تا حد معینی پایدار مهاجرتی بوده و هیچگونه گرایشی به شرکت در واکنشهای شیمیائی در محیط فیزیکی شیمیائی ویژه نداشته باشند.

#### خواص رادیواکتیوی

در طول دوره کامل زمین، خواص رادیواکتیوی ایزوتوپهای برخی از عناصر (اورانیم، توریم، پتاسیم، روییدیم، رنیم و غیره) بیب کاهش شمار اتمهای آنها همراه با افزایش شمار اتمهای محصولات تلاشی رادیواکتیو می‌شود. این عمل با مثالهای زیر روشن می‌گردد:



#### عاملهای بیرونی مهاجرت

عاملهای بیرونی مهاجرت، بوسیله شرایط ترمودینامیکی محیطی که عناصر شیمیائی به آن مهاجرت

می‌کنند و آنچه خواص ذاتی اتمهای آنها را بیان می‌کند، مشخص می‌شوند. عوامل بیرونی مهاجرت، شامل خواص گرانشی زمین، محیطهای شیمیائی مهاجرت، درجه حرارت و فشار است. این عاملها بر اساس قوانین اصلی شیمی فیزیک قرار دارد، که دانش آن امکان تجزیه و تحلیل ویژگیها و طول دوره فرآیندهای طبیعی تشکیل کانی، از جمله فرآیندهای تشکیل کانسارها را فراهم می‌سازد.

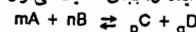
#### خواص گرانشی زمین

خواص گرانشی زمین عاملهایی است، که مهاجرت عناصر شیمیایی را در مقیاس کلی تعیین می‌نماید. این عامل به احتمال زیاد عامل اصلی تعیین کننده در تشکیل زونهای کنونی موجود درون پوسته زمین است، با اینهمه مکانیزمی که طبق آن این کار انجام می‌گیرد، بویژه برای بخشهای درونی زمین هنوز به اندازه کافی شناخته شده نیست.

#### محیط شیمیایی مهاجرت

محیط شیمیایی مهاجرت، مهمترین عامل بیرونی مؤثر در مهاجرت عناصر شیمیایی در درون پوسته زمین است. با توجه به محلولهای آبی طبیعی، که نقش تعیین کننده را در پیدایش کانسارها ایفا می‌کند، بایستی بخاطر سپرد که حرکت این محلولها، در داخل پوسته زمین در سنگهایی رخ می‌دهد که تا حد معینی با محلولهای آبی وارد واکنش شوند. به این ترتیب همه دلایل موجود حکم می‌کند که محلولهای طبیعی را همان سیستمهای کمپلکسی تلقی نمائیم که کم و بیش با مواد سازنده سنگهای درونگیر مانند قلیاییها، سیلیسیم، آلومینیم، آهن و غیره، اشباع شده‌اند. این محلولها همچنین شامل کانی‌سازهایی نظیر اسید کربنیک، کلروفلوتور است، که مواد سازنده بسیاری از انواع کانیها است. کانی‌سازها را می‌توان، در گازهای آتشفشانی متصاعد شده نیز مشاهده نمود. هر گونه فرضیه ژئوشیمیایی که بر مهاجرت عناصر در محلولهای طبیعی مترتب باشد، بایستی سرشت کمپلکسی ترکیب شیمیایی آنها را نیز بحساب آورد. طبق قانون اثر جرم برای یک محلول ایده‌آل، نرخ هر واکنشی که در این محلول انجام می‌شود، متناسب مستقیم با حاصلضرب غلظت‌های مواد واکنش کننده دارد\*. با اینهمه در محلولهای طبیعی دارای ترکیب کمپلکسی، بعلت تأثیر

\* قانون اثر جرم چنین است: نرخ یک واکنش شیمیائی، متناسب مستقیم با حاصل ضرب غلظت (فعالیت) مواد واکنش کننده دارد. در یک مورد کلی، هنگامی که m مولکول از جسم A با n مولکول از جسم B وارد واکنش شود، فرمول سرعت واکنش  $V = K a_A \cdot a_B$  خواهد بود. که  $a_A$  و  $a_B$  به ترتیب فعالیتهای مواد واکنش کننده A و B خواهد بود. K ثابت نرخ واکنش می‌باشد که معادل نرخ واکنش است. بشرط آنکه فعالیت هر یک از مواد واکنش کننده مساوی یک (واحد) باشد. ثابت نرخ واکنش بستگی به درجه حرارت دارد. از قانون اثر جرم می‌توان چنین نتیجه گرفت، که در واکنشهای برگشت پذیر، در حالت تعادل شیمیائی، حاصل ضرب ریاضی فعالیت محصولات واکنش تقسیم بر حاصل ضرب فعالیت مواد واکنش کننده، در درجه حرارت ثابت، مقدار ثابتی است که ثابت معادل نامیده می‌شود. (در محلولهای ایده‌آل، بجای فعالیت می‌توان غلظت مواد را بکار برد).



در واکنش برگشت پذیر:

$$\frac{a_C^p \cdot a_D^q}{a_A^m \cdot a_B^n} = K$$

ثابت تعادل عبارتست از:



مقابل میان مواد سازنده، نمی توان از غلظت کلی یک عنصر بعنوان معیاری در ارزیابی نرخ واکنش استفاده نمود. در این گونه موارد، از مفهوم فعالیت ترمودینامیکی که غلظت مؤثر عنصر شیمیایی داده شده را در یک محلول غیر ایده آل مشخص می کند، استفاده می شود. نتیجه آنکه، نرخ واکنشهای شیمیایی در محلولهای طبیعی تناسب مستقیم با فعالیت مواد واکنش کننده دارد. در برخی موارد، هنگامی که یک غلظت کلی نسبتاً زیادی در محلول موجود باشد، عنصر شیمیایی معینی ممکن است کاملاً غیر فعال باقی مانده، و در واکنشهای شیمیایی شرکت نکند. زیرا ممکن است عملاً فعالیت آن برای آن شرایط شیمی فیزیکی ویژه، بسیار کم باشد. واکنش شیمیایی در محلولهای طبیعی، که سبب پیدایش فرآورده های نامحلول (کانیها) می شود، تنها بستگی به فعالیت مواد واکنش کننده دارد، که در برخی موارد شدت با غلظت کلی آنها در محلول متفاوت است. از این رو ژئوشیمیستی که روی پاراژنز کانیا مطالعه می کند، معمولاً قادر به اندازه گیری غلظتهای عناصر شیمیایی در محلول کانی ساز نیست. با اینهمه به کمک دانسته های کانی شناسی حاصل از بررسیهای پاراژنتیکی امکان برآورد عینی فعالیت نسبی مواد واکنش کننده (مواد اولیه) و تغییراتشان در روند پیدایش کانی میسر گردد.

می توان یک ترکیب نامحلول (کانی) را از یک محلول کانی ساز جدا کرد، در صورتیکه حاصلضرب غلظت یونهای تشکیل دهنده محلول بیش از حاصلضرب حلالیت (SP) ترکیب باشد\* . از آنجایی که اکثریت قریب به اتفاق کانیهای طبیعی، بویژه در دمای زیاد، دارای حلالیت خیلی کم و حاصلضرب حلالیت (SP) بسیار کوچکی است، چنین نتیجه می شود که مهاجرت مواد تشکیل دهنده در محلولهای طبیعی، تنها در شرایطی امکان پذیر است، که فعالیت مواد تشکیل دهنده بسیار کم باشد.

چنانکه در بحث عاملهای درونی مهاجرت یاد شد، کمپلکس سازی یکی از راههای مؤثر در پایین آوردن فعالیت عناصر شیمیایی در محلول است. نتایج بدست آمده از آزمایشی، در دمای زیاد، برای تهیه بریل  $Al_2 Be_3 Si_6 O_{18}$  بطور مصنوعی (سنتز) (بئوس و دیکوف، ۱۹۶۷)، برای روشن شدن نقش ترکیبات کمپلکسی در متوقف نمودن فعالیت یک عنصر در محلول، می تواند مثال جالب توجهی باشد. از نظر نقش احتمالی کمپلکسهای فلئوئوری بریلیم در انتقال این عنصر (بریلیم) در محلولهای با دمای بالا، سنتز در محیط فلئوئوری، در حضور بریلات فلئوئورسیدیم  $(Na_2 [BeF_4])$ ، انجام گردید. محلولی که در اتوو قرار داده شد، همچنین شامل سیلیسیم و آلومینیم به مقداری معادل نسبت استوئیکومتری این عناصر در فرمول بریل بود. بهرحال، با وجود حضور عناصر لازم برای تبلور بریل در این محلول، سنتز این کانی به علت تشکیل کمپلکس پایدار فلئوئورید آلومینیم در محلول درون اتوکلاو بدشواری انجام شد، فعالیت آلومینیم شدت متوقف گشته و نتیجه آنکه تنها سیلیکاتهای بریلیم (برتراندیت و فناسیت) از محلولی که به شیوه ای عمل کرده که گویی آلومینیمی وجود نداشته، امکان تبلور یابد. بریل تنها زمانی می تواند مصنوعاً تهیه شود (سنتز)، که شرایط برای تجزیه کمپلکس فلئوئورید آلومینیم مساعد باشد.

\* - حاصل ضرب حلالیت SP عبارتست از حاصل ضرب غلظت (فعالیت) پونها در محلول اشباع از یک الکترولیت غیرمحلول، در یک درجه حرارت ثابت SP (حاصل ضرب حلالیت) یک ترکیب مقداری است ثابت. برای مثال، در یک محلول اشباع  $AgCl$  در درجه حرارت اتاق، غلظت پونهای نقره  $[Ag]^+$  هم ارز با غلظت پونهای کلر تا میزان  $1 \times 10^{-5}$  یون گرم لیتر است. در این مورد  $SP = [Ag]^+[Cl]^- = 1 \times 10^{-10}$

برای داشتن تصویری از چگونگی عمل ترکیبات کمپلکسی پویای فلزات آموتری، در محلولهای کانی ساز که ترکیشان مرتب در حال تغییر است، سزاوار است برخی از خواص ترکیبات کمپلکسی را، که از قانون اثر جرم استنباط می گردد، مورد توجه قرار داد. پایداری یونهای کمپلکسی در یک محلول، با استفاده از مقدار به اصطلاح ثابت ناپایداری کمپلکس  $C_{in}$ ، تعیین می گردد، که بوسیله فرمول زیر بیان می شود:

$$\frac{a_M \cdot a_A^n}{a_{MA_n}} = C_{in} \text{ (or } K_{in})$$

که  $a_{MA_n}$  فعالیت یون کمپلکس در محلول،  $a_M$  فعالیت کاتیونهای تفکیک شده عنصر کمپلکس شونده (Mo, Ta, Be, Sn, Zn, Cu, Pb) و غیره) و  $a_A^n$  فعالیت آنیونهای افزوده است.

با فرض مقدار نامتغیری برای ثابت ناپایداری  $C_{in}$ ، افزایش فعالیت آنیونهای افزوده نسبت به  $a_A^n$  در محلول، با متوقف نمودن فعالیت یونهای تفکیک شده فلز کمپلکس ساز، در پایداری کمپلکس مشارکت می نماید. در نتیجه محیطی با فعالیت افزایش یافته آنیونهای افزوده  $(F^-, Cl^-, CO_3^{2-}, HCO_3^{2-}$  و غیره) فراهم می گردد، که مساعدترین محیط برای انتقال کمپلکسهای اسیدی فلز در محلولهای گرمایی است.

بنابراین، بروز کاهش در فعالیت آنیونهای افزوده در محلول، نسبت به  $a_A^n$  به علت ضرورت افزایش همزمان در فعالیت کاتیونهای تفکیک شده فلز  $a_M$ ، منجر به تجزیه رادیکال کمپلکسی  $[MA_n]$  می گردد. تجزیه یک کمپلکس، ممکن است نتیجه کاهش فعالیت کاتیونهای تفکیک شده کانی کمپلکس ساز  $a_M$ ، در یک  $a_A^n$  ثابت نیز باشد.

در نتیجه، تجزیه کمپلکسها اسیدی عناصر واسطه، در طول فرآیندهایی که همراه با تغییراتی در ترکیب محلولهای کانی ساز است، که بنوبه خود امکان جداسازی فلز کمپلکس ساز را در یک فاز جامد فراهم می کند، بطورکلی ممکن است به سبب دو عامل باشد:

۱- واکنش یونهای تفکیک شده کمپلکسهای اسیدی با برخی از ترکیبات محلول، که نتیجه آن تشکیل

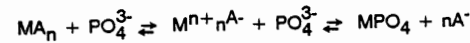
یک ترکیب نامحلول در فاز جامد است،

۲- هیدرولیز کمپلکس که بعلت افزایش pH محلول است\*

فرآورده های نامحلول واکنش، در نتیجه تأثیر متقابل میان کاتیونهای کمپلکس اسیدی  $[MA_n]$  و برخی اجزاء سازنده محلول تشکیل می شوند، بشرط آنکه فعالیت یونهای تفکیک شده  $a_M$  بیش از مقدار بحرانی مبتنی بر حاصلضرب حلالیت  $SP^*$ ، که برای تشکیل ترکیب نامحلول (کانی) ضروری است، باشد. بنابراین، در این مورد امکان جداسازی یک کانه از محلول، توسط فعالیت یونهای تفکیک شده فلز کمپلکس ساز، یعنی ثابت ناپایداری کمپلکس آن تعیین می گردد.

\* - اندیس یون هیدروژن، pH، عبارتست از لگاریتم منفی فعالیت یون هیدروژن در محلول:  $pH = \log a_H^+ + C$ . فعالیت یونهای هیدروژن  $a_H^+$  در آب خالص در ۲۵ درجه سانتیگراد برابر است با  $10^{-7}$ ، یعنی pH برابر است با ۷ در محلولهای اسیدی  $a_H^+ > 10^{-7}$  (برای مثال  $10^{-5}$ ،  $10^{-2}$  و غیره)، به عبارت دیگر، هر چه محلول اسیدی تر باشد، فعالیت یونهای هیدروژن در آن بیشتر و pH کوچکتر خواهد بود. در محلولهای قلیایی  $10^{-7} < H^+$  و در نتیجه pH محلولهای قلیایی بیشتر از ۷ است (۸، ۹، ۱۱ و به همین ترتیب).

در زیر ساده‌ترین مثال تشکیل یک فسفات نامحلول از یک کاتیون سه‌ظرفیتی M در طول فرآیند تجزیه کمپلکس اسیدی  $MA_n$  آمده شده است:



نرخ واکنش مستقیم (راست)، که منجر به تشکیل فسفات می‌گردد، از فرمول زیر بدست می‌آید.

$$v_{\text{forward}} = k_{\text{forward}} a_M \cdot a_A^n \cdot a_{PO_4}$$

که  $k_{\text{forward}}$  ضریب ثابت نرخ واکنش رفت (بطرف راست) است. هنگامی که یون فسفات فعالیت ثابتی دارد ( $i_{PC} = \text{const}$ )، سرعت واکنش به مقدار حاصلضرب  $a_M \cdot a_A^n$  یا (طبق معادله ثابت ناپایداری) به مقدار  $k_{in} \cdot a_{MA_n}$  متغیر کامل دارد.

احتمال تعادل در این واکنش، برابر است با احتمال نرخ (سرعت) واکنشهای رفت و برگشتی:

$$v_{\text{forward}} = v_{\text{reverse}} \quad \text{یا به عبارت دیگر} \quad k_{\text{forward}} \cdot a_M \cdot a_A^n \cdot a_{PO_4} = k_{\text{reverse}} \cdot a_{MPO_4} \cdot a_A^n$$

این فرمول  $a_M \cdot a_{PO_4}$  حاصلضرب حلالیت فسفات سخت محلول  $MPO_4$  است، عبارت دیگر، امکان تعادل کاملاً به مقدار  $S_{MPO_4}$  بستگی دارد. افزایش  $a_M$  نسبت به این مقدار سرعت سبب تغییر جهت واکنش به طرف راست و کاهش  $S_{MPO_4}$  می‌گردد.

از فرمول بستگی واکنش رفت به ثابت ناپایداری کمپلکس اسیدی:

$$v_{\text{forward}} = k_{\text{forward}} \cdot a_M \cdot a_A^n \cdot a_{PO_4} = k_{\text{forward}} \cdot k_{\text{forward}} \cdot k_{in} \cdot \epsilon_{MA_n} \cdot a_{PO_4}$$

چنین برمی‌آید، که اگر محلولی شامل کمپلکسهای اسیدی شماری از عناصری باشد که با یکی از اجزاء سازنده محلول، تولید ترکیبات نامحلول می‌کنند، در آنصورت عنصری که کمپلکس اسیدی آن دارای بیشترین مقدار ثابت ناپایداری است، سریعتر از بقیه عناصر ته‌نشین خواهد شد. از سوی دیگر عنصر تشکیل‌دهنده کمپلکس پایدار، با داشتن کمترین مقدار ثابت ناپایداری، به مدت طولانی‌تری در محلول باقی می‌ماند. در این مورد، نسبت عناصر  $M/1e$ ، که در هر یک از مراحل فرآیند گرمایی در یک فاز جامد جدا می‌گردند، بوسیله نسبت فعالیت کاتیونها، تفکیک شده آنها در محلول  $\frac{a_M}{a_{Me}}$  تعیین می‌شود. این نسبت، بنوبه خود به ثابت‌های ناپایداری و فعالیت کمپلکس‌های اسیدی  $MA_n$  و  $MeA_n$  بستگی دارد، یعنی تابعی است از:  $\frac{K_H \cdot a_{MA_n}}{K_{H_2} \cdot a_{MeA_n}}$ . در نتیجه، تبلور جزء به جزء ممکن است سبب جداشدن عناصر با خواص همانندی گردد، که کمپلکسهایشان پایداری متفاوتی دارند (یونس، ۱۹۵۸).

شناخت سرشت کیفیت کمپلکس ویژه‌ای که فلزات بخصوصی را انتقال می‌دهند، امکان پیش‌بینی تئوری ترتیب ته‌نشست عناصر فلزی کانه را در فاز جامد، به صورت مواد تشکیل‌دهنده کانیهای ویژه، فراهم می‌سازد.

با اینهمه، دانسته‌های آذونی طبیعت ترکیبات کمپلکسی، که موجب انتقال فلزات در خلال فرآیندهای پسمانگمائی درون‌زاد (ا- وژنیک) می‌شود، در بسیاری موارد تنها حالت کلی‌گویی دارد. بیشتر این دانسته‌ها بر اساس بررسیهای پاراز. کانیها، و ویژگیهای دگرسانی سنگهای درونگیر که با محلولهای گرمایی واکنش یافته، قرار دارد. بعنوان مثال وجود گسترده کانیهای دارای فلئوئور (توپاز، فلوریت) در برخی از نهشته‌های دمایی

بالای سازندهای آپوگرانیت و گرایزن<sup>۱</sup> نقش فعال کمپلکسهای فلئوئوردار را در انتقال فلزات همراه این نوع نهشته‌ها (قلع، تنگستن، بریلیم، تانتالیم و غیره) نشان می‌دهد، گرچه دانستن ترکیب دقیق کمپلکسهای موجود در محلولها، همچنان دشوار خواهد بود. با وجود سرشت کلی نتایج ممکن، می‌توان استنباطهای عملی بارزتری در مورد رفتار فلزات انتقال یافته در چنین محلولهایی داشت. برای مثال، در تماس با سنگهای کربناته، به علت جداشدن فلئوئور در فاز جامد (به شکل فلوریت)، کمپلکسهای اسیدی در محلولها تجزیه شده و این عمل همراه با افزایش ناگهانی فعالیت فلزات کمپلکس‌ساز و در نتیجه پیدایش کانیهای فلزی است. رخدادهایی از این گونه، (قلع و فلزات کمیاب) در طبیعت واقعاً دیده می‌شود.

در برخی موارد، ویژگیهای پارائزهای معدنی و ترکیب انکلوژیونهای گازی - مایع در کانیها، امکان شرکت کلرور و نیز ترکیبات پیچیده‌تری نظیر فلئوئور- کربنات - کلر، و کمپلکسهای کلرور را در انتقال فلزات نشان می‌دهد. بویژه، فراوانی NaCl در ترکیب انکلوژیونهای گازی - مایع، در کانه و کانیهای گرمایی گانگ<sup>۲</sup> (باطله) چنین می‌نماید، که کمپلکسهای کلرور، (کلرید) شکل مهمی از انتقال عناصر کانه‌ای نظیر سرب و مس و غیره است. پویایی و پایداری برخی از کمپلکسهای کلرور، بطور تجربی بررسی شده است (هلگسن<sup>۳</sup> ۱۹۶۷). در شرایطی که فعالیت گوگرد در محلولها زیاد باشد، به احتمال زیاد مهمترین شیوه انتقال بصورت انواع مختلف کمپلکسهای سولفوری است، که تجزیه آنها منجر به پیدایش کانیهای مختلف سولفوری در فاز جامد می‌گردد. همه ترکیبات کمپلکسی با افزوده‌های مختلف دارای خواص شیمیایی متفاوت، پایداریهای گوناگون در شرایط نظام قلیانیت - اسیدیته متفاوت محلول، و به احتمال زیاد با نقشی قابل تغییر به عامل انتقال‌دهنده برخی از فلزات می‌باشد.

با توجه به گرایش کلی محلولهای کانی‌ساز بسوی قلیانیت افزایشی که نتیجه تأثیر متقابل با سنگهای درونگیر است، رابطه داخلی میان ثابت ناپایداری و pH درخور توجه خاصی است، زیرا ممکن است تحت شرایط قلیانیت متغیر محلولها بیانگر رفتار ترکیبات کمپلکسی باشد.

با استفاده از قانون اثر جرم، می‌توان نشان داد که، در شرایطی که قلیانیت یک محلول متغیر است، پایداری کمپلکسهای اسیدی برخی از عناصر آمفوتری، تناسب مستقیم با فعالیت یونهای افزوده در محلول دارد و با فعالیت یون  $OH^-$  (یعنی افزایش pH) و همچنین با سرعت واکنش هیدرولیز کمپلکس، نسبت عکس دارد (بوس ۱۹۵۸). از اینرو، تغییر pH عامل مهمی است که همیشه باید در تمرکز کانیهای فلزی مورد توجه قرار گیرد. هنگامی که افزایش منظمی در قلیانیت محلولهای کانی‌ساز وجود دارد، pH هیدرولیز ترکیبات کمپلکسی برخی عناصر و جداشدن آنها را در فاز جامد تنظیم می‌کند.

این عامل در کانسارهایی که پیدایش آنها همراه با فرآیندهایی است که تأثیر متقابل محلولهای اسیدی با دمای نخست زیاد با سنگهای درونگیر کم‌ویش پرمایه شده از قلیانیتها را بوجود آورده است، بروشنی توصیف می‌شود. در چنین مواردی، افزایش قلیانیت محلولهایی که با سنگهای درونگیر وارد واکنش می‌شوند، عامل اصلی عهده‌دار تجزیه ترکیبات کمپلکسی محسوب می‌شود. قلیانیت افزایش یافته نیز، موجب فعالیت بیشتر

فلزات کمپلکس ساز در محلول و در نتیجه واکنشهایی است، که منجر به تشکیل کانی می شوند. این پدیده‌ها برای عناصر قلع، بریلیم، نیوبیم، تانتالیوم و عناصر خاکهای کمیاب در آپوگرانیته و پگماتیت، برای تنگستن و بریلیم در ذخائر گرایزن و جز اینها، بررسی و توصیف شده است. دانسته‌های تجربی و محاسبه شده نیز، تجزیه کمپلکسهای کلرورسرب و ته‌نشست گالن از محلولهای گرمایی، در فرآیندهای تأثیر متقابل با سنگهای درونگری را نشان می‌دهد، که نتیجه آن افزایش نسبت  $Na^+/H^+$  است (هلگسن، ۱۹۶۷).

افزون بر انواع ترکیبات کمپلکسی یاد شده، دسته‌ای از کمپلکسهای اسیدی نیز وجود دارد، که در محلولهای با قلیائیت افزایش یافته پایداری دارند، ولی با افزایش اسیدیته محلول، تجزیه می‌گردند، بنابراین دامنه وسیعی از شرایط مساعد برای انتقال فلزات و تمرکزشان (تغلیظشان) از محلولها را نشان می‌دهد.

رژیم اسیدیته - قلیائیت محلولهای پسمانگامی، اهمیت زیادی در مهاجرت عناصر شیمیایی دارد. بنابراین ضروری است، الگوهای ویژه‌ای برای تغییر خواص اسیدی - قلیایی محلولها، در فرآیندهایی تکاملی آنها، بسته به تغییرات عاملهای بیرونی (دما و فشار)، در نظر گرفته شود. روشن است همینکه محلولهای اسیدی اولیه، با سنگهای درونگیر وارد واکنش شوند قلیائیت محلولهای واکنش‌کننده، طبق قانون، افزایش می‌یابد. با اینهمه این سؤال مطرح می‌شود که: چه عواملی پیدایش محلولهای آبی اسیدی را، در طول فرآیندهای پیدایش کانی درونزاد (اندوژنیک)، تعیین می‌کند؟ در برخی موارد، با درجه اطمینان قابل قبولی می‌توان گفت، که افزایش اسیدیته به علت وارد شدن مقادیر اضافی محلول اسیدی از ژرفا نیست، بلکه نتیجه تکامل همان محلول کانی‌سازی است، که پیشتر هیچگونه خواص اسیدی نداشت.

اکنون درباره یک مدل نظری برای محلول فوق بحرانی، با دمای زیاد از یک گذار ماگمایی بحث می‌شود. طبق قوانین مقدماتی شیمی - فیزیکی، این محلول باید از همه مواد سازنده گذار ماگمایی، نسبتاً اشباع شده باشد. آنها را می‌توان برحسب خواص شیمیایی به سه گروه اصلی تقسیم نمود:

۱- بازهای قوی (Ca, Na, K و غیره).

۲- عناصر کمپلکس ساز آمفوتری (Al, Si و غیره).

۳- عناصر اسیدی ( $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $S^{2-}$  و غیره).

بایستی یاد آورد که گروههای عناصر یاد شده در بالا، پایداریهای بسیار متفاوتی در محلول آبی (یا گازی) فوق بحرانی دارند. یونهای بازهای قوی غیرقرار در محلول فوق بحرانی بمقدار کمی حل می‌شوند، بنابراین محلول بسرعت اشباع می‌گردد و فعالیت یونی در فاز گازی افزایش می‌یابد، برخلاف اسیدهای قرار که در این فاز پایداری بالاتری دارند. کورژینسکی<sup>۱</sup> (۱۹۶۴) از چنین تفاوتی موجود میان بازهای غیرقرار و اسیدهای قرار، برای توصیف فعالیت نسبتاً زیاد بازهای قوی در محلولهای آبی فوق بحرانی استفاده کرد، که می‌توان آن را به سرشت تأثیر متقابل آنها با سنگهای پیرامون، وابسته پنداشت. با اینهمه عوامل بیرونی نیز وجود دارد که دارای همان اثر می‌باشد.

1- Korzhinski

برطبق اصل لوشاتلیه\*، در شرایط فشار زیادی که درون پوسته وجود دارد. جاییکه محلولهای آبی فوق بحرانی از ماگماها (احتمالاً همچنین از پوشه بالایی) جدا می‌شوند، فاز گازی بایستی گرایش شدیدی نسبت به تشکیل گروها و یا کمپلکسهای از یونها، امها، و ملکولها در محلول داشته باشد. به این شیوه، محلول فوق بحرانی، تا حد معینی، اثر فشار را جبران می‌کند. در این شرایط واکنش میان آئینهای اسیدی موجود در محلول و عناصر کمپلکس دهنده M باید به سوی پیدایش کمپلکس اسیدی مربوطه پیش رود  $M + nA \rightarrow MA_n$ .

عناصر سنگ ساز اصلی، مانند سیلیسیم و آلومینیم، عناصر کمپلکس دهنده فعالی هستند. آهن نیز می‌تواند تشکیل کمپلکس‌هایی با گوگرد تشکیل دهد. در نتیجه ممکن است انتظار رود که همه امه‌های اسیدی و مولکولهای موجود در محلول فوق بحرانی، تشکیل کمپلکس دهند و فعالیت اسیدها در این محلولها شدت کاهش یابد.

چنین نتیجه‌گیری می‌شود که محلول آبی فوق بحرانی، در ناحیه فشار زیاد، احتمالاً شامل عناصر کمپلکس دهنده (B, Si و غیره...) و عناصر آمفوتری (Al) و بیشتر عناصر اندک کانه‌ای (غیره) است، که بطور عمده در درون کمپلکسهای دمای زیاد، عناصر اسیدی و اکسیژن محدود شده‌اند. چنانکه از تفکیک کمپلکسهای دمای زیاد، با شمایل متداول  $MA_n \rightarrow Alk^+ + MA_n$  انتظار می‌رود، فلزات قلیایی (Alk) در چنین محلولهایی به شکل یونی موجود باشند. در این فرمول Alk، فلز قلیایی است. کاهش فعالیت اسیدها در محلول، مستلزم افزایش نسبی در فعالیت یونهای تفکیک شده فلزات قلیایی است\*، که در نهایت خصلت تأثیر متقابل محلولهای فوق بحرانی با سنگهای پیرامون را منعکس می‌سازد.

شواهد دال بر فعالیت چنین محلولهایی را در ناحیه‌هایی می‌توان دید، که اولین فرآیندهای دگرسانی متاسوماتیک دمای زیاد، در سنگهای دگرگون یا آذرین رخ داده باشد. این فرآیندها که با پیدایش و گسترش اولیه فلدسپات پتاسیم و بدنبال آن آلیتی شدن سنگها بازتاب دارد، در شرایط فعالیت شدید بازهای قوی (عمدتاً پتاسیم) رخ می‌دهد.

زمانی که به علت کاهش دما محلولهای فوق بحرانی در حال تبدیل به محلولهای گرمایی است، ساختار درونی محلول بازآرایی عمده‌ای یافته و خواص شیمیایی آن تغییر می‌کند. همانطور که کورژینسکی نشان داد، تبدیل یک محلول فوق بحرانی به محلول گرمایی، با افزایش ناگهانی حلالیت بازهای قوی همراه است، که سبب کاهش فعالیت محلولهای گرمایی می‌گردد. از سوی دیگر حلالیت (قابلیت انحلال) اسیدها در یک محلول گرمایی به‌طور چشمگیری کم شده و فعالیت آنها افزایش می‌یابد.

باین ترتیب تغییرات معکوس در حلالیت بازها و اسیدها، طی تبدیل محلولهای فوق بحرانی به گرمایی،

\* - اصل لوشاتلیه، که بعنوان اصل تغییر مکان در تعادل نیز شناخته شده است، خاطر نشان می‌دارد: اگر برخی از شرایط تعادل شیمیایی تغییر یابد، تعادل در جهت پیش خواهد رفت که شرایط نخست را باز یابد: بر طبق این اصل، افزایش فشار در سیستم گازی، تعادل بکواخت را به سوی واکنشی که منجر به کاهش شمار مولکولها می‌شود پیش می‌برد.

\*\* - طبق اصل کورژینسکی (Korzhinski)، افزایش فعالیت کلی اسیدها در محلولها موجب افزایش فعالیت نسبی بازهای ضعیفتر نسبت به بازهای قوی‌تر خواهد شد. برعکس، کاهش فعالیت کلی اسیدها، موجب افزایش فعالیت نسبی بازهای قوی‌تر نسبت به بازهای ضعیفتر می‌گردد. استفاده از این قانون، در بررسیهای پاراژتر معدنی، امکان نتیجه‌گیری مهمی را در باره ترکیب محلولهای طبیعی طی تکامل ژئوشیمیایی آنها فراهم می‌کند.

افزایش فعالیت اسبها را در محلولها مشخص می‌نماید. افزون بر این کاهش دما و پیدایش فاز  $H_2O$  مایع، پایداری کمپلکسها، دمای زیاد را پایین می‌آورد. بنابراین تجزیه کامل برخی کمپلکسهای اسیدی پایدار در محلولهای فوق بحر می‌تواند زیاد راه که در فاز مایع با آزاد ساختن آنیونهای اسیدهای قوی تفکیک می‌شوند، می‌توان انتظار داشت. در نتیجه بهنگام کاهش دمای سیستم و تبدیل محلولهای طبیعی فوق بحرانی به محلول گرمایی، توان اسیدی (اسیدیته) آنها بایستی افزایش یافته و در آغاز مرحله گرمایی فرآیند پسمانگمائی، به حداکثر برسد.

این پدیده که که هشر دما موجب آن می‌شود، بویژه، بوسیله تغییر، از متاسوماتیز پسمانگمائی پتاسیم دمای زیاد در سنگهای سیلیسی، نفوذی، تا متاسوماتیز سدیم، به خوبی روشن می‌شود. پدیده فروشست اسیدی در دمای زیاد (گرایزنی شدن) در شرایطی رخ می‌دهد، که توان اسیدی محلولها به مقدار زیادی افزایش یافته باشد (کورژینسکی ۵۳، ۱، ۱۹۶۳).

گرایش عناصر آهسته‌تر به تشکیل کمپلکسها، در محلولهای فوق بحرانی و نیز محیطهای اسیدی، طی مرحله نخست فرآیند گرمایی، مهاجرت عناصر اندک کانه‌ای را آسان می‌سازد. در هر حال، محلولهای گرمایی اسیدی آغاز مرحله مهم جدیدی در فرآیند گرمایی یعنی: تأثیر متقابل فعالانه محلولهای اسیدی با سنگهای درونگیر، مشخص می‌کنند. این تأثیر متقابل بسبب خارج ساختن مقادیر زیادی از فلزات قلیائی و قلیائی خاکی، از سنگهای پیرامون است، که منجر به خنثی شدن محلولها و افزایش تصاعدی فعالیت بازهای قوی، در این محلولها می‌شود. این افزایش قلیائیت محلولها، بویژه در همبری قدامی آنها با سنگهای درونگیر، بخوبی مشخص شده است. «سد واکنش»، که با یک تغییر ناگهانی در رژیم اسیدیته - قلیائیت محلولهای گرمایی کانی‌ساز مشخص می‌شود، زونی است که تجزیه یونهای کمپلکسی زیادی در آن رخ می‌دهد و پیدایش برخی کانیها از جمله کانیهای فلزی را بدنبال دارد.

با توجه به محیط شیمیائی مهاجرت، ضروری است که نقش سنگهای درونگیری که تغییرات ترکیب شیمیائی محلولهای آبی بویا و نیز پیشرفت واکنشهای شیمیائی در محلولها را عهده دارند، تأکید گردد. سنگهای باسیالیم زیاد، مانند کوارتزیت یا ماسه‌سنگ، معمولاً سبب تغییر عمده‌ای در ترکیب محلولهای کانی‌ساز نمی‌شوند، از اینرو، تجزیه کمپلکسهای اسیدی پویای عناصر کانه‌ای، یا تبلور کانسارها را مساعد نمی‌سازد. نگاهی که این سنگها با محلولهای قلیائی وارد واکنش می‌شوند برخی اوقات سبب فلدسپاتی شدن آنها می‌گردد.

سنگهای آذرین و دگرگونه سیلیسی و قلیائی که نسبتاً پر مایه از بنیانهای قوی‌ای (گرانیتوئیدها، سینیته‌ها، گنیس‌ها، شیسته) که با محلولهای طبیعی واکنش می‌دهند، و سرچشمه بنیانهای محلولها هستند. دامنه خارج‌سازی بازها - سنگها، بوسیله فعالیت نسبی اسیدها در محلولهای کانی‌ساز تعیین می‌گردد. اگر توان اسیدی (قدرت اسیدی) محلولهای کانی‌ساز، با حداکثر فعالیت سیلیسیم در محلولها، به شکل خاصی زیاد باشد، ممکن است منجر به سیلیسی شدن سنگها گردد (اصل کورژینسکی). تأثیر متقابل محلولهای گرمایی با گروههایی از سنگهای مورد بحث، منجر به افزایش تدریجی قلیائیت محلولها می‌شود، که در پایداری بسیاری از کمپلکسهای پویای عناصر اندک کانه‌ای و بطور کلی ته‌نشست کانه‌ها تأثیر منفی می‌گذارد.

سنگهای آذرین بازی و اولترابازی، همچنین نظیرهای دگرگونی آنها، از نظر وجود قلیائی‌ها، ضعیف ولی از کلسیم که رسوب‌دهنده برخی آنیونهای اسیدی ( $F^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ) و برخی عناصر اندک (Ta, Nb, W) است، پرمایه می‌باشند. بنابراین کلسیم بر ترکیبات کمپلکسی موردنظر اثر فروپاشی دارد. سنگهای بازی و اولترابازی، معمولاً سبب تغییر محسوسی در ترکیب محلولهای طبیعی واکنش‌دهنده با آنها می‌شوند و عهده‌دار انجام واکنشهای کانی‌ساز گوناگونند، که برخی اوقات به انباشت کانسارها می‌انجامد.

سنگهای کربناته از کلسیم پرمایه بوده و تغییرات مهمی را در ترکیب محلولها ایجاد می‌کنند که به خنثی شدن محلولهای کانی‌ساز اسیدی در حال واکنش با سنگهای کربناته می‌انجامد، بویژه اگر این محلولها دارای یون فلوئور باشند. زون برخورد محلولهای گرمایی با سنگهای کربناته، سد واکنشی شناخته شده‌ای است، که ترکیبات پویای زیادی از عناصر اندک کانه‌ای در آن تجزیه می‌شوند، این عمل همراه با تبلور کانیهای مربوط است.

بنابراین محیط شیمیائی که در آن یک عنصر مهاجرت می‌کند، با تلفیق دو عامل: سرشت تغییرات درونی که در ترکیب محلولهای طبیعی با کاهش دما رخ می‌دهد از یک سو و تغییراتی که در ترکیب محلول در اثر تماس با سنگهای پیرامونی پدید می‌آید از سوی دیگر، تعیین می‌گردد.

## دما

دما در مهاجرت عناصر شیمیائی، از اهمیت عمده‌ای برخوردار است. بعنوان یک پارامتر ترمودینامیکی مستقل، در بسیاری از فرمولهای مهم وارد شده و چگونگی یک سیستم را در شرایط ویژه فیزیکی - شیمیائی توصیف می‌کند. نقش دما در تکامل ترکیب شیمیائی یک محلول سردکننده آبی دمای زیاد، در محیط محیطهای شیمیائی مهاجرت بطور خلاصه مورد بحث قرار گرفت. با اینهمه این عامل، کاربردهای بسیار گسترده تری دارد. چنین شناخته شده است که، حلالیت بسیاری از ترکیبات در محلولهای آبی دمای زیاد، بطور چشمگیری افزایش می‌یابد و نرخ واکنشهای شیمیائی نیز با دما تغییر می‌نماید. کم شدن دما منجر به کاهش حلالیت و پایداری برخی کمپلکسهای دمای زیاد عناصر کانه‌ای می‌شود، که ممکن است سبب ته‌نشست گسترده عناصر کانه‌ای مربوطه، از محلولها گردد.

بعنوان مثال، کاهش دما سبب تبلور گالن از محلول گرمایی قلیائی پرمایه از کلورورها (هلگسن، ۱۹۶۷) می‌گردد. عامل دما در فرآیندهای مانگمائی نقش بسزائی را در مهاجرت عناصر ایفا می‌کند، در حالیکه تشکیل گدازه‌های آذرین و رفتار بعدی آنها بستگی به نقطه ذوب ترکیبات شیمیایی و آمیخته‌های آنها دارد.

## فشار

فشار، پارامتر ترمودینامیکی عمده دیگری است، که بر حالت و چگونگی سیستمهای طبیعی و گرایش در رفتارشان تأثیر می‌گذارد. یک سری فرمولهای ترمودینامیکی وجود دارد، که فعالیت و توان شیمیائی ترکیبات ویژه راه، با تغییر فشار و حجمی که در طول واکنش روی داده است، وابسته می‌سازد. پیش از این درباره اثر فشار بر تشکیل کمپلکس در محلولهای آبی فوق بحرانی بحث شده است. از دیدگاه «اصل تغییر

مکان در تعادل» (اصل لوشاتلیه)، نسبت کمی یونهای محصور در کمپلکسها، به یونهای تفکیک شده موجود در محلول فوق بحرانی و نیز پایداری انباشت کمپلکسی با فشار، نسبت مستقیم دارد. بدین معنی که کاهش ناگهانی فشار در یک سیستم (مثلاً در مورد تشکیل زونهای درزه در طول فرایند تکتونیک)، بایستی سبب تجزیه بزرگ-مقیاس گروههای کمپلکس اسیدی گردد، این عمل با افزایش ناگهانی توان اسیدی محلولها و افزایش درجه کلی تفکیک، همراه است. بنابراین پیدایش تغییری ناگهانی در فشار، در سیستمی با محلول فوق بحرانی دمای زیاد را می توان بعنوان انگیزه‌ای در تنشست کانیهای فلزی دانست.

اثر فشار بر کمپلکس‌سازی در یک محلول گرمایی، بایستی بسیار کمتر از اثر آن در محلولهای فوق بحرانی باشد، و این مسأله بطور تجربی ثابت شده است (هلگسن ۱۹۶۷). بنابراین تصور می‌شود در ناحیه‌هایی که آب در فاز مایع است ممکن است اثر فشار بر ثابت ناپایداری یک کمپلکس یا نسبتهای فعالیت اجزاء سازنده، قابل چشم‌پوشی باشد.

برای درک و تغییر و تفسیر عوامل بیرونی مؤثر در مهاجرت ژئوشیمیایی عناصر در فرآیندهای طبیعی، بایستی سرنخهائی را در میان چهارچوب ترمودینامیک شیمیایی جستجو نمود. استفاده درست از الگوهای توزیع ژئوشیمیایی برای موقعیت‌های عملی ممکن نیست، مگر آنکه این عاملها شناخته شود. با وجود این در برخی موارد، با دانش کنونی بشر، ترمودینامیک ممکن است در نمایش کلی عمومی‌ترین قوانینی که فرآیندهای طبیعی را کنترل می‌کنند، مساعدت نماید. درک درستی از این الگوهای عمومی، وسیله‌ای است با ارزش، در دست ژئوشیمیستی که در جستجوی کانسارهاست.

### عاملهای مؤثر در مهاجرت عناصر شیمیایی در زون سوپرژن

این عوامل بوسیله شرایط ترمودینامیکی سطح پوسته زمین، که از بسیاری جهات با شرایط حاکم در زونهای ژرف زمین متفاوت است، تعیین می‌گردد. مهاجرت در زون سوپرژن در فشار ثابت لازم (در حدود  $1 \text{ kg/cm}^2$ ) و با تغییرات ناچیز دما رخ می‌دهد. محیط شیمیایی سطح پوسته ممکن است مستقیماً بوسیله: پژوهشهای ژئوشیمیایی فرآیندهائی که دگرسانی سوپرژن سنگها را بهمراه دارد، ترکیب شیمیایی آبهای طبیعی، خاک، هوا و غیره، مورد بررسی قرار گیرد. عاملهای زیستی و نیز انتقال مواد به شکل جذبی یا کلوئیدی، نقش عمده‌ای در مهاجرت عناصر شیمیایی در زون سوپرژن دارد.

### محیط شیمیایی

محیط شیمیایی مهاجرت سوپرژن عناصر، بطور مقدماتی بوسیله مقادیر pH و Eh\* سیستمهای سطحی

\* - پتانسیل اکسیدکنندگی - احیاءکنندگی Eh (با پتانسیل کاهش). توان سیستم را در فراهم نمودن الکترون برای اجزاء سازنده‌ای تعیین می‌کند که در واکنش  $R - ne^- = R^{+n}$  احیاء می‌گردد. در اینجا  $e^-$  شمار الکترونی است که عنصر احیاء شده به اکسیدکننده می‌دهد. Eh بر حسب ولت اندازه گیری می‌شود. فرض می‌شود که تراز صفر پتانسیل، عبارت از حالت عبور مولکول گازی هیدروژن به حالت یونیزه شده  $0000 \pm = 2e^- + 2H^+ \rightarrow H_2(gas)$  ولت باشد. پتانسیل اکسیدکنندگی - احیاءکنندگی این واکنش، که در آن فعالتهای شکلهای اکسید شده و احیاء شده در محلول یکسان است، استاندارد خوانده شده و به  $E_0$  نشان داده می‌شود.

طبیعی تعیین می‌گردد. این مطالب به تفصیل توسط پرلن (Perel'man 1968) مورد بحث قرار گرفته است. مقدار pH در منطقه سوپرژن، در بسیاری از موارد، از ۳ تا ۹ تغییر می‌کند. آبهای رودخانه‌ای و جوی سطح زمین، خنثی و یا نزدیک به خنثی است. آبهای موجود در برخی از گونه‌های قلیائی خاکها، و نیز در آب دریا، بیشترین قلیائیت را در میان آبهای شناخته شده سطحی دارد. این آبها از بازهای قوی پرمایه‌اند و pH آنها به ۸ یا ۹ می‌رسد. حداکثر اسیدیته (از ۳ تا ۵) از ویژگی آبهای طبیعی پیرامون ذخایر سولفیدی و نیز آبهای باتلاقی است. اسیدیته بیشتر چشمه‌های گرمائی ژرف به علت فرآیندهای عمقی است. pH و محیطهای اکسیدکننده احیاءکننده زون سوپرژن به طور عمده عهده‌دار پویایی عناصر، تفریق آنها در مسیر جریان و نیز ته‌نشین شدن (تمرکز) آنها در مقادیر معینی از pH و Eh است.

در آغاز نقش pH از طریق اثرات مختلفی که محلولهای دارای مقادیر مختلف pH طی فرآیندهای هوازگی بر روی سنگها بجا می‌گذارند، بیان می‌شود. با کم شدن pH اثر محلولهای طبیعی بر سطح افزایش می‌یابد. آبهای اسیدی یا اسیدی ضعیف با pH کمتر از ۶ بطور مطلوبی برای مهاجرت اکثر عناصر اندک موجود در کانه‌ها مساعدند. در عین حال، ممکن است افزایش pH آبهای سطحی، سبب ته‌نشست برخی از عناصر به شکل هیدروکسید گردد. این ته‌نشینی که به pH وابسته است بوسیله حاصلضرب حلالیت هیدروکسیدهای مربوطه و از اینرو، بوسیله مقادیر عناصر وابسته که ممکن است در محلولهای سطحی موجود باشند، کنترل می‌شود. در این مورد پرلن تأکید می‌کند که مقادیر کم برخی کاتیونها مانند  $Pb^{2+}$ ,  $Ag^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  و نیز بسیاری از عناصر اندک دیگر، در آبهای زون سوپرژن مؤید امکان حضور آنها در محلول، حتی جایی که pH مقادیر نسبتاً زیادی دارد، می‌باشد. بنابراین pH محلولهای سطحی در مهاجرت سوپرژن این عناصر مستقیماً اثر نمی‌کند. برعکس کاتیونهای چون  $Zr^{4+}$ ,  $Cu^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Sn^{2+}$  تنها ممکن است توسط محلولهای اسیدی قوی انتقال یابند و همچنانکه قلیائیت محلولها افزایش می‌یابد به آسانی ته‌نشین می‌شوند. برای مثال، این محلولهای اسیدی قوی در طول اکسید شدن کانسارهای دارای سولفید تشکیل می‌شوند. و قادر به انتقال تعداد زیادی از کاتیونهای با پویایی کم به شکل سولفات تنها با ترکیبات هالوژنه تا مسافت معینی از کانسار می‌باشند. این مسافت بستگی به نرخ افزایش pH محلولها در فرآیند خنثی شدن دارد. با اینهمه حتی محلولهای قلیائی که pH بالاتر از ۷ دارند، می‌توانند مقدار زیادی یونهای با ظرفیت زیاد را انتقال دهند (معمولاً به شکل کمپلکس شده)، این عمل، بویژه، کروم و مولیبدن شش ظرفیتی و آرسنیک و وانادیم پنج ظرفیتی را دربرمی‌گیرد.

همانند آنچه در محلولهای درونزاد (اندوژنیک) رخ می‌دهد، محلولهای زون سوپرژن نیز کمپلکس‌سازی گسترده‌ای را بنمایش می‌گذارند. در نتیجه مهاجرت سوپرژن عناصر شیمیایی در آبهای طبیعی را می‌توان تنها برآوردی مقدماتی از مهاجرت یونهای ساده تلقی نمود، زیرا وجود عناصر در محلولها بدین صورت همیشه هم نشان‌دهنده شکل واقعی حضور آنها در محلول نیست. برای بیشتر فلزات، تشکیل یونهای کمپلکس سبب افزایش pH رسوب هیدروکسیدی گشته و معمولاً حلالیت فلزات را آسان می‌گرداند، مقادیر pH بدست آمده از ته‌نشینی هیدروکسید بطور تجربی (جدولهایی که در بسیاری از کتابهای مرجع ژئوشیمی آورده شده است)، در تعیین پدیده‌های طبیعی از اهمیت محدودی برخوردار است.

ترکیبهای کم کسبه دارای عناصر اندک کانه‌ای در محلولهای طبیعی سطحی از همان قوانینی پیروی می‌کنند که در مورد محلولهای اندوژنیک فوق، صادق است. در این مورد نیز، تغییر pH محلولها یا ته‌نشست یونهای تفکیک شده ترکیب کمپلکسی، عامل اصلی تجزیه کمپلکسها می‌باشد. شکل‌های ته‌نشین شدن کانیهای نامحلول طی فرآیندهای سوپرژن بوسیله مواد رسوب‌دهنده کنترل می‌شود. این مواد رسوب‌دهنده شامل  $S^{2-}$ ,  $CO_3^{2-}$  و نسبت کمتری  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$  است. سولفید هیدروژن فعالترین رسوب‌دهنده عناصر کانی‌ساز در محل‌های قلیائی محسوب می‌شود. حتی مقدار کمی از یون  $S^{2-}$  در محلول، می‌تواند سبب جداسازی کامل فلات حاضر در محلول و انتقال آنها به فاز جامد گردد (با فرض اینکه آبهای شیرین طبیعی شامل تقریباً  $1 \times 10^{-6}$  تا  $1 \times 10^{-7}$  گرم بر لیتر Hg و Co, Ni, Zn, Cu باشند).

هیدرولیز کم کسبه‌ها به علت تغییرات pH محلولها (بشرط آنکه مقدار عناصر اندک در محلول بسنده باشد)، در نهایت نجر به ته‌نشست هیدروکسیدهای فلزی می‌شود. بسیاری از هیدروکسیدها دارای پایداری زیاد قابل قبولی است، از اینرو امکان دارد هیدروکسیدها را بعنوان عامل انتقال فلزات در محلولهای سوپرژن در نظر گرفت، چنان‌که ازنگاشتی در مورد کربناتهای نیکل، مس، روی، و نقره صادق است.

وجود کمپلکس‌های ارگانومتالیک به نام شلات (Chelates)\* از نموده‌های ژئوشیمیائی ویژه زون سوپرژن است. بسیاری از این کمپلکسها در آب محلولند، بنابراین فلزات در آبهای سطحی و زیرزمینی می‌توانند به این شکل انتقال یابند. شلات‌ها که در خاک مهاجرت می‌کنند، به آسانی توسط گیاهان جذب می‌گردند، در نتیجه در تبادل ژئوشیمیائی میان محلولهای سوپرژن و زیست‌کره (بیوسفر) شرکت می‌کنند.

اگر واکنشهای شیمیائی که در زون سوپرژن انجام می‌شود، با تبادل الکترون همراه باشد، می‌توان آنها را بعنوان واکنش‌های اکسیدکننده-کاهنده در نظر گرفت. همچنانکه پیش از این یاد شد، از دست دادن و یا گرفتن الکترون توسط یک ماده، بوسیله الکترون‌نگاتیویته آن عنصر کنترل می‌شود، در نتیجه عناصر الکترون‌نگاتیوی مانند اکسیژن، هالوژنها و غیره از جمله قویترین اکسیدکننده‌ها هستند. در زون سوپرژن، اکسیدکننده‌ها همچنین شامل  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ,  $Mo^{6+}$ ,  $Cr^{6+}$ ,  $As^{5+}$ ,  $V^{5+}$ ,  $S^{6+}$  و جز اینها بوده که همگی قادر به دریافت الکترون، در واکنشهای اکسیداسیون-احیاء می‌باشند. اجزاء سازنده چنین واکنشهایی که الکترون از دست می‌دهند، عامل کاهنده بشمار می‌آیند و ضمن احیاء کردن عناصر الکترون‌نگاتیو، خود اکسید می‌گردند. بنی عناصر الکترون‌نگاتیو عامل اکسیدکننده هستند. شمار زیادی از ترکیبات آلی، و یونهای  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $S^{2-}$  جز اینها، فعالترین عامل‌های احیاءکننده (کاهنده) در شرایط ویژه مهاجرت سوپرژن می‌باشند.

پتانسیل احیاء کاهش طبق فرمول زیر به فعالیت اجزاء واکنش‌دهنده، به شکل احیاء شده ( $a_{red}$ ) و اکسید شده ( $a_{ox}$ ) بستگی دارد.

که n شمار الکترون باین است که در واکنش شرکت می‌کنند و T دمای مطلق است.

در هر محلول بیعی مقدار پتانسیل احیاء (کاهش) ثابت ژئوشیمیائی مهمی است و توانائی یک محلول

\* - توضیح ویراء: Chelate یعنی ماهی پشت پا از ریشه یونانی است و اشاره بر نحوه کمپلکس‌سازی دارد.

را در اکسید و یا احیاء کردن یونها، تعیین می‌نماید. در زون سوپرژن این توانائی معمولاً بستگی به وجود جزء یا اجزاء سازنده‌ای دارد که جریان واکنشهای اکسیداسیون-احیاء را در محلول موردنظر کنترل می‌کند. این اجزاء که اجزاء «بالقوه تعیین‌کننده» نامیده می‌شوند در درجه اول شامل اکسیژن آزاد، ترکیبات آلی، سولفید هیدروژن، یونهای آهن فریک و فرو، و به نسبت کمتری، یونهای منگنز دو ظرفیتی و چهار ظرفیتی است. آهن متداولترین شاخص محیطهای اکسیده کننده-احیاء کننده زون سوپرژن است. وجود ترکیبات آهن فروری سوپرژن (ویویانیت و ملاتریت) معرف محیطهای احیاءکننده مهاجرت است، در حالیکه ترکیبات اکسیدی وابسته در درجه اول هیدروکسید آهن قرمز و قهوه‌ای (لیمونیت، گوتیت)، شاخص محیطهای اکسیدکننده‌اند.

شناخت پتانسیل احیاء محیطهای مهاجرت، این امکان را فراهم می‌کند که نسبت به شکل‌های ممکن انتقال عناصر اندک کانه‌ای داوری کرده و به نتایج دقیقی درباره امکان انتقال یا ته‌نشست برخی فلزات، در شرایط ژئوشیمیائی ویژه، دست یافت. همچنین لازم است که pH محیط را بحساب آورد، زیرا که بسیاری از واکنشهای اکسیدکننده-احیاءکننده که گرایش به اکسیدکردن یک کاتیون دارند، در محیطهای قلیائی به مقادیر Eh بسیار کمتری نیاز دارند. این مطلب توسط پرلمن با مثال زیر که مبتنی بر آهن است روشن می‌شود. تبدیل آهن فرو به آهن فریک، در محیطهای اسیدی قوی (در زون اکسیداسیون کانسارهای سولفیدی و در باتلاقهای اسیدی تیگا) که مقدار Eh از  $(+0.4)$  تا  $(+0.6)$  تغییر می‌کند، صورت می‌گیرد. ولی، این مرز در محیطهای قلیائی (در خاک و در پوسته‌های هوازده در بیابانها) مقداری کمتر از صفر (Eh دارای مقدار منفی است) دارد. آبهای زون سوپرژن، که حاوی اکسیژن آزاد به شکل حل شده است، معمولاً با تغییرات Eh از  $+0.150$  تا  $+0.700$  مشخص می‌شود. با زیاد شدن ژرفا، Eh آب زیرزمینی در مقایسه با آبهای اکسیژن‌دار سطحی کمتر می‌شود و در ژرفای بیش از ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری به یک هزارم ولت می‌رسد. کمترین مقادیر Eh (کمتر از صفر) از ویژگیهای آبهای احیاءکننده موجود در حوضچه‌های نفتی است.

تبدیل آهنی که در آبهای سوپرژن مهاجرت می‌کند، از فرو به فریک، با ته‌نشست هیدروکسیدهای آهن همراه است و در مهاجرت آبی عناصر اندک کانه‌ای اهمیت زیادی دارد. این مطلب بخصوص در مورد پدیده‌های عناصر اندک، توسط اکسیدهای آهن کلوئیدی ته‌نشین شونده، صادق است. بنابراین شناخت محیطهای ژئوشیمیائی، که اکسیداسیون آهن در آبهای طبیعی را کنترل می‌کنند، در بررسی ویژگیهای مهاجرتی عناصر اندک کانه‌ای کمک مؤثری است.

### کلوئیدها و جذب سطحی

شکل‌های کلوئیدی مهاجرت و پدیده‌های جذب، نقشی مهم (نه تعیین‌کننده) در مهاجرت و تمرکز آهن، آلومینیم، منگنز و همچنین شمار زیادی از عناصر اندک، در زون سوپرژن ایفا می‌کند. شکل کلوئیدی (Sol) مهاجرت عناصر در شرایط اقلیمی مرطوب، جاییکه بیشتر عناصر اندک آموغرتی موجود در کانه‌ها، به احتمال زیاد به شکل کلوئیدی مهاجرت می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با اینهمه، در رودخانه‌هایی که در زونهای اقلیمی گرم جریان دارند بخش اعظم آهن، منگنز، فسفر و عناصر اندک فلزی به شکل محلولهای کلوئیدی، یا تعلیق‌های مکانیکی (پراکنده شده به صورت ذرات ریز)

انتقال می‌یابد.

با توجه به این واقعیت، که کلوئیدها قادر به جذب یونها و ملکولها از محلولهای آبی هستند، حتی اگر مقدار آنها ناچیز باشد و به حاصلضرب حلالیت نرسد، توصیه می‌شود که امکان وجود «شکل خاصی از جذب کلوئیدی مهاجرت عناصر اندک» پذیرفته شود. ذرات ریز و معلق مواد رسی، کلوئیدهای آلی گیاهی هیدروکسیدهای آهن، آلومینیم، منگنز و غیره می‌توانند نقش جاذب را داشته باشند، یعنی حمل‌کننده‌های عناصر اندک در آبهای سطحی و زیرزمینی باشند. در نتیجه، ته‌نشست یک عنصر اندک در مسیرهای مهاجرت آبی آن، به حاصلضرب حلالیت یا فعالیت آن عنصر در محلول بستگی ندارد، بلکه بوسیله ته‌نشست ماده جاذبی که می‌تواند حمل‌کننده این عنصر اندک باشد، کنترل می‌گردد. برای اکثریت گسترده‌ای از عناصر اندک که غلظت آنها در آبهای زون سوپرژن بسیار کم است و تقریباً هرگز به مقدار لازم برای ته‌نشین شدن نمی‌رسد، ته‌نشینی جذبی (بطور ویژه هم‌رسوبی (Cocprecipitation) بهمراه جاذب - حمل‌کننده، شیوه اصلی ته‌نشست محسوب می‌شود. تغلیظ (تمرکز) عناصر اندک از محلولهای آبی تراواکه بوسیله کلوئیدهای موجود در خاک یا در رسوبهای رسی صورت می‌گیرد، نیز مکانیزم مهمی برای انباشت عناصر اندک در انواع معینی از سازندهای زمین‌شناختی بشمار می‌آید.

شیوه جذب کلوئیدی انتقال عنصر اندک در آبهای زون سوپرژن می‌بایستی در همه نتیجه‌گیریهای ژئوشیمیایی که بر الگوهای توزیع عناصر ویژه در رسوبات و یا خاکهای عصر حاضر متکی است، مورد توجه قرار گیرد.

عناصر اندک جذب شده توسط ته‌نشین‌کننده‌های پراکنده ریز در خاکها و رسوبهای گوناگون را می‌توان بصورت محلول درآورد. این کار با اثر دادن محلول اسید کلریدریک ضعیف (۲٪) بر سنگها یا خاکها در دمای کم یا در حین گرم کردن، انجام پذیر است. اسید کلریدریک استخراجی که بر بخش سیلیکاته مواد مورد بررسی اثر نمی‌کند، امکان دآوری درباره بخشی از عناصر اندک حمل شده در محلول و جذب شده در رسوبات و خاکها را امکان‌پذیر می‌سازد.

#### مهاجرت زیست‌شناختی

مهاجرت زیست‌شناختی عناصر شیمیایی، یگانه ویژگی زون سوپرژن است. در سال ۱۹۴۰ ورنادسکی، بنیانگذار تئوری نقش ژئوشیمیایی که توسط اندامهای زنده در سطح زمین صورت می‌گیرد، تأیید کرد که «بطور کلی، در روی زمین هیچ نیروی شیمیایی همیشگی‌تر و بنابراین در نهایت، توانا‌تر از اندامهای زنده وجود ندارد».

سه مرحله اصلی در چرخه مهاجرت بیوژئوشیمیایی مشخص شده است:

- ۱- فروپاشی سنگها بر اثر عوامل زیست‌زائی، که حاصل آن پیدایش ترکیبات انحلال‌پذیر برخی عناصر است.
- ۲- بیرون کشیدن عناصر زیست‌زا و عناصر اندک به صورت ناخالصی از هوا و محلولهای آبی و انباشت آنها در اندامها زنده.

#### ۳- انباشت، تجزیه و کانی‌سازی بقایای آلی.

هر یک از این مراحل با ویژگیهای مهاجرت، غلظت (تمرکز) و پراکندگی عناصر شیمیایی، که موضوع اصلی بیوژئوشیمی است، مشخص می‌شود.

اندامهای زنده (که تبادل ثابتی با اتمسفر و هیدروسفر و در نتیجه با لیتوسفر دارند)، علاوه بر عناصر زیست‌زای متداول (O, C, H, N, S, P, K, Fe, و غیره)، با عناصر اندک مختلفی نیز انباشت می‌یابند. انباشت عناصر اندک، به نیازهای اندامهای زنده و به ویژگیهای ژئوشیمیایی محیطی که در آن تبادل انجام می‌گیرد وابستگی دارد. بنابراین تا حد معینی می‌توان از اندامهای زنده بعنوان شاخص ویژگیهای ژئوشیمیایی محیط استفاده کرد. از این دیدگاه، گیاهان که وابستگی ژئوشیمیایی نزدیکی، با خاکها و سنگهای زیرین دارند، نقش ویژه‌ای را به عهده دارند. گیاهان با استخراج محلولهای غذایی از افقهای خاکی نسبتاً ژرف، پاره‌های عناصر اندک را گردآوری و پس از فروپاشی، افقهای سطحی خاک را از این عناصر پرمایه می‌سازند. نتیجه تکرار چرخه‌های زیست‌زا می‌تواند به انباشت عناصر اندک در افقهای بالائی خاک بیانجامد، که در برخی موارد امکان استفاده از الگوهای توزیع آنها را برای رسیدن به نتایجی درباره ویژگی ترکیب سنگهای زیرین بخصوص در مورد وجود غلظتهای زیاد غیرمعمول برخی عناصر کانه‌ای در چنین سنگهایی، فراهم آورد.

فصل‌های بعدی این کتاب نشان خواهد داد که گاهی اوقات می‌توان از این نموده‌ها، در حل مسائل عملی که در اکتشاف کانسارها پیش می‌آید استفاده کرد.

#### سدهای ژئوشیمیایی

برای مشخص کردن پدیده‌های تمرکز سوپرژن (برین‌زاد) عناصر، پرلمن، اصطلاح «سدهای ژئوشیمیایی» را (جدول ۱۵) معرفی کرد. این واژه بر تغییری ناگهانی در محیط فیزیکی شیمیایی، در مسیرهای مهاجرت عناصر دلالت دارد که سبب ته‌نشست برخی از عناصر از محلول می‌گردد. این اصطلاح را می‌توان در مورد فرآیندهای مهاجرت درون‌زاد (اندوژنیک)، با موفقیت بکاربرد که در آن سدهای دما و کاهش فشار بوسیله تغییرات ناگهانی دما و فشار پدید می‌آیند و نقش مؤثری در فرآیندهای کانی‌سازی دارند. سدهایی جذبی و اکسیدکننده - احیاءکننده، که معمولاً اثرشان توأم است، در طول مهاجرت سوپرژن عناصر، از اهمیت عمده‌ای برخوردارند. این سدها بوسیله پرلمن نیز شناخته شده‌اند. سد جذبی عهده‌دار ته‌نشست یونهای باردار مثبت (رسوب‌دهنده‌های ذرات رسی، کلوئیدهای آلی، زغالسنگ نارس و غیره) و منفی (رسوب‌دهنده‌ها هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم و غیره) به صورت ذرات ریز و پراکنده، در سطح است. بخصوص ته‌نشست فاز هیدروکسید آهن پراکنده در سد اکسیدکننده، سبب جذب و ته‌نشست یونهای کمپلکسی باردار منفی ارسنیک و فسفر، اورانیم، وانادیم و جز اینها می‌شود. بسته‌شدن کلوئیدهای آلی به نوبه خود با جذب و ته‌نشست کاتیونهای مس، سرب و روی و غیره همراه است. همچنین تغلیظ گروه کاتیونها و آنیونهای بالا در سد جذبی، طی فرآیند تراوش محلولها از میان محیطهای رسی و خاکها و نهشته‌های سخت نشده پرمایه از خاک برگها و همچنین هیدروکسیدهای آهن و آلومینیم، انجام می‌شود. سد احیاءکننده سولفید هیدروژن، اهمیت زیادی در فرآیندهای تمرکز درون‌زاد (اندوژنیک) عناصر

جدول ۱۵ - سدهای ژئوشیمیائی

نوع سد	ویژگیها
دما	برای مهاجرت در فرآیندهای اندوژنیک بسیار مهم است (به مبحث فاکتورهای بیرونی مهاجرت مراجعه شود). نقش این سد در فرآیندهای اگزوژنیک اهمیت چندانی ندارد.
کاهش فشار	در فرآیندهای اندوژنیک کاهش ناگهانی فشار در سیستم، نقش عمده‌ای در فرآیندهای کنائی سازی دارد. در فرآیندهای برونزاد (اگزوژنیک) از اهمیت بسیار کمتری برخوردار است.
اسید - قلیا	اثر تغییر رژیم اسیدیته - قلیائیت یک محلول طی فرآیندهای اندوژنیک، گاهی اوقات عامل قطعی در جداسازی بسیاری از اجزاء تشکیل دهنده در فاز جامد و تمرکز مواد کانه‌ای (معدنی) است. ولی در فرآیندهای اگزوژنیک اهمیت کمتری دارد، با اینهمه هنگامی که محلول در مرز افقهای خاکی اسیدی ضعیف و ترازهای ژرفتر پرمایه از مواد کربناته با سنگ آهک تماس پیدا می‌کنند، سد قلیائی عهده‌دار ته‌نشست آهن، نیکل و فلزات دیگر از محلول است.
اکسیدکننده - احیا کننده	در فرآیندهای اندوژنیک اگزوژنیک، تفسیری ناگهانی در محیطهای اکسیدکننده احیاءکننده در مسیرهای مهاجرت، اثر قطعی بر روی ته‌نشست برخی فلزات دارد.
الف - اکسیدکنند ب - سولفید هیدرژن احیاءکننده ج - افق خاکی ا - یاءکننده	هنگامی رخ می‌دهد که آبهای نوحاسته یا زیرزمینی کم اکسیژن، با آبهای سطحی پرمایه از اکسیژن، تماس یابد. این سد در ته‌نشست اکسید آهن و منگنز در آبهای سطحی بسیار مهم است. سبب ته‌نشست بیشتر فلزات به شکل سولفید می‌گردد. سبب ته‌نشست برخی فلزات آتیون‌زا مانند اورانیم، وانادیم و مولیبدن می‌گردد.
سولفات و کربنات	بمحض برخورد آبهای سولفات‌دار و کربنات‌دار با آبهای پرمایه از کلسیم، استرانسیم و باریم واکنش انجام می‌شود و ژیس و سولستین تشکیل می‌گردد.
جذب	نمونه شاخص سد ژئوشیمیائی اگزوژنیک است و در ته‌نشست عناصر اندک از آبهای زیرزمینی و سطحی اهمیت بسیار دارد.
تبخیر	در ناحیه‌هایی که آبهای زیرزمینی بسرعت تبخیر می‌شوند رخ می‌دهد. و با نمک‌سازی، تشکیل ژیس و غیره... همراه است.
مکانیکی	در نتیجه تغییراتی که در سرعت جریان آب حاصل می‌شود (یا حرکت هوا) سد مکانیکی بوجود می‌آید و موجب ته‌نشست کانه‌های سنگین می‌گردد. این سد در تشکیل کانسار پلاسری نقش عمده دارد.

گوگرد دوست به شکل سولفید دارد. در منطقه سوپرژن (برین‌زاد) این سد در ناحیه‌های تماس آبهای زیرزمینی یا آبهای سطحی اکسیدکننده یا آبهای احیاءکننده ضعیف، با مواد آلی متلاشی شونده، دیده می‌شود (برای مثال رخداد گسترده تمرکزهای پیریت و مارکاسیت در پوسته فسیل نرم‌تان)، همچنین هنگامی که چنین آبهایی با حوضچه‌های نفتی و غیره برخورد نماید، ته‌نشینی سولفیدهای فلزی سنگین، در درجه اول پیریت، شاخصی تیبیک برای سد سولفید هیدروژن احیاءکننده است.



## فصل ۳

### مفاهیم کلی استفاده شده در ژئوشیمی کاربردی

#### اطلاعات کلی

در روشهای ژئوشیمیایی اکتشاف کانسارها از ویژگیهای مهاجرت و تمرکز عناصر کانه‌ای و عناصر همراه، طی فرآیندهای تشکیل و تخریب سوپرژن کانسارها استفاده می‌شود. مفهوم اصلی ژئوشیمی بنیادی و نیز تئوری کانسارها، اساس علمی این روشها را فراهم می‌سازد.

اکتشافات ژئوشیمیایی با نمونه برداری درست و منظم (سیستماتیک) از مواد طبیعی مناسب، بررسیهای آزمایشگاهی زیر را بدنبال دارد:

الف - اندازه گیری مقادیر برخی عناصر شیمیایی که شاخصهای کانی سازی محسوب می‌شوند، با استفاده از تکنیکهای تجزیه‌ای بسیار حساس گوناگون.

ب - پردازش نتایج تجزیه‌های حاصل، به کمک روشهای آماری.

پ - تعبیر و تفسیر اطلاعات حاصل با استفاده از کلیه دانسته‌های ژئوشیمیایی و زمین‌شناختی موجود. بخش آخر قاعدتاً پیچیده‌ترین آنهاست.

بررسیهای ژئوشیمیایی بسته به نوع مواد طبیعی نمونه برداری شده، با عناوین لیتوژئوشیمیایی، هیدروژئوشیمیایی، بیوژئوشیمیایی و اتموژئوشیمیایی، دسته‌بندی شده است.

روش لیتوژئوشیمیایی که بر اساس بررسیهای توزیع عناصر در سنگها، مواد سخت نشده و خاکها استوار است، در اکتشاف کانسارها اهمیت ویژه‌ای دارد\*. روشهای هیدروژئوشیمیایی (نمونه گیری از آبهای طبیعی) بیوژئوشیمیایی، نمونه گیری از مواد زنده، بوژه گیاهان) و اتموژئوشیمیایی (نمونه برداری هوا)، در بیشتر موارد، روشهای کمکی تلقی می‌گردند و در مواردی که روشهای لیتوژئوشیمیایی به اندازه کافی مؤثر نباشد،

\* - در ادبیات غرب، واژه لیتوژئوشیمیایی به بررسی مواد سنگی منحصر شده است.

مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حل بعضی مسائل اکتشافی ویژه نیز بکار می‌روند.

در عمل، همهٔ عیارهای اکتشافی، بر مبنای تفاوت‌های محسوس موجود در توزیع عناصر (یا گروه‌های عناصر) شیمیایی مشخص در مواد طبیعی همراه کانسارها، در مقایسه با موادی که فاقد این تجمع می‌باشند، قرار دارد. مقایسه‌ها بر اساس ویژگی‌های توزیع موضعی عناصر شیمیایی، در سنگ بستر متأثر نشده از هرگونه فرآیند کانی‌سازی، ستوار است و نیز در مواد سخت‌نشده، خاک‌ها، آب‌ها و گیاهانی که مواد تشکیل‌دهندهٔ آنها نیز از تأثیر تمرکز معدنی اندوژنیک و اندوژنیک در امان مانده است. این ویژگی‌ها که ممکن است به کمک برآوردهای آماری ابراه‌ترهای توزیع موضعی عناصر شیمیایی (به فصل ۱ مراجعه شود) بصورت ریاضی توصیف شود بعنوان «زمینهٔ ژئوشیمیایی موضعی» معرفی شده و مفهومی است که در اکتشاف ژئوشیمیایی استفاده از آن بسیار متداول است.

اگر پارامترهای توزیع مقادیر عناصر شاخص یک زمینهٔ ژئوشیمیایی، شناخته شود (یا لگاریتم مقادیر، بسته به قانون توزیع)، بر آورد دامنهٔ تغییرات مقادیر این عناصر با هر احتمال دلخواهی برای مقادیر مرزی، به آسانی انجام پذیر است. در یک بررسی ژئوشیمیایی عملی دامنهٔ مربوط به احتمالات مقادیر مرزی ۰/۰۵ و ۰/۰۱ و بمقدار کم ۰/۰۳، بطور معمول بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اکتشافات، بیشترین انحراف از مقدار زمینه «مقایسه ناهنجاری حداقل (آستانه)» نامیده شده و در تراز معنی‌دار ویژه‌ای تعیین می‌گردد (به ترتیب ۵، ۱، ۰/۳ و جز اینها). مقادیر مرزی که احتمال وقوعشان در جمعیت زمینه نسبتاً کم است، بعنوان معیارهای شناخت قادر بر غیرمعمول تک تک عناصر شاخصی بکار می‌رود که در طول نمونه‌برداری پدیدار می‌گردند. با استفاد از معیارهای آماری که مشخص‌کنندهٔ چگونگی جمعیت زمینهٔ ژئوشیمیایی است، تشخیص نبود وابستگی مقادیر گوناگون و یا گروهی از مقادیر، به زمینه ژئوشیمیایی ممکن می‌گردد. این مقادیر ناهنجار، بر مبنای فرآیندهای گوناگون از جمله فرآیندهای تمرکز کانسارها حاصل می‌شوند. روش آماری برای اندازه‌گیری پارامترهای زمینهٔ ژئوشیمیایی و مقدار ناهنجاری حداقل عناصر شاخص، در زیر به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

پیدایش کانه و تمرکزهای غیراقتصادی بسیار زیاد عناصر شیمیایی، در مقایسه با توزیع منظم آنها در سنگهای معمولی، واقعاً نادری است که احتمال رخداد آن بسیار کم است. بنابراین همهٔ گونه‌های توزیع عنصری در واقع طبیعی که بطور مستقیم و یا غیرمستقیم با چنین تمرکزهایی همراهند و بطور درخور ملاحظه‌ای از توزیع پایهٔ زمینهٔ ژئوشیمیایی متفاوتند، تحت عنوان «ناهنجاریهای ژئوشیمیایی» دسته‌بندی شده‌اند.

برای مثال، فرآیندهای موضعی زمین‌شناختی عمدتاً به فعالیتهای ماگمایی و گرمایی وابسته است، بویژه زمانی که سنگها با واحدهای گوناگون محلولهای درونزاد (اندوژنیک) وارد واکنش می‌شوند، توزیع دوبارهٔ عناصر را بدنبال دارند، به آن ترتیب که برخی عناصر وارد و برخی دیگر خارج می‌شوند. چنین زون‌هایی از سنگها که در مقایسه با زمینهٔ ژئوشیمیایی، با توزیع ناهنجار عناصر مشخص شده‌اند، اصطلاحاً ناهنجاریهای ژئوشیمیایی درونزاد (اندوژنیک) را تشکیل می‌دهند.

گستره‌های موسعی که رسوبات سخت نشده یا خاک در آنها رخنمون دارد و به دلایلی بوسیلهٔ توزیع

ناهنجار برخی عناصر شیمیایی در مقایسه با زمینهٔ ژئوشیمیایی مشخص می‌گردند، ناهنجاریهای لیئوژئوشیمیایی سوپرژن را تشکیل می‌دهند. این ناهنجاریها، اغلب با پدیدهٔ تخریب سوپرژن تمرکزهای کانه‌ای (معدنی) که در اثر فرآیندهای مختلف بوجود آمده است، همراهند.

مقادیر بطور غیرمعمول زیاد عناصر اندک (از جمله عناصر کانه‌ای) در ناحیه‌ای از یک ناهنجاری لیئوژئوشیمیایی اندوژنیک (درونزاد) یا سوپرژن، معمولاً سبب پیدایش مقادیر ناهنجار عناصر در گیاهان روئیده شده در این ناحیه، در مقایسه با زمینهٔ شیمیایی می‌شود، و این سبب پیدایش ناهنجاریهای بیوژئوشیمیایی (بطور مشخص تر، فیتوژئوشیمیایی) در مرزهایی می‌گردد، که همهٔ گیاهان یا تک تک انواع آنها، بوسیلهٔ مقادیر افزایش یافتهٔ برخی عناصر اندک، مشخص می‌شوند.

ناهنجاریهای هیدروژئوشیمیایی نیز شناخته شده است، که بوسیلهٔ تغییرات موجود در ترکیب عنصری آبهای طبیعی، در برخی بخشهای ناحیهٔ مورد بررسی، در مقایسه با زمینهٔ ژئوشیمیایی، تعیین می‌گردد. در پایان، ناهنجاریهای اتموژئوشیمیایی، گستره‌هایی از اتمسفر را مشخص می‌کنند که ترکیشان با ترکیب زمینهٔ ژئوشیمیایی، به علت مقدار ناهنجار یک یا شماری از اجزاء متشکلهٔ گازی ( $CO_2$ ,  $SO_2$ ، بخارات جیوه، رادون (Rn) و جز اینها)، متفاوت است. نسبت تمرکز (CR) یک عنصر شیمیایی مشخص در یک زون ناهنجار، در مقایسه با مقدار میانگین زمینهٔ ژئوشیمیایی ( $x_{an}/x_b = CR$ )، اندیس عددی شدت (تأین) یک ناهنجاری ژئوشیمیایی است.

روشهای ژئوشیمیایی اکتشاف کانسارها، بر اساس اصل آشکارسازی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی ای استوارند، که بوسیلهٔ فرآیندهای تمرکز نخستین یا پراکندگی دومین عناصر شیمیایی کانه‌ساز و عناصر شیمیایی همراه در مواد طبیعی پدید می‌آیند.

پس از آشکارسازی یک ناهنجاری، یکی از مسائل مهم در تعبیر و تفسیر نتایج اینست که بتوان تعیین نمود، آیا ناهنجاری معرف هالهٔ ژئوشیمیایی یک کانسار است یا خیر.

هالهٔ ژئوشیمیایی (ایرول) یک کانسار، ناحیه‌ای است در سنگهای درونگیر، سازندهای سخت نشده، رستیها و نیز در آبهای سطحی و زیرزمینی، که در آن رخداد توزیع ناهنجار عناصر کانه‌ای یا عناصر وابسته پدیدار گشته است. خاصیتگاه یک هالهٔ ژئوشیمیایی، یا با فرآیندهای تشکیل یک کانسار (هالهٔ ژئوشیمیایی نخستین)، یا با تخریب سوپرژن آن (هالهٔ ژئوشیمیایی دومین) همراه است. هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین که در نتیجهٔ فرآیندهای تشکیل کانسارهای درونزاد بوجود می‌آیند «هاله‌های ژئوشیمیایی اندوژنیک (درونزاد)» نامیده می‌شوند. این هاله‌ها را نباید با هاله‌های ژئوشیمیایی نخستینی که همراه با تشکیل کانسارهای برونزاد بوجود می‌آیند اشتباه نمود.

هاله‌های ژئوشیمیایی دومین، در نتیجهٔ تخریب سوپرژن کانسارها و هاله‌های نخستین آنها، تشکیل می‌شوند. پیدایش هاله‌های ژئوشیمیایی دومین با پدیدهٔ پراکندگی سوپرژن کانه‌هایی که ابتدا در کانسارها متمرکز شده‌اند، همراه می‌باشد. به این علت این هاله‌ها را بطور کلی هاله‌های پراکندگی دومین می‌خوانند\*.

\* اصطلاح هاله پراکندگی، در برخی موارد (بویژه در ادبیات انگلیسی) به اشتباه به هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین اطلاق شده است. در واقع پدیده‌های پراکندگی در پیدایش هاله‌های نخستین نقشی ندارند، بلکه هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین است که وابستگی نزدیکی آنها با فرآیندهای تمرکز ماده در کانسارها دارند.

بسته به نوع ناهنجاری ژئوشیمیایی، که هاله‌های پراکندگی دومین را بوجود می‌آورد، تشخیص موارد زیر امکان‌پذیر است: هاله‌های لیتوژئوشیمیایی دومین در نهشته‌های سخت‌نشده زون سوپرژون (در برخی طبقه‌بندیها، لیتوژئوشیمیایی، شامل هاله‌های ژئوشیمیایی در خاک نیز می‌باشد، هاله‌های پراکندگی لیتوژئوشیمیایی در رسوبات کف حوضه‌های زهاب، هاله‌های هیدروژئوشیمیایی و رشته‌های پراکندگی، در آبهای سطحی و زیرزمینی، هاله‌های بیوژئوشیمیایی در گیاهان و هاله‌های اتموژئوشیمیایی در اتمسفر، گاز و خاک. همچنانکه در بالا اشاره شد، معیارهای شناخت یک ناهنجاری ژئوشیمیایی، به الگوهای توزیع یک یا شماری از عناصر اندک بستگی دارد که نوع معینی از کانسارهای فلزی یا غیرفلزی را مشخص می‌کند. عناصر اندکی که توزیع آنها در انواع گوناگون مواد طبیعی ممکن است بعنوان معیارهایی برای جستجوی کانسارها بکار رود، «شاخصهای کانی‌سازی» خوانده می‌شوند. در اکتشافات ژئوشیمیایی کانسارها، نقش شاخص معمولاً توسط عناصری ایفا می‌شود، که در کانه‌های مشخص‌کننده نوع کانسار مورد نظر متمرکز می‌یابند، و نیز بوسیله نمونه‌وارترین عناصر اندکی که با کانی‌سازی همراه می‌باشند. عناصری که در کانه‌ها متمرکز می‌یابند، شاخصهای مستقیم کانی‌سازی خوانده می‌شوند، در حالیکه عناصر همراه بعنوان شاخصهای غیرمستقیم رده‌بندی شده‌اند.

انتخاب عناصر شاخص در اکتشافات ژئوشیمیایی براساس ملاحظات ژئوشیمیایی و اقتصادی استوار است، اصل تأثیر حداکثر، عامل عمده‌ای است که انتخاب به آن بستگی دارد. بهترین نتایج معمولاً با استفاده از عناصر شاخص مستقیم بدست می‌آید، که ممکن است بر احتمال رخداد نوع ویژه‌ای از کانی‌سازی دلالت داشته باشد.

برای مثال، مس بهترین شاخص برای کانسارهای مس است. همانطور که قلع بهترین شاخص برای کانسارهای قلع بشمار می‌رود. با اینهمه تأثیر بهینه تنها در صورتی بدست می‌آید، که عنصر استفاده شده به عنوان شاخص مستقیم، بسیار پویا باشد، بطوریکه تمرکز غیر معمول زیاد، در فواصل شایان توجهی از کانسار نیز قابل اندازه‌گیری باشد. همچنین روش تجزیه کمی که در اندازه‌گیری این عنصر بکار می‌رود باید سریع، حساس و ارزان باشد. اگر این شرایط فراهم نباشد، در آنصورت در برخی موارد بهتر است شاخصهای غیرمستقیم را بکار برد، که همستگی قطعی با اجزاء سازنده اصلی کانه دارد. تانتالیم مثالی از این گونه است. در حال حاضر، هیچ روش تجزیه‌ای مؤثری در دست نیست که تجزیه سریع و به اندازه کافی حساس نمونه‌های ژئوشیمیایی را برای عنصر تانتالیم تضمین نماید. بنابراین در اکتشافات ژئوشیمیایی کانسار تانتالیم، گروهی از عناصر مورد استفاده قرار می‌گیرد، که شاخصهای غیرمستقیم کانی‌سازی تانتالیم هستند. از میان این عناصر، بویژه می‌توان از لیتیم نام برد که نسبتاً پویا است و با روشهای تجزیه‌ای ارزان‌قیمت به آسانی قابل اندازه‌گیری است.

مسائل عملی زیر ممکن است با استفاده از روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی حل گردد:

۱- زون‌بندی متالوژنی ناحیه‌ای و پیش‌بینی ژئوشیمیایی مبنی بر الگوهای توزیع عناصر شیمیایی، که جستجو برای شاخصهای کانه در رسوبات رودخانه‌ای حوضه‌های زهاب، و نیز در کمپلکسهای زمین‌شناختی آذرین، دگرگونی و رسوبی را دربردارد.

۲- جستجو برای کانسارهایی که بر اثر فرسایش نمایان شده‌اند و پوشیده شدن بعدی آنها بوسیله رسوبات سخت نشده، بر اساس هاله‌های پراکندگی ژئوشیمیایی دومین در رسوبات رودخانه‌ای (رشته‌های پراکندگی)، نهشته‌های آبرفتی - یخرفتی خاکها، گیاهان، آبهای طبیعی و در اتمسفر.

۳- جستجو برای کانسارها و توده‌های معدنی که در اثر فرسایش نمایان نشده‌اند (نهفته) و تعیین نحوه جایگیری کانه در ترازهای ژرف و در جناح نهفته کانسار بوسیله شاخصهای بدست آمده از هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، اکتشاف و یا بهره‌برداری شده‌اند.

۴- اکتشاف میدانهای نفتی و گازی (این موضوع در این کتاب بحث نخواهد شد).

روشهای ژئوشیمیایی استفاده شده در اکتشاف ممکن است با موفقیت در حل بسیاری از مسائل زمین‌شناسی صرف، بکار رود. مسائلی چون: تعیین هم‌سرشتی سنگهای آذرین در سریهای آتش‌فشانی و نفوذی، تعیین ردیف رسوب‌گذاری، برقراری همستگی چینه‌شناسی در سوئیت‌های رسوبی و بررسی چگونگی فرآیندهای متاسوماتیکی<sup>۱</sup> در سنگهای گوناگون. تحلیل این مسائل و دیگر مسائل ژئوشیمیایی و زمین‌شناختی متداول که در بررسی الگوهای توزیع (پخش) عناصر شیمیایی با آنها سروکار پیدا می‌شود، نیازمند بررسیهای ویژه‌ای است که از هدف این کتاب به دور است.

## فصل ۴

### کاربرد خصوصیات ژئوشیمیایی سنگها، در اکتشافات ژئوشیمیایی

#### اطلاعات کلی

بنا بقاعده، سنگهای لیتوسفر که به گونه خاصی تعلق دارند بوسیله ترکیب شیمیائی همانندی از مواد سازنده اصلی شان مشخص می‌شوند. همچنین در هر گروه از سنگها که در آن هر عنصر اندک خاص جایگاه معینی دارد، امکان شناسایی یک سری ردیفی (متوالی) از آن عناصر اندک بر حسب مقدار میانگین آن عنصر در همان نوع سنگ، وجود دارد (جدول ۱۰). با اینهمه، بر خلاف عناصر اصلی، احتمال دارد مقدار عناصر اندک در هر نوع سنگ به سبب عاملهای مختلف بطور شایان توجهی تغییر یابد. در نتیجه مقدار میانگین هر یک از عناصر اندک در سنگهایی که دارای فراوانی همانندی از مواد سازنده اصلی است ممکن است در یکی از دو جهت حتی تا چند برابر، تغییر یابد. بطوری که از نظام ویژه سری سنگ استاندارد، انحراف بارزی داشته باشد.

ویژگی ژئوشیمیایی توزیع عناصر اندک، خصلت متمایز هر نوع سنگ خاصی بنظر می‌رسد، از اینرو نتایج بررسیهای توزیع (بخش) عناصر اندک در سنگها، اکنون بطور گسترده‌ای در زمین‌شناسی بکار می‌رود. از این نظر مسئله «خصوصیات ژئوشیمیایی» کمپلکسهای زمین‌شناسی در دهه اخیر اهمیت ویژه‌ای یافته است. این اصطلاح (نمودهای ویژه در توزیع یک یا چند عنصر اندک در سنگها که بر حسب تمرکز مقادیر بسیار بیشتر یا کمتر این عناصر یا بر حسب مقادیر ناهنجار پراش (واریانس) که برای نوع سنگ مورد نظر غیر معمول است) را بیان می‌کند. ممکن است در توزیع عناصر اندک در سنگهای مورد بررسی، نسبت به توزیع آنها در یک سری ردیفی نمونه، انحرافهای درخور توجهی وجود داشته باشد. این نمودهای ژئوشیمیایی را می‌توان به شکلهای زیر بکار برد:

۱- نشانه‌های همانندی یا ناهمانندی سنگهای رده‌بندی شده در یک گونه.

۲- برای تعیین ارتباط ژنتیکی آنها.

۳- در تعیین توان کانه‌زایی آنها، و جز اینها.

هنگامیکه خصوصیات ژئوشیمیایی، در برآورد توان کانه‌زایی سنگها بکار می‌رود، معمولاً این اصطلاح بر کلتی بودن نموده‌های ژئوشیمیایی که این کمپلکس آذرین، متامورفیک یا رسوبی کانه‌دار را از سنگهای با ترکیب و نمای ظاهری همانند ولی سترون (از نظر کانه‌زایی) متمایز می‌کند، دلالت دارد.

نمودهای بارز خصوصیات ژئوشیمیایی سنگهای آذرین بوسیله عوامل مختلفی تعیین می‌شود مانند:  
۱- طبیعت ژئوشیمیایی ماگمای مادر، ۲- ویژگیهای زمین‌شناسی تبلور آن (از جمله تأثیر سنگهای درونگیر)،  
۳- خصلت دگرسانی پسمانگمای سنگهای مادر.

خصوصیات ژئوشیمیایی در سنگهای رسوبی، نتیجه تفریق ژئوشیمیایی مواد در خلال فرآیندهای سوپرژنی و رسوب‌گذاری است، که تبدیل دیاژنتیکی رسوبها، پیامد آن است.

خصوصیات ژئوشیمیایی کمپلکسهای زمین‌شناسی، بسته به اندازه گستره‌ای که بوسیله این پدیده (کمپلکسها) پوشیده می‌شود، ممکن است اهمیت ناحیه‌ای و یا موضعی داشته باشد. مثالهایی از انواع ناحیه‌ای شناخته شده عبارتند از:

۱- خصوصیات بارز پخش مس و مولیبدن در سنگهای دیوریت - گرانودیوریت در زون پویای پاسیفیک که در راستای کرانه باختری آمریکای شمالی و جنوبی، هزاران کیلومتر گسترش می‌یابد.

۲- وجود قلع در گرانیت‌های کرتاسه در شبه جزیره چاکچی.

۳- خصوصیت حضور فلزات کمیاب در گرانیت‌های ژوراسیک در آنسوی بابکال خاوری، گرانیت‌های هرسینین در قزاقستان مرکزی، گرانیت‌های «یانگ (جوان)» در نیجر به شمالی و جز اینها.

در همه این موارد، خصوصیات ژئوشیمیایی بوسیله شرایط کلی زمین‌شناسی وابسته به گسترش فعالیت‌های آذرین در یک استان خاص ژئوشیمیایی، بویژه بوسیله شرایط ناحیه‌ای تشکیل و جایگیری کمپلکس‌های آذرین در یک چرخه معین آذرین-تکتونیک تعیین می‌گردد. از سوی دیگر، خصوصیات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای کمپلکسهای رسوبی ضمن اینکه، انعکاسی از نموده‌های ویژه ترکیب ژئوشیمیایی سرچشمه‌های فرسایشی است، نتیجه پایداری محیط‌های ته‌نشستی نیز می‌باشد. بنابراین خصوصیات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای در سنگهای رسوبی، بستگی زیادی به رژیم تکتونیک و اقلیمی، فرآیند رسوب‌گذاری، و تغییر دیاژنتیکی رسوبها دارد. کمپلکسهای رسوبی مس‌دار همراه رخساره‌های دریایی نزدیک ساحل قاره‌ای، که از چندین عنصر معدنی پرمایه‌اند، مثالی شاخص است.

در توده‌های نفوذی تجربیدی و سویتهای رسوبی که به گستره‌ای کوچکتر از یک ناحیه محدود می‌شوند، در بسیاری از موارد خصوصیات ژئوشیمیایی موضعی، به شرایط فیزیکی شیمیایی ویژه تشکیل و تکامل زمین‌شناسی همان کمپلکس مربوط است. این شرایط بیشتر، بوسیله محیط‌های ساختاری ویژه (برای مثال، رخداد یک کمپلکس آذرین در سطح و یا نزدیک یک زون گسلی ژرف، یا وجود یک لایه نفوذناپذیر در بخش بالایی یک توده ماگمایی) و ترکیب غیرمعمول سنگهای میزبان و جز اینها، تعیین می‌گردد. خصوصیات ژئوشیمیایی سنگهای رسوبی در مقیاس موضعی، ممکن است به علت کوچکی اندازه سنگهای

نخستین با ترکیبات ناهنجار درون سرچشمه فرسایش (برای مثال کانسارهای کوچک)، یا بر اثر شرایط فیزیکی شیمیایی نامتداول در بخشهای جایگیر شده ذخایر نهایی رواناب و یا به علت برخی عملهای موضعی دیگر باشد.

واژه «خصوصیات» گاهی به معنی محدودتر، برای مشخص کردن پرمایگی نسبی گونه‌های سنگ، با عنصر اندک فلزی ویژه‌ای بکار می‌رود. چنین سنگهای «خصوصیات یافته‌ای» بیشتر بعنوان انواع بالقوه فلزدار بشمار می‌آیند. در زیر نشان داده خواهد شد که شاخصهای ژئوشیمیایی یک ذخیره کانه‌زا در یک کمپلکس زمین‌شناسی، بهیچوجه بوسیله بود و نبود مقدار بطور ناهنجار زیاد عناصر انباشت یافته در کانه‌ها، تأثیر نمی‌پذیرد. از سوی دیگر بایستی تأکید شود که کمپلکسهای آذرین، متامورفیک و رسوبی که تمرکزهای اقتصادی عناصر شیمیایی را بطور ژنتیکی و یا پاراژنتیکی به همراه دارند، معمولاً نموده‌های ژئوشیمیایی ویژه‌ای را بنمایش می‌گذارند. این نموده‌های ویژه، امکان تمایز میان سازندهای بالقوه فلزدار و سازندهای زمین‌شناختی سترون را، با استفاده از مجموعه‌های نمونه‌وار عناصر اندک و الگوهای پخش آنها در سنگها، فراهم می‌کند. این سازندها به این جهت بالقوه فلزدار نامیده می‌شوند، که عملهای ژئوشیمیایی به تهنایی- حتی اگر تمرکز اندوژنیک کانه را مساعد سازند- برای پیدایش کانی‌سازی اقتصادی بسنده نیست. انباشت مقادیر زیاد مواد معدنی (کانه‌ای) که ممکن است در نهایت اهمیت اقتصادی داشته باشد، به چندین عامل ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی بستگی دارد.

برای مثال، در مورد پیدایش تمرکزهای کانه‌ای درونزاد که با گسترش یک کمپلکس آذرین ویژه همراه است، عملهای ژئوشیمیایی، مسئول موارد زیر می‌باشند:

۱- رفتار عناصر شیمیایی سازنده کانه در گداخته ماگمایی نخستین،

۲- شکل ویژه جدا شدن کانه‌ها از مخزن ماگما در مرحله ماگمایی یا پس ماگمایی تشکیل آن،

۳- مکانیزم انتقال عناصر کانه‌ای،

۴- واکنشهای شیمیایی که به تمرکز این عناصر در کانه‌ها می‌انجامد.

عملهای زمین‌شناسی، بنوبه خود، جدا شدن و جابجائی گداخته‌های ماگمایی محلولهای کانه‌ساز را، با مساعد یا نامساعد ساختن شرایط برای پیدایش تمرکز اقتصادی کانسارها، کنترل می‌کند. کانسارهای باارزش اقتصادی، تنها بوسیله تلفیقی از عملهای ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی مساعد تولید می‌شوند.

چنین حقایقی در باره تمرکز مواد معدنی برونزاد نیز صدق می‌کند، که تشکیل و اندازه انباشت آنها بطور مشخصی بستگی به تلفیق ویژگیهای ژئوشیمیایی (از نظر زمانی و مکانی)، فرآیندهای هوازدگی یا رسوب‌گذاری و طبیعت تکامل زمین‌شناسی گستره مورد نظر در دوره انباشت مواد معدنی (کانه) دارد.

بنابراین توان کانه‌زایی در یک کمپلکس زمین‌شناسی، بسته به شرایط زمین‌شناسی ویژه، ممکن است تبدیل به تمرکز اقتصادی ماده معدنی (کانه) بشود یا نشود. با وجود این در همه موارد، امکان شناسائی سازندهای زمین‌شناختی بالقوه فلزدار، بر پایه دانسته‌های بدست آمده از بررسیهای ژئوشیمیایی، ما را در تعیین حدود دقیق، گستره‌ای که برای پی‌گردی و بررسیهای اکتشافی مشروحتر بایستی مورد توجه قرار گیرد، یاری می‌دهد و چنین دانسته‌هایی پایه‌ای برای پیش‌بینی‌های علمی و امکان‌کافی‌سازی در ناحیه‌هایی است که

کمتر بررسی شده است. همچنین در ارزیابی دوباره تان مواد معدنی (کانه) ناحیه‌هایی که پیش از این بهره‌برداری شده‌اند می‌تواند کمک مؤثری باشد.

معیار اصلی در تعیین خصوصیات ژئوشیمیایی سنگهای آذرین، متامورفیک و رسوبی بر پایه موارد زیر است:

۱- توزیع عناصر اندک در سنگها،

۲- توزیع عناصر اندک در کانیهای سنگ‌ساز، کانیهای فرعی و همراه،

۳- وابستگی میان نسبت‌های عناصر ایزومورفیک در سنگها.

### معیارهای تعیین خصوصیات ژئوشیمیایی

#### معیارهای مبتنی بر لگ‌های توزیع عناصر اندک در سنگها

نمودهای ویژه وزیم عناصر اندک در سنگها، نخست ممکن است بر پایه کم و یا زیاد بودن مقدار یک عنصر ویژه (یا گروه عناصر)، در مقایسه با میانگین کلی یا ناحیه‌ای و همچنین بر پایه افزایش (یا کاهش) درخورد توجه پراش واریانس) توزیعی مورد نظر بیان شود. این نمودها می‌تواند، راه‌حل‌هایی را برای تقریباً همه مسائل زمین‌شناسی شرح زیر، ارائه دهد.

۱- مسائلی که مورد معمول طی بررسی ژئوشیمیایی سنگها در چهارچوب تهیه نقشه زمین‌شناسی پدید می‌آید. از جمله: تعیین بندی فرعی سریهای آذرین که از نظر سنگ‌شناسی توصیفی، همگن هستند و تعیین هم‌سرشتی آنها،

۲- تقسیم‌بندی رجه و شناخت همبستگی سری رسوبی سترون،

۳- ارزیابی وسعت استریه‌های فرآیندهای دگرگونی (متامورفیک) و متاسوماتیک در کمپلکسهای آذرین و دگرگونی و جز اینها. مفادیر بطور ناهنجار زیاد یک عنصر کانه‌ای یا افزایش پراش (واریانس) توزیع آن بعنوان شاخصهای بینه توان کانه‌زایی، در پشته‌ها یا سری سنگها در نظر گرفته می‌شود. گرچه شاخصهای یادشده تنها موارد رجه نبوده و بی‌ابهام و روشن نیز نیستند، با اینهمه بیگمان از مهمترین معیارهای ژئوشیمیایی هستند که در کارهای اکتشافی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

بئوس (۱۹۶۸) از بدگاه تئوری کلی نشان داد که در خلال تبلور ماگماتیک که دارای عناصر کانه‌ای معینی است که تمرز شدن افزایش یافته است، فرآورده‌های جامد تبلور (سنگها)، و نیز اجزای گازی و مایع که در فرآیند تکامل مگماتیک تشکیل می‌شوند، بایستی دارای مقدار نسبتاً زیادی از همان عناصر معدنی (کانه‌ای) باشند. در فرآیند تبلور به جزء، بیشترین تمرکز عناصر کانه‌ای اندک که خواصشان بطور بارزی با عناصر سنگ‌ساز متفاوت است، در آخرین بخش (قسمت باقیمانده) گذاخته پدیدار می‌شود. در نتیجه بایستی انتظار داشت، بیشترین مقدار این عناصر اندک (با بشمار آوردن عاملهای تبلوری-شیمیایی) در کانیهای یافت شود، که در مرحله پایانی تبلور یک سنگ آذرین تشکیل می‌گردند.

با اینهمه، برخی از پژوهشگران (توسن و دیگران) مدعی هستند که، هیچگونه وابستگی میان مقادیر

عناصر اندک در سنگهای آذرین دگرسان نشده و توان کانه‌زایی آنها وجود ندارد. این پژوهشگران، بر وابستگی و رابطه میان افزایش تمرکز عناصر اندک در سنگها، و پدیده دگرسانی پس‌ماگمایی آنها تأکید دارند، که غالباً همراه با پخش دوباره و در پاره‌ای موارد، انباشت نوع خاصی از عناصر معدنی (کانه‌ای) صورت می‌گیرد، این توزیع دوباره، در اثر محلولهای پس‌ماگمایی، معمولاً با فرآیندهای پیدایش کانستگ (کانه) همراه است، از اینرو، شاخص مناسبی در تخمین توان کانه‌زایی در کمپلکس آذرین مورد بررسی است. توزیع دوباره عناصر کانه‌ای بدنبال دگرسانی پس‌ماگمایی سنگها، بوسیله بی‌نظمی زیاد حاصل در توزیع عنصر کانه‌ای، که با برآوردهای آماری پراش (واریانس) و مشتقات آن یعنی انحراف استاندارد و ضریب تغییرات مشخص می‌شود، بخوبی روشن می‌گردد. توزیع دوباره، افزون بر تشکیل انواع مختلف سنگهایی که مقدار عناصر اندک در آنها به علت خروجشان بسیار کم است، سبب تشکیل رخساره‌هایی که تمرکز این عناصر در آنها زیاد است، نیز می‌گردد.

پدیده خروج پس‌ماگمایی عناصر کانه‌ای و ته‌نشست دوباره آنها که در نتیجه عمل محلولهای فوق بحرانی و گرمایی حاصل می‌شود، بعنوان پایه‌ای برای به اصطلاح فرضیه «پویایی»، که پیدایش برخی انواع کانسارهای پس‌ماگمایی را شرح می‌دهد، بکار می‌رود. تشکیل تمرکزهای معدنی (مواد کانساری) اقتصادی، در نتیجه خروج عناصر معدنی (کانه‌ای) از سنگها و ته‌نشست دوباره آنها (پویایی)، در گونه‌های دگرسان شده سنگهای مادر، یا در فاصله قابل ملاحظه‌ای نسبت به سرچشمه خروجشان برای عناصری چون قلع، بریلیم، تنگستن، مولیبدن، تانتالیم و جز اینها، بررسی شده است. این بررسیها نشان می‌دهد که در همه موارد، فرآیند توزیع (پخش) دوباره مواد معدنی (کانه‌ای) یاد شده، بوسیله واریانس (پراش) زیاد توزیعهای عنصری و پیدایش رخنمایی موضعی عناصر اندک کانساری در سنگهای مادر، منعکس می‌گردد.

در نتیجه، بدون توجه به اینکه مقادیر زیاد عناصر کانه‌ای یا همراه در سنگها، در مرحله ماگمایی تولید شده باشد یا به پدیده دگرسانی پس‌ماگمایی وابسته باشد، ویژگیهای توزیع عناصر اندک بطور کلی، بعنوان معیاری در تعیین توان کانه‌زایی، در سنگهای آذرینی که با فرآیندهای تمرکز کانه‌ای، چه بطور ژئیتیکی یا پاراژئیتیکی همراه است، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

جدولهای ۱۶ تا ۱۸ دانسته‌هایی در باره مقادیر قلع و لیتیم در گرانیتوئیدها و نیز نیکل، مس، کروم و گوگرد در سنگهای بازی و اولترابازی را ارائه می‌دهند. این دانسته‌ها تفاوت میان مقدار میانگین عناصر اندک کانساری و عناصر همراه آنها را، در کمپلکسهای آذرین کانه‌دار یا سترون نشان می‌دهد. در پاره‌ای موارد، بهتر است نسبتهای ساده و یا چندبارگی (ضریبی) غلظت عناصر شاخص را بجای مقادیر میانگین مطلق آنها بکار برد. جدول ۱۸ مثالهایی از تفاوتهای موجود میان نسبتهای غلظت (تمرکز) عناصر شاخص در سنگهای بازی (قلیایی) و اولترابازی نیکل‌دار و سترون را نشان می‌دهد.

با اینهمه، وجود کانه در یک مجموعه آذرین، بهیچ‌وجه نمی‌تواند همیشه بوسیله زیاد بودن مقدار عناصر کانه‌ای در سنگ مادر، بیان شود. این مطلب را با توزیع معمولی اکثر عناصر گوگرد دوست در سنگهای آذرینی که سرچشمه ذخایر سولفیدی گرمایی این عناصرند و نیز با الگوی توزیع بریلیم در گرانیت‌های پگماتیت‌دار می‌توان نشان داد. در مورد دوم، بئوس (۱۹۶۰) یادآور شد که حتی در گرانیت‌های مادر نهشته‌های پگماتیته

جدول ۱۶- مقادیر میانگین قلع در گرانیت‌هایی از کمپلکسهای قلع‌دار و سترون (بر حسب گرم در تن)

ناحیه	گرانیت‌های سترون	گرانیت‌های قلع‌دار	مرجع
کالبا <sup>۱</sup> ، گورنی <sup>۲</sup> و رادنی آلتی <sup>۳</sup>	۵	۱۶-۳۰	بارساکوف <sup>۵</sup> و پاولنکو <sup>۶</sup> (۱۹۶۵)
شبه جزیره چاکچی <sup>۴</sup>	۷-۸	۱۰-۱۶	لاگوف <sup>۷</sup> (۱۹۶۴)
آنسوی بایکال، خاور دور- قزاقستان	۵	۱۵	بتوس (۱۹۶۶)
اورال، آسیای میانه			
قفقاز، اوکراین	۲+۰/۷	-	بتوس (۱۹۶۶)
آمریکا، کانادا، ژاپن	۳	-	اونیشی <sup>۸</sup> و سندل <sup>۹</sup> (۱۹۵۷)
بریتانیای کبیر	-	۲۷	باتلر <sup>۱۰</sup> (۱۹۵۳)
یوگسلاوی و فرانسه	-	۳۷	جدواب <sup>۱۱</sup> (۱۹۵۵)

جدول ۱۷- توزیع لیتیم در گرانیتوئیدهای فلزدار (بارور) و سترون

گرانیت‌ها (محل (ناحیه) پیدایش)	میانگین حسابی مقدار x لگاریتم مقدار log x	انحراف استاندارد لگاریتم مقدار	دامنه تغییرات مقادیر، p.p.m (با احتمال ۰/۰۱ برای مقادیر مرزی)	برآورد احتمال یافتن مقدار لیتیم برابر یا بیشتر ۱۰۰ ppm
گرانیت‌های کره زمین (بارامترهای کلبی پخش)	۳۸	۱/۵۰۴	۸-۱۳۰	۰/۰۲۴
سترون از قلع، تنگستن، بریلیم و تانتالیم (اوکراین، قفقاز، اورال، قزاقستان، آنسوی بایکال)	۳۷/۵	۱/۵۰۰	۸-۱۳۰	۰/۰۲۶
سنگهای مادر ذخیره‌های پگماتیستی لیتیم، بریلیم، و تانتالیم (قزاقستان، آسیای میانه، آنسوی بایکال)	۱۰۰	۱/۹۴۶	۲۵-۳۰۰	۰/۴۰۵
سنگهای مادر ذخیره‌های گرایزنی و رگه‌های کوارتزی قلع، تنگستن و بریلیم، (قزاقستان، آنسوی بایکال و سبیری غربی)	۸۰	۱/۶۸۳	۴-۵۴۰	۰/۲۳۶
سنگهای مادر آپوگرانیت‌های تانتالیم‌دار (آنسوی بایکال)	۱۳۰	۲/۰۸۰	۲۳-۴۴۰	۰/۶۳۷

- |             |             |                |            |
|-------------|-------------|----------------|------------|
| 1- Kalba    | 2- Gorny    | 3- Rudny Altai | 4- Chukchi |
| 5- Barsukov | 6- Pavlenko | 7- Lugov       | 8- Onishi  |
| 9- Sandell  | 10- Butler  | 11- Jertweb    |            |

جدول ۱۸- نسبت تمرکز عناصر کانه‌ای اندک در سنگهای بازی (قلیایی) و اولترابازی کانه‌دار و سترون\* (از نظر Ni و Cu) (از پولفروف و دیگران ۱۹۶۸)

ناحیه	نوع سنگ	خصت کانی‌سازی	Ni	Co	Cu	Cr	Ti	S	CCNi CCS	H <sub>2</sub> O %
شبه جزیره کولا	قلیایی	وجود ندارد	۰/۸	۰/۶	۰/۸	۱/۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۱۶/۰	۰/۰۹
	سولفور	سولفور	۲/۱	۱/۳	۰/۸	۱/۲	۰/۳	۰/۳	۱/۱	۲/۱۳
فوق‌قلیایی	وجود ندارد	وجود ندارد	۱/۰	۰/۶	۱/۷	۱/۳	۰/۰۵	۰/۰۶	۱۶/۰	۲/۲۸
	سولفور	سولفور	۲/۳	۱/۰	۵/۱	۰/۹	۰/۳	۰/۸	۲/۹	۴/۰۳
بایکال شمالی	قلیایی	وجود ندارد	۱/۳	۰/۴	۰/۹	۱/۳	۰/۰۲	۰/۰۷	۱۸/۵	۱/۱۶
	سولفور	سولفور	۵/۹	۲/۵	۰/۹	۲/۷	۰/۳	۰/۱۰	۵۹/۰	۳/۵۵
فوق‌قلیایی	وجود ندارد	وجود ندارد	۰/۶	۰/۵	۱/۱	۱/۴	۰/۱۵	۰/۰۱	۶۰/۰	۰/۷۲
	سولفور	سولفور	۱/۴	۰/۷	۲/۱	۰/۶	۰/۸	۰/۰۶	۲۳/۴	۲/۳۲
نوریلسک	قلیایی	وجود ندارد	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۰/۳	۴/۰	-
	سولفور	سولفور	۱/۹	۱/۱	۲/۷	۳/۹	۰/۸	۱/۰	۱/۹	-
روسه مرکزی	سنگهای فوق‌قلیایی	وجود ندارد	۰/۱۲	۰/۵۷	۲/۳۱	۰/۸۴	۰/۰۲	۲/۳	۰/۰۵	-
	بشدت دگرگون شده سولفور	سولفور	۰/۴۳	۰/۵۰	۱/۸۹	۰/۸۰	۰/۰۶	۰/۷۶	۰/۵۶	-
بایکال شمالی	سنگهای فوق‌قلیایی	وجود ندارد	۰/۴۰	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۲۰	-
	بشدت دگرگون شده سولفور	سولفور	۰/۹۵	۰/۴۶	۱/۶۰	۰/۶۰	۰/۰۶۴	۰/۰۶	۱۶	-

\* - نسبتهای تمرکز به کلارک‌های تعیین شده بوسیله وینوگرادوف برای گروههای وابسته محاسبه شده است.

بسیار بزرگ بریلیم، معمولاً مقدار این عنصر بیش از آنچه بر پایه میانگین کلی این عنصر در گرانیت‌ها انتظار می‌رود، نیست. این مطلب را با پدیده معمول و گسترده میکروکلینیزاسیون پلاژیوکلاز در گرانیت‌هایی که پیدایش پگماتیت‌های بریلیم‌دار از نظر ژنتیکی به آنها وابسته است، می‌توان تشریح نمود. فرآیندی که بوسیله آن، فلدسپات پتاسیم جایگزین پلاژیوکلاز (حمل‌کننده اصلی بریلیم در گرانیت‌های بیوتیت‌دار) می‌شود، که نتیجه آن خروج بریلیم و در نهایت کم شدن نسبی مقدار این عنصر در سنگهای مادر است. بنابراین بود و نبود مقادیر نسبتاً زیاد عناصر وابسته در سنگهای مادر نهشته‌های کانه‌ای، همیشه بوسیله فرآیندهای ویژه پیدایش کانی در این سنگها، پیش از کانی‌سازی و یا پس از آن (انباشت کانه)، تعیین می‌گردد.

زیاد بودن غیرعادی مقدار عناصر کانه‌ای و همراه، نیز افزایش واریانس توزیع آنها در سنگ، به احتمال، ممکن است همچنین بعنوان معیاری در تعیین توان کانه‌زایی در پاره‌ای سازندهای رسوبی، بکار رود. به عقیده استراخف گستره‌هایی که در آنها میزان عناصر کانه‌ای در مقایسه با زمینه کلی سنگهای درونگیر افزایش نشان می‌دهد، در سریهای رسوبی شامل تمرکزهای کانساری اقتصادی با خاصیت رسوبی، توسعه می‌یابند. پخش دوباره عناصر کانه‌ای در سنگهای رسوبی نیز هنگامی رخ می‌دهد که کانسارها در خلال فرآیندهای تغییر و تبدیل دیاژنتیکی رسوبها تشکیل شوند. این امر با خروج عناصر کانه‌ای (معدنی)، از انواع سنگ رسوبی نامساعد برای تمرکز کانسارها، همراه است و پرمایگی این عناصر را در سنگهایی که نموده‌های ساختاری آنها

(تخلخل، درزه و ... اینها)، انباشت کانسارها را مساعد می‌سازد، بدنبال دارد. همه این تحولات در یک سویت سنگهای کا مدار رخ می‌دهد. توزیع دوباره دیاژنتیکی عناصر اندک در رسوبها، معمولاً منجر به وارپانس (پراش) بیشتر، در توزیع آنها و پیدایش مقدار شایان توجه برخی از عناصر کانساری در مقایسه با زمینه نسبتاً کم سنگی پیرامون این افقهای کانه‌دار می‌گردد. ذخایر رسوبی مس، اورانیم و برخی عناصر دیگر که همراه با ماسه سنگی کانه‌دار دیده می‌شوند، نمونه‌ای از این گونه سازندهاست.

#### معیارهای مبتنی بر الگوهای توزیع در آمیخته‌های عنصر کانه‌ای در کانیهای سنگ‌ساز

بطور کلی، دام جبریگری ایزومورفیک یک عنصر اندک در ساختمان بلوری یک کانی میزبان بوسیله نموده‌های بلوری شیبایی ساختمان این کانیها و نیز نسبت فعالیت‌های عنصر اندک و عنصر جایگزین آن در فرآیند پیدایش کانی، در محلولها و یا گدازنده‌ها، تعیین می‌گردد. افزایش فعالیت یک عنصر کانه‌ای در یک محلول یا گدازنده فرآیند پیدایش کانی یا کانیهایی که ممکن است عنصر کانه‌ای معلومی را به صورت یک درآمیخته ایزومورفیک در ساختمان بلوری خود جای دهد، بایستی بصورت افزایش مقدار این عنصر در یک یا چند کانی که معرف مرحله معینی از کانی‌سازی است منعکس شود. توزیع مقدار عنصر اندک در کانیها، برخی اوقات داور در باره موارد زیر را امکان‌پذیر می‌سازد.

۱- شرایطی که کانی در آن تشکیل می‌شود.

۲- محیط ژئوشیمیایی که در هنگام تبلور کانی شاخص وجود دارد.

۳- میزان فعالیت‌های نسبی عناصر کانه‌ای در محلول یا گدازنده‌ای که کانی از آن تبلور می‌گردد.

امکان کاربرد سودهای ترکیب شیمیایی کانیهای تیومورفیک (از نظر مقدار عنصر اندک در آنها)، برای نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۳۰ بوسیله فرسمان پیشنهاد شد. پس از آن، میکاها مورد توجه ویژه پژوهشگران قرار گرفتند. اولین نشانه‌ای که مورد توجه واقع شد، وجود وابستگی میان مقدار قلع در موسکوویت‌های پگماتیستی و حضور کاستیریت در توده‌های پگماتیستی بود (آرتز، گینزبرگ<sup>۱</sup>). افزایش سزیم در لیدولیت، بعد از آن نشانه مثبتی در جستجو برای پلوسیت پیشنهاد شد (گینزبرگ). هینریش و بتوس، هر کدام بطور مستقل، دریافتند که مقادیر بریلیم، تانتالیم و نیوبیم در موسکوویت‌های بدست آمده از توده‌های پگماتیستی، ممکن است حضور بریل و تانتالیم-کلوپیت را در این پگماتیست‌ها نشان دهد.

در سال ۱۹۵۶ هندامیکه بارساکوف رابطه میان افزایش مقادیر قلع در بیوتیت‌های بدست آمده از گرانتیت‌ها و حضور قلع در گرانتیت‌ها را تشریح نمود، پیشرفت چشمگیری در استفاده از «توزیع عناصر کمیاب» در یکایک کانیهای شاخص، بوجود آمد. این امر امکان کاربرد دانسته‌های ژئوشیمیایی در زمینه توزیع عناصر اندک در کانیهای سنگ‌ساز و کانیهای همراه را، برای اهداف اکتشافی گسترش داده است، بطوری که می‌توان از دانسته‌های فوق در مورد سنگهایی که به همراه تمرکزهای کانه‌ای به فاصله‌ای بیش از آنچه در پگماتیست است، قرار دارند نیز استفاده نمود. همچنین بررسیهایی نشان داده است که در آمیخته‌های

عناصر اندک در برخی کانیهای همراه و فرعی که در سنگها پیدا شده‌اند (مثل کاستیریت و زیرکن)، آگاهیهای باارزشی بدست می‌دهد. در مورد کاستیریت، بررسی این درآمیخته‌ها، بوسیله دادی کینا<sup>۱</sup> امکان ایجاد یک طرح ژئوتیکی که مشخص‌کننده نموده‌های تیومورفیک این کانی است، و نیز امکان به کار بردن میزان تانتالیم در کاستیریت را به عنوان معیاری غیرمستقیم در اکتشاف ذخایر تانتالیم فراهم ساخت.

در برخی موارد، تفاوت‌های عملاً ناچیز موجود میان توزیع عناصر شاخص در سنگهای مادر کانسارها و سنگهای همانند سترون، هنگامی مشخص و بارزتر می‌گردد که مقادیر این عناصر در یکایک کانیهای که تمرکزدهنده یا حمل‌کننده این عناصر در سنگهاست، مقایسه گردد. برای مثال، در گرانتیت‌های مادر ذخایر پگماتیستی بریل دار که بدانها اشاره شد، گرچه ممکن است تفاوتی میان مقدار بریلیم در گرانتیت‌های پگماتیست‌زا و گرانتیت‌های سترون وجود نداشته باشد، با اینهمه تفاوت‌های بارزی میان مقدار این عنصر در پلاژیوکلاز (صفر تا ۱۵ گرم در تن در گرانتیت‌های سترون، در مقایسه با ۱۵ تا ۴۲ گرم در تن، در گرانتیت‌های پگماتیست‌زا) دیده می‌شود. در مورد سرب که هیچ تمرکز آشکاری را در سنگهای آذرینی که بعنوان سرچشمه کانسارهای سرب بحساب می‌آیند تشکیل نمی‌دهد، افزایش سرب در فلدسپات پتاسیم حاصل از گرانتیت‌های نواحی کانه‌دار در مقایسه با فلدسپات پتاسیم بدست آمده از گرانتیت‌های سترون، مشخص است (اسلاوسن<sup>۲</sup> و ناکوسکی<sup>۳</sup>، ۱۹۵۸، بتوس ۱۹۶۶ و ۱۹۶۸)، جدول شماره ۱۹ تفاوت‌های توزیع عناصر در کانیهای از سنگهای فلززا و غیرفلززا را که شاخص کانه است نشان می‌دهد. این جدول، توزیع تانتالیم در موسکوویت‌های بدست آمده از پگماتیست‌های تانتالیم-کلوپیت‌دار با موسکوویت‌های حاصل از سنگهای رسوبی میکادار و پگماتیست‌های سترون (پگماتیست‌های سرامیکی) را نشان می‌دهد.

جدول ۱۹- توزیع تانتالیم در موسکوویت‌های موجود در پگماتیست‌های گرانتیتی

نوع پگماتیست و مقدار نمونه (ناحیه، تعداد نمونه‌ها)	میانگین حسابی x		مقدار (ppm)	لگاریتم مقدار	انحراف استاندارد لگاریتم مقدار	ضریب تغییرات ۷، %
	مقدار	لگاریتم مقدار				
پگماتیست‌های میکایی و سرامیکی (کارلیا، ماما، بریاسا، اورال، اوکراین، ناحیه پایکال؛ ۲۰ نمونه)	۴	۰/۴۹۰	۰/۲۵۵	۵۰		
پگماتیست دارای عناصر فلزی کمیاب شامل تانتالیم-کلوپیت (آتسوی پایکال، قزاقستان خاوری، آسیای مرکزی، ۱۲۰ نمونه)	۳۵	۱/۴۸۶	۰/۲۴۵	۵۴		

1- Dudykind

2- Slawson

3- Nackowski

1- Ahrens

2- Ginzburg



## معیارهای مبتنی بر نسبتهای مقادیر برخی از عناصر ژئوشیمیایی در سنگها و کانیها

این معیارها بر پایه تفاوت‌های موجود در وابستگیهای میان عناصر ایزومورفیک در سنگها، قرار دارند، که تصور می‌شود نتیجه رفتار متفاوت عناصر در محیطهای مهاجرت گوناگون باشد. برای مثال ویژگیهای مهاجرت و ایزومورفیسم برای اکثر عناصر شیمیایی طی فرآیند ماگمایی، در مقایسه با مرحله پس ماگمایی که عناصر در محلولهای آبی یا گرمایی فوق بحرانی مهاجرت می‌کنند، تفاوت اساسی دارند. وابستگیهای ایزومورفیک میان عناصر شیمیایی در گداخته‌های ماگمایی بوسیله همانندی شعاع یونی و در نتیجه امکان تشکیل ساختارهای کوئوردیناسیونی با اکسیژن که از نظر پارامترها و انرژی بهم نزدیکند، بطور گسترده‌ای تعیین می‌گردد. تفاوت‌های فرعی ولی شایان توجهی در خواص شیمیایی عناصر اندک سنگ‌ساز و ایزومورفیک، جانشینی (ایزومورفیسم) را دشوارتر می‌سازد ولی بطور کامل آن را غیرمحمتمل نمی‌نماید. برای یک پشته و یا کمپلکس معین، شرایط ترمودینامیکی نسبتاً پایدار تبلور ماگمایی، موجب پایداری فعالیت نسبی عنصر میزبان و عنصر ایزومورفیکی آن در گداخته می‌گردد.

این امر بنبوه خود، موجب پایداری نسبی برخی وابستگیهای میان جفت‌هایی از عناصر ایزومورفیک در فرآورده‌های تبلور ماگمایی در یک سری از سنگهای آذرینی می‌گردد، که بطور ژنتیکی بهم وابسته‌اند. این الگو بطور جامعی بوسیله آرنز (۱۹۵۲) بررسی شد. وی پیشنهاد نمود که نسبتهای ثابت عناصر ایزومورفیک، که بطور ژئوشیمیایی وابسته‌اند، می‌تواند در حل بسیاری از مسائل گوناگون زمین‌شناسی، بویژه، تعیین هم‌سرشتی سری نفوذی و آتش‌فشان بکار رود. برای اهداف یاد شده در بالا، بایستی از وابستگیهای ایزومورفیک بارز میان جفت عناصر سنگ‌ساز تشکیل‌دهنده کانیها و عناصر اندکی که از نظر ژئوشیمیایی همانندند، استفاده نمود. این شامل جفت عناصر K-Rb و Al-Ga و عناصر دیگر، یا وابستگیهای ایزومورفیک میان عناصر اندکی چون Rb-Tl، گروه خاکهای کمیاب (نادر) و جز اینها می‌باشد.

معیارهایی که بیشتر بر پایه تفاوت‌ها بنا می‌شوند تا همانندیها، در خواص ژئوشیمیایی عناصر ایزومورفیک از اهمیت ویژه و بیشتری برخوردارند، زیرا نتیجه گیریهایی معینی در مورد تغییرات شرایط تشکیل کانی را ممکن می‌سازند. بویژه در فرآیندهای تشکیل کانی که همراه با محلولهای پس ماگمایی است، نتیجه ستیز میان عنصر میزبان اصلی و درآمیخته عنصر اندک، برای اشغال محلی در ساختمان بلوری یک کانی تازه تشکیل شده، تا اندازه زیادی بستگی به تغییر فعالیت‌های نسبی این عناصر دارد که این نیز به نوبه خود بوسیله رژیم اسیدی-قلیائی محلولها تعیین می‌گردد. اگرچه ممکن است از نظر خواص شیمیایی عناصر ایزومورفیک این تفاوتها ناچیز باشد، ولی می‌تواند بعنوان عامل عمده‌ای، جانشینی عناصر ایزومورفیک را در شبکه تبلور کانی، تسهیل و یا مانع شود.

یک جفت ایزومورفیک تیپیک را مورد بحث قرار می‌دهیم: آلومینیم-گالیم. گالیم، که نمونه یک عنصر پراکنده و از نظر خواص شیمیایی و شعاع یونی همانند آلومینیم است، در طول فرایند تبلور ماگمایی ارتباط بسیار نزدیکی با آلومینیم دارد. اکثریت قریب باتفافی از اتمهای گالیم در پوسته زمین در ساختمان کانیهای آلومینیم‌دار پراکنده است. نسبت Ga/Al در سری سنگهای آذرینی که به طور ژنتیکی وابسته‌اند، بسیار پایدار

است و وابستگی مثبت بارزی میان مقدار آلومینیم و گالیم وجود دارد. ناکولند و آلن (۱۹۸۵) با تجزیه شمار زیادی نمونه، بطور متقاعدکننده‌ای نشان دادند، که این نسبت در انواع مختلف سنگهای آذرین، بمقدار بسیار کمی تغییر می‌یابد. البته خواص بازی گالیم کمی بیشتر از آلومینیم است. بنابراین، با وجود همانندی شعاع یونی و تفاوت بسیار جزئی میان خواص شیمیایی آلومینیم و گالیم، نمی‌توان انتظار داشت که وابستگی مستقیمی میان مقادیر این دو عنصر در فرآورده‌های حاصل از محلولهای آبی، که در شرایط بسیار متفاوتی از نظر رژیم اسیدی-قلیایی تشکیل شده‌اند، برقرار باشد. این نمود در فرآیند گرایزنی شدن (Grisenization) بخوبی روشن است، که طی این فرآیند تجمع‌های پاراژنتیکی در محلولهای اسیدی قوی تشکیل می‌شوند که دارای کانی توپاز با آلومین زیاد ( $Al_2O_3 = 48/2$  تا  $62$  درصد) و مقدار بسیار کمی گالیم می‌باشد و نسبت گالیم به آلومینیم حاصل، بسیار کم است (بوس ۱۹۶۰).

بنابراین روابط کمی، میان عناصر اندک و عناصر اصلی ایزومورفیک، در کانیهای همسان با خاستگاه آذرین، در مقایسه با آتیهایی که از محلولهای آبی گرمایی یا فوق بحرانی تولید می‌شود، بایستی متفاوت باشد. این تفاوتها ممکن است، در شناسایی انواع سنگهای آذرینی که بطور متاسوماتیکی دگرسان شده و در برخی موارد شناسایی آنها بوسیله بررسی پتروگرافی دشوار است، بسیار مفید باشد.

در اکتشافات ناحیه‌ای عناصر معدنی اکسیژن دوست مانند بریلیم، قلع، تنگستن و تانتالیم، شناسایی رخساره‌های گرانیتوئیدی با دگرسانی متاسوماتیکی، امکان پیش‌بینی ذخایر عناصر یادشده را در سازندهای گرایزنی آلیتیت و کوارتزدار، فراهم می‌نماید. در این مورد، صحت این پیش‌بینی از راه رفتار متمایز منیزیم و لیتیم در گرانیت‌های مادر این ذخایر، افزایش می‌یابد. گرایش لیتیم به تمرکز و گرایش منیزیم به پراکندگی، در رخساره‌های مرحله پسین گرانیت‌های کانه‌دار، که فرآیندهای متاسوماتیک\* پسمماگمایی با دمای زیاد، کم و بیش در آنها آشکار می‌شود، اجازه می‌دهد که نسبت Mg/Li در گرانیت‌ها با موفقیت، چون معیاری در تعیین توان کانه‌زایی آنها بکار رود. گرچه در این مورد نسبت K/Rb، شاخصی ویژه است ولی از حساسیت کمتری برخوردار است (جدول ۲۰).

نسبت‌های عناصر دیگر را (نه تنها عناصر ایزومورفیک) که نمود مهاجرتشان در یک فرآیند معین بقدر کافی متفاوت است (برای مثال Zr/Sn، V/Nb در گرانیتوئیدها و جز اینها، به جدول ۲۰ مراجعه شود)، نیز می‌توان بعنوان شاخص بکار برد. کوپاتکوفسکی و همکاران (۱۹۷۲)، پیشنهاد کردند، مقادیر میانگین و الگوهای پراکندگی نسبت  $S/P_2O_5$  را می‌توان، چون شاخصی در شناسایی پشته‌های بالقوه نیکل‌دار، در سنگهای بازیکی و اولترابازیکی بکار برد. پلفروف (۱۹۶۲)، پیش از این پیشنهاد کرده بود که نسبت تمرکز Ni/S در سنگها به منظور برخی از اهداف اکتشافی، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (به این معنی، که

\* - کاهش بارز نقش منیزیم در رخساره‌های گرانیتوئیدی، که دگرسانیهایی پس ماگمایی نسبتاً شدیدی را تحمل کرده‌اند، به احتمال زیاد، به علت افزایش فعالیت نسبی آهن به منیزیم در محلولها است، که با اسیدینه‌کلی قدری افزایش یافته (فعالیت اسیدها) مشخص می‌شود. و بدین ترتیب جایگزینی منیزیم با آهن در بیوتیت‌ها صورت می‌گیرد. از آنجایی که بیوتیت حمل‌کننده اصلی منیزیم در گرانیت است، خروج منیزیم از این کانی سبب کاهش مقدار آن در سنگ می‌شود.

جدول ۲۰- برخی نسبتهای شاخص در گرانیتوئیدها

نوع گرانیتوئید	K/Rb	Mg/Li	Zr/Sn	V/Nb
میانگین برای گرانیتوئیدهای لیتوسفر	۱۷۰	۳۷۰	۸۰	۴/۴
میانگین برای گرانیتوئیدهای لیتوسفر	۱۷۰	۹۰	۶۰	۲/۱
گرانیت‌ها با فرآیندهای:				
متاسوماتیز پس‌ماگمایی	حدود ۱۰۰			
میکروکلینیزه، آلپیتی شدن و موسکوئیت مدز	۱۵۰	۲۰		
میانگین برای گرانیتوئیدهای غیروابسته				
به ذخایر W, S, Be, Li و یا Ta	۱۷۰	۲۷۰	۷۶	
میانگین برای گرانیتوئیدهای وابسته به				
ذخایر W, Sn, Be, Li و یا Ta	۱۳۰	۷۵	۳۰	
(a) گرانیت‌های بی‌تیت، دار مادر ذخایر				
پگماتیسی Cs, Ta, Be, Li	۱۶۰	۴۰	۱۲	۰/۸
(b) گرانیت‌های بی‌تیت، دار مادر ذخایر				
پگماتیسی تا: الیم	۱۲۶	۳۰	۱۴	۰/۶

نسبت مقادیر این عناصر، در زیر ممکن است شاخص خوبی باشد\*.)

پردازش آماری داده‌های کمی در مورد توزیع عناصر شاخص و نسبت آنها در سنگها، امکان توصیف ویژگیهای ژئوشیمیایی کمپلکسهای زمین‌شناسی را به بیان ریاضی فراهم می‌کند، همچنین در جهت قوت بخشیدن به معیارهای همبسته کننده در شناسایی نواحی امیدبخش برای انواع خاصی از کانه‌ها می‌تواند مفید واقع گردد. اطلاعات ژئوشیمیایی بدست آمده از تجزیه نمونه‌ها، بطور سیستماتیک بر طبق ویژگیهای پتروگرافی سنگهای نمونه برداری شده، مرتب می‌شوند. سپس در هر سری از داده‌های ژئوشیمیایی روشهای آماری مناسب به منظور برآورد پارامترهای توزیع یا لگاریتم آنها (بسته به قانون توزیع) اعمال می‌گردد. در همین زمان، نسبتهای عناصر شاخص، محاسبه و بررسیهای آماری روی آنها انجام می‌شود. آگاهی دهنده ترین نسبتها، معمولاً نسبتهای از عناصر شاخص است (برای مثال Mg/Li و جز این)، که گرایش مهاجرتی آنها، در

دو جهت مخالف باشد. بسته به ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای مورد بررسی، و همچنین سرشت مسئله مورد نظر، محاسبه نسبتهای تمرکز از راه: جمع، ضرب یا تقسیم عناصر شاخص مختلف، یا گروههای عناصر، نسبت به میانگین‌های کلی یا ناحیه‌ای (که مؤثرتر است)، امکان‌پذیر است\*.

هنگامیکه یک نوع سنگ معین به گروه ویژه‌ای نسبت داده می‌شود، می‌توان (افزون بر برآورد میانگین‌های حسابی و انحراف استاندارد)، از احتمال برخورد به مقادیر یا نسبتهای معینی استفاده نمود. ارزیابی چنین احتمالی بوسیله مقایسه پارامترهای توزیع عناصر شاخص و یا نسبتهای شاخص در کمپلکسهای زمین‌شناسی کانساردار، و سترون امکان‌پذیر می‌گردد. در پاره‌ای موارد این روش امکان می‌دهد که تعداد نمونه‌های لازم برای بررسی آنکه آیا سنگ مورد نظر به نوع معینی از «خصوصیات ژئوشیمیایی» تعلق دارد یا نه، به مقدار درخور توجهی کاهش داد.

جدول ۲۱- معیارهای ژئوشیمیایی برای شناسایی کمپلکسهای گرانیتوئیدی مادر ذخایر فلزات کمیاب (Ta و W, Sn, Be, Li)

عناصر شاخص یا نسبت شاخص عناصر	برآورد پارامترهای بخش (توزیع) در گرانیتوئیدها <sup>a</sup>					
	سترون			بارور		
	S <sub>log</sub>	S	x.ppm	S <sub>log</sub>	S	x.ppm
Li	۳۷	-	۸۰	۰/۲۶	۰/۴۲	۱۰۰
Sn	۵	۲/۹۸	۱۵	-	۰/۳۵	۲۰
Mg/Li	۲۷۰	-	۷۵	۰/۳۴	۰/۴۰	۳۰
Zr/Sn	۷۶	-	۳۰	۰/۳۶	۰/۳۶	۳۰

a - برآوردهای پارامترهای توزیع (بخش) لگاریتمی از جدول ۱۷ گرفته شده است. در مورد توزیع نرمال، برآورد بر مبنای توزیع مقادیر صورت گرفته است.

در زیر از لیتیم بعنوان یکی از ساده‌ترین مثالها، برای معرفی این معیار استفاده می‌شود. در جدولهای ۱۷ و ۲۱، برآورد پارامترهای توزیع لیتیم در گرانیت‌هایی که به کانسارهای عناصر به اصطلاح کمیاب (W, Ta, Sn, Be, Li) وابسته‌اند، و نیز برآورد این پارامترها برای گرانیتوئیدهایی که هیچ وابستگی‌ای به ذخایر این عناصر ندارند، ارائه می‌گردد.

این برآوردها، محاسبه شده در مجموع‌هایی (Sets) از داده‌های نماینده، ممکن است بوسیله روشهای آماری ساده (مندرج در ذیل)، به منظور تعیین حدود آماری تغییرات مقادیر در جمعیت‌هایی که مورد مقایسه قرار می‌گیرند، (در ستون ماقبل آخر جدول ۱۷ با احتمال ۰/۰۱ برای مقادیر مرزی برآورد شده است) ارزیابی شود. برای مقایسه میان این تغییرات، ضروریست یک یا چند مقدار، که شاخص یک مجموعه بوده و

\* - یادآور می‌شود، به کار بردن نسبتهای تمرکز، بجای برآورد مقادیر میانگین (یا لگاریتمهای مقادیر) هر چند موجب کم شدن صحت عمل می‌گردد نتایج را بیشتر ترسیمی می‌نماید. به این دلیل که در نتیجه نهایی، گذشته از دخالت خطایی ناشناخته در میانگینهای برآورد شده، میانگین کلی نیز چنین خطایی (برخی اوقات شایان توجه) دخالت می‌کند. بنابراین توصیه می‌شود تنها برآورد نسبتهای تمرکز، روش آماری فراهم شده است، معیار قرار گیرد.

$$P_{x \geq 100} = 0/5 - 0/474 = 0/026$$

یعنی احتمال یافتن نمونه‌هایی با این مقدار لیتیم در جمعیت مورد نظر، بسیار کم است (حدود سه درصد)، برای گرانیتهای بارآور وابسته به ذخایر پگماتیسی:

$$Z = \frac{2 - 1/946}{0/221} = 0/22 \quad , \quad \phi_z = -0/087$$

$$P_{x \geq 100} = 0/5 - 0/087 = 0/413$$

یعنی در حدود نیمی از کل نمونه‌ها در این جمعیت از گرانیتهای بارآور، مقداری بیشتر از ۱۰۰ ppm را نشان می‌دهد.

برای گرانیتهای بارآور وابسته به ذخایر گرایزنی و کوارتز رگه‌ای:

$$Z = \frac{2 - 1/683}{0/436} = 0/72 \quad , \quad \phi_z = 0/264$$

$$P_{x \geq 100} = 0/5 - 0/264 = 0/236$$

احتمالات محاسبه شده را ممکن است به شکل زیر خلاصه نمود (جدول ۲۲).

جدول ۲۲- احتمالات شاخص بر پایه مقادیر لیتیم در برخی از گرانیتهای

مقادیر شاخص، ppm		گرانیت
۱۰۰	۲۵	
۰/۰۳	۰/۴۴	گرانیت سترون
۰/۴۱	۰/۰۱	گرانیت‌های مادر ذخایر پگماتیسی
۰/۲۴	۰/۲۸	گرانیت‌های مادر ذخایر گرایزنی و کوارتز رگه‌ای

مقایسه داده‌ها نشان می‌دهد، که مقدار لیتیمی برابر با ۱۰۰ ppm، ممکن است به عنوان معیار رضایت‌بخشی، در گروه‌بندی گرانیتهای دو دسته بارآور (مولد) و نابارآور (غیر مولد) (نسبت به گروه معینی از عناصر) بکار رود. بهمین ترتیب مقدار لیتیمی برابر با ۲۵ ppm ممکن است، تنها برای شناسایی گرانیتهای «پگماتیت‌دار» بکار رود، زیرا احتمال یافتن مقادیر لیتیمی کمتر از ۲۵ ppm که در گرانیتهای سترون و گرانیتهای مادر ذخایر گرایزنی کوارتز رگه‌ای یافت شده است، به اندازه کافی قابل ملاحظه نیست. این مقدار احتمال که بروش فوق بدست می‌آید، ممکن است در تعیین اندازه بهینه شبکه نمونه‌برداری (یعنی تعداد نمونه‌های لازم) بکار رود، که برای طبقه‌بندی قابل قبول مجموعه‌ای از نمونه‌ها بسنده است.

در مجموعه دیگر کمیاب است، (نزدیک به مقادیر نهایی بحرانی) انتخاب شود. در مثال فوق، مقدار لیتیم ممکن است، از ۲۵ تا ۱۰۰ پی‌پی‌ام (ppm) انتخاب گردد. رقم کوچکتر، به میانگین کلی نزدیک است اما نمونه بارز گرانیتهای مادر ذخایر فلزات کمیاب نیست، رقم بزرگتر ویژه گرانیتهای مادر است، ولی به مقدار بحرانی گرانیتهای سترون نزدیک است. برای برآورد کمی امکان استفاده از مقدار انتخاب شده به عنوان معیاری در اکتشاف، بایستی احتمال وجود مقادیر لیتیم (بیشتر از مقدار انتخاب شده) در بین شمار داده‌ها به کمک تابع انتگرال لاپلاس ( $\phi_z$ ) محاسبه گردد.

I- در اینجا محاسبه برای مقادیر ۲۵ پی‌پی‌ام (ppm) یعنی  $a = 25$ ،  $a = 1/398$ ،  $\log a = 1/398$  انجام می‌شود. برای گرانیتهای سترون خواهیم داشت:

$$Z = \frac{\lg a \lg x}{S_{\lg}} = \frac{1/398 - 1/500}{0/256} = -0/400 \quad \phi_z = -0/100$$

( \* مقادیر  $\lg x$  و  $S_{\lg}$  از جدول ۱۷ )

که  $a$  مقدار غلظت انتخاب شده است.

$Z$  متغیر تابع انتگرالی لاپلاس است.

$\phi_z$  مقدار تابع لاپلاس است (از جدولها گرفته شده است).

$$P_{x \geq 25} = 0/5 - (-0/100) = 0/600$$

در نتیجه، احتمال وجود نمونه‌های دارای مقداری بیش از ۲۵ ppm در گرانیتهای سترون ۰/۶۰۰ یا تقریباً ۶۶ درصد است و ۴۴ درصد نمونه‌ها مقداری کمتر از مقدار انتخاب شده دارد.

برای گرانیتهای بارآور (مولد) وابسته به ذخایر پگماتیسی:

$$Z = \frac{1/398 - 1/946}{0/221} = 2/48 \quad , \quad \phi_z = -0/493$$

$$P_{x \geq 25} = 0/5 - (-0/493) = 0/993$$

بدین ترتیب ۹۹ درصد مقادیر لیتیم موجود در نمونه‌های این جمعیت بیشتر از ۲۵ ppm بوده و تنها یک درصد کمتر از این مقدار لیتیم دارد.

برای گرانیتهای بارآور وابسته به ذخایر گرایزنی و کوارتز رگه‌ای:

$$Z = \frac{1/398 - 1/683}{0/436} = -0/586 \quad , \quad \phi_z = -0/244$$

$$P_{x \geq 25} = 0/5 - (-0/244) = 0/744$$

احتمال یافتن نمونه‌هایی با مقادیر لیتیمی کمتر از ۲۵ ppm در این جمعیت در حدود ۲۸ درصد است.

II- محاسبات همانندی برای ۱۰۰ ppm لیتیم یعنی:  $a = 100$ ،  $\log a = 2/000$  انجام می‌شود.

برای گرانیتهای سترون:

$$Z = \frac{2/000 - 1/500}{0/256} = 1/90 \quad , \quad \phi_z = -0/474$$

جدول تهیه شده توسط چرنیتسکی<sup>۱</sup> (۱۹۵۷) را بدین منظور ممکن است مورد استفاده قرار داد. این جدولها تعداد د مات، آزمایش (نمونه برداری) را با اطمینان به دریافت یک واقعه تصادفی معین، با احتمال تضمین شده رساد آن حداقل به دفعاتی معین، بهم ارتباط می دهد به شرط آنکه احتمال چنین واقعه ای در یک آزمایش (نمونه برداری) معلوم باشد.

حداقل سه تا پنج نمونه که در آنها مقادیر عنصر شاخص انتخاب شده، مشخص گردیده، (با احتمال ۰/۹۵)، ممکن است بطور مشروط به عنوان اپتیم (مقدار بهینه) برای کوچکترین مجموعه نمونه ها در نظر گرفته شود. جدول شماره ۲۳، تعداد نمونه هایی را ارائه می دهد که بایستی (در مورد مثال فوق) برداشت شود، تا حداقل سه یا پنج نمونه با مقادیر بحرانی x در مجموعه بدست آید.

جدول ۲۳- حداقل تعداد نمونه های موجود در یک سری نمونه که بتواند در برگیرنده ۱ یا ۳ یا ۵ نمونه با مقادیر بحرانی (شاخص) اپتیم، با احتمال ۰/۹۵، باشد.

نوع نمونه و مقدار شاخص	تعداد نمونه های با مقادیر بحرانی در سری (ست) نمونه		
	۱	۳	۵
راندیت های سترون:			
الف - ۲۵ ppm سترون	۵	۱۲	۲۰
ب - ۱۰۰ ppm	۹۸	۲۰۶	۳۰۴
راندیت های مادر ذخایر پگماتیتی:			
الف - ۲۵ ppm	۳۰۰	۶۲۰	۹۱۰
ب - ۱۰۰ ppm	۶	۱۳	۱۹
راندیت های مادر ذخایر گرایزنی کوارتز رگه ای:			
الف - ۲۵ ppm	۹	۲۰	۳۰
ب - ۱۰۰ ppm	۱۱	۲۴	۳۵

از داده های جدول ۲۳ چنین برمی آید، که اگر حداقل سه نمونه با مقادیر شاخص اپتیمی برابر ۱۰۰ ppm یا بیشتر در نمونه های برداشته شده موجود باشد، در آن صورت ۲۴ نمونه، تعداد نمونه های لازم و بهینه (اپتیم) در یک ست (۱۳) ژئوشیمیایی است، تا بتوان شناسایی گرانیتوئیدهای سترون یا بالقوه فلزدار را تضمین نمود.

1- Chernitskii

احتمال وجود دو نمونه با مقدار اپتیمی برابر ۱۰۰ ppm یا بیشتر، در نمونه های برداشت شده از گرانیتوئید سترون، تنها ۰/۱۵ است. برای سه نمونه کمتر از ۰/۰۰۵ است. برای اینکه در یک گروه از نمونه های برداشت شده از گرانیت های بارآورد حداقل ۵ نمونه با مقدار بحرانی وجود داشته باشد بایستی تعداد نمونه های گروه به ۳۵ نمونه افزایش یابد.

### نقشه برداری ژئوشیمیایی (ناحیه ای) کوچک مقیاس به عنوان روشی برای بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی در حین اکتشاف

بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی کمپلکس های زمین شناسی، طی اکتشافات ژئوشیمیایی به منظور حل مسائل ویژه ای است، که معمولاً در حین مرحله مقدماتی اکتشاف پیش می آید. همچنانکه پیش از این یاد شد، ارزیابی توان کانه زایی در کمپلکس های آذرین، دگرگونی یا رسوبی، امیدبخش ترین گستره هایی را مشخص می کند که بایستی مورد بررسی بیشتر و تفصیلی تری قرار گیرد. با اینهمه، این روش پیش بینی، یک روش مستقیم اکتشافی بشمار نمی رود. شرایط کاربرد این روش، به همراه دیگر روشهای اکتشافی ویژه، در زیر ملاحظه خواهد شد. بایستی تأکید شود، این گونه روشها، بویژه برای ارزیابی توان کانه زایی در زونهای پوشیده از رسوبات ضخیم انتقال یافته از سرچشمه های دور، اهمیت دارد، و چنین موردی در بسیاری از نواحی فلاتی دیده می شود. در چنین مواردی نتیجه گیریهایی که جهت و مسیر اکتشاف زمین شناسی بعدی را تعیین می کند، اغلب بر پایه بررسی مغزه هایی قرار دارد، که از گمانه های منفرد و مجزا بدست آمده اند. بنابراین، ارزیابی ژئوشیمیایی مناسب از توان کانه زایی یک پشته، یا کمپلکس معینی که بوسیله یک یا چند گمانه، در زیر یک سری رسوبی ضخیم قطع شده است، ارزش اقتصادی زیادی دارد.

خصوصیات ژئوشیمیایی کمپلکس های زمین شناسی، معمولاً در حین اکتشاف و نقشه برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر در مقیاسی از ۱:۲۰۰،۰۰۰ تا ۱:۵۰،۰۰۰، بررسی می شود. شایسته است که نقشه برداری ژئوشیمیایی همزمان با بررسیهای زمین شناسی انجام گیرد. در ناحیه هایی که پیش از این نقشه برداری شده، ممکن است از اطلاعات زمین شناسی موجود استفاده شود. بر پایه نقشه های ژئوشیمیایی کوچک مقیاس سنگ بستر و نقشه های زمین شناسی با مقیاس مناسب، نقشه های «پیش بینی ژئوشیمیایی- زمین شناسی» تهیه می شود.

تقسیم بندی فرعی کمپلکس های زمین شناسی در گستره مورد بررسی، بر اساس انواع مختلف خصوصیات ژئوشیمیایی، هدف اصلی نقشه برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس از سنگ بستر است. مسائل اکتشافی ویژه ای که ممکن است حل شود، بشرح زیر خلاصه شده است:

- ۱- شناسایی کمپلکس های زمین شناسی بالقوه فلزدار، به منظور هدایت کارهای اکتشافی تفصیلی تر، برای یافتن ذخایر کانساری ویژه،
- ۲- شناسایی نموده های زمین شناسی بالقوه فلزدار (زون ها و رخساره های سنگهایی با دگرسانی متاسوماتیکی، جابجایی تکنیکی، زون های درزه، هاله هایی در ماورای همبری توده های نفوذی و جز اینها)، و از میان

آنها، زون‌هایی که بویژه برای بررسی‌های بیشتر توصیه شده است،

۳- ارزیابی پارامترهای توزیع عناصری که شاخص کانی‌سازی در سنگهاست، با در نظر گرفتن تغییرات مقدار زمینه ژئوشیمیایی و کاربرد بعدی این داده‌ها در اکتشاف تفصیلی کانسارها، بر پایه هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین.

نتایج نقشه‌برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس (ناحیه‌ای) از سنگ بستر نیز ممکن است برای حل مسائل زمین‌شناسی گوناگونی بکار رود، که به طور خلاصه در بالا شرح داده شد.

آنچه در حین نقشه‌برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس به منظور بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی سنگها اعمال می‌شود، شامل مواردی است که در زیر بیان می‌شود (بئوس ۱۹۶۶):

الف - شرح زمین‌شناسی محل‌های نمونه‌برداری همراه با بررسی بسیار کلی در مورد عامل‌های زمین‌شناسی موثر بر پارامترهای توزیع عناصر شیمیایی (تعیین درجه دگرگونی، شدت فرآیندهای برنهادی (که سنگ اولیه تحمل نموده)، وسعت و ویژگی دگرسانی سوپرژن و جز اینها)،

ب - نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از سنگ بستر،

ج - تجزیه شیمیایی نمونه‌های انتخاب شده،

د - بررسی نتایج تجزیه‌ها و تهیه یک نقشه زمین‌شناسی - ژئوشیمیایی.

جزئیات نقشه‌برداری، به مقیاس نقشه زمین‌شناسی یا توپوگرافی، که بعنوان مبنای بکار می‌رود و نیز به دقت لازم برای ارزیابی پارامترهای توزیع عناصر شیمیایی که مشخص‌کننده انواع مختلف سنگهای موجود در نقشه زمین‌شناسی می‌باشد بستگی دارد. از اینرو، ارتباط مستقیم میان مساحت یک برونزد و تعداد نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشته شده از آن، اصلی قطعی در نمونه‌برداری نیست. بدون توجه به گستره‌ای که یک برونزد اشغال می‌کند، هر نوع سنگ مشخص شده در نقشه، با در نظر گرفتن مقیاس نقشه‌برداری، بایستی بر حسب پارامترهای توزیع عناصر شیمیایی، که ممکن است به عنوان شاخصهای وجود کانسار بکار رود، با دقت یکسانی مشخص شود. عامل اصلی در تعیین تعداد نمونه‌های برداشته شده از یک نوع سنگ معین: در حین نقشه‌برداری ژئوشیمیایی (ناحیه‌ای) کوچک مقیاس، درجه بی‌نظمی توزیع عناصر شاخص است. این عامل را می‌توان بوسیله واریانس توزیع مقدار عناصر یا ضریب تغییرات آنها ارزیابی نمود.

معمولاً، میانگین تخمین‌هایی که با صحتی برابر  $20\% \pm$  در صد (سطح اطمینان ۵ در صد) برآورد می‌شود، به نظر می‌رسد برای مقاصد نقشه‌برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس بسنده باشد. تعداد نمونه‌های مورد نیاز برای بدست آوردن چنین صحتی، بستگی به ضریب تغییرات مقدار عناصر مربوطه داشته و با فرمولهای زیر بیان می‌شود: برای صحت  $20\% \pm$  در صد،  $72/100 = 20\%$ ، برای صحت  $30\% \pm$  در صد،  $72/200 = 30\%$ ، که  $n$  تعداد نمونه‌های لازم با ضریب تغییرات مقدار عنصر شاخص است.

نمونه‌برداری ژئوشیمیایی با صحتی برابر  $30\% \pm$  در صد میانگین حسابی، در مواردی مجاز است، که روشهای تجزیه نیمه کمی اسپکتروگرافی بکار رود. برای عناصر شاخصی که ضریب تغییرات مقادیرشان در یک نوع سنگ معلوم به بیش از ۶۰ درصد نمی‌رسد، معمولاً برای داشتن صحتی برابر  $20\% \pm$  در صد، ۳۰ نمونه کافی است (این رده‌بندی شامل اکثر عناصر اندک در بیشتر انواع سنگهای معمولی می‌شود). هنگامیکه از

روشهای تجزیه نیمه کمی اسپکتروگرافی استفاده می‌شود، گاهی اوقات به علت خطاهای تصادفی حاصل از روش تجزیه، ضریب تغییرات به ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. در چنین مواردی، تعداد نمونه‌های ژئوشیمیایی که از انواع سنگهای معین بایستی برداشت شود، به ۵۰ عدد افزایش پیدا می‌کند. بر پایه آگاهیهای موجود، شمار نمونه‌ها، که با روابط فوق مشخص شده است، در مورد سنگهای آذرین برای گستره‌هایی به مساحت ۵۰ کیلومتر مربع و در مورد سنگهای رسوبی به مساحت ۲۰۰ کیلومتر مربع، معتبر است. اگر گستره بیرون‌زدگی نوع سنگ مورد نظر بزرگتر باشد، در آنصورت، شمار نمونه‌های برداشتی نیز بایستی افزایش یابد.

در حین نقشه‌برداری ژئوشیمیایی که همزمان با بررسی زمین‌شناسی انجام می‌گیرد، بهتر است مشاهدات صحرائی و نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در مسیرها، مقطع‌های عرضی، گودالها و مکانهای مشاهداتی همسانی انجام گیرد.

نمونه‌برداری از سنگ بستر می‌بایستی، در امتداد خطوط مقاطع شبکه نمونه‌برداری، در جهتی که حداکثر تغییرپذیری را در کمپلکس یا نوع سنگ مورد بررسی نشان می‌دهد انجام گیرد، (معمولاً در امتداد پشته‌ها، سویت‌ها و جز اینها). توصیه می‌شود، پروفیل‌های ژئوشیمیایی به‌طریقی انتخاب گردد، که همه رخساره‌ها، یا انواع مختلف فازهای سنگی مورد بررسی، حتی آنهایی را که در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ویژه مشخص نشده‌اند، قطع نمایند. این کار نبایستی در طبیعت یکنواخت شبکه نمونه‌برداری تأثیری بگذارد.

در طول نقشه‌برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس (ناحیه‌ای)، باید از همه زون‌های دارای سنگهای دگرسان شده، که دارای جابجایی تکنونیک است، رگه‌ها و دیگر سازندهای زمین‌شناسی، که ممکن است با توجه به مقیاس نقشه شامل نقشه‌برداری نشود، نیز نمونه‌گیری بعمل آید، زیرا که ممکن است، چنین سنگهایی از دیدگاه آشکار ساختن تمرکزهای کانساری، جالب توجه باشند. از هر یک از این موارد ۳ تا ۵ نمونه ژئوشیمیایی برداشته می‌شود. این نمونه‌ها به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرند، و در سری نمونه‌هایی که مشخص‌کننده نوع سنگ مورد بررسی است، منظور نمی‌شوند.

اکنون بجاست، وزن نمونه‌های گردآوری شده و روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در نقشه‌برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس، مورد بحث قرار گیرد. بررسیهای تجربی نشان داده است، وزن مناسب نمونه ژئوشیمیایی، ۱۰۰ تا ۱۵۰ گرم\* است، روش نمونه‌برداری بر پایه سیستم شبکه‌ای است.

به منظور انتخاب عناصر شاخص، بایستی همه نمونه‌ها بوسیله روش اسپکتروگرافی نشری نیمه کمی مورد آزمایش قرار گیرد، که شمار زیادی از عناصر اندک را مشخص می‌کند. حل هر مسئله‌ای که ممکن است طی نقشه‌برداری ژئوشیمیایی پیش آید، نیاز به بررسی همزمان چند عنصر شاخص مختلف دارد. دو حالت نهایی وجود دارد که هر یک تعیین‌کننده روشی است که بر اساس آن نتایج تجزیه نیمه کمی اسپکتروگرافی نشری بایستی مورد بررسی قرار گیرد:

۱- بررسیهای قبلی در گستره مورد نظر، عناصر شاخص کانسنگ، سن و غیره را (بسته به طبیعت مسئله)

\* - وزن نمونه ژئوشیمیایی که برای بررسی کانیهای فرعی به کار می‌رود، ممکن است به یک کیلوگرم هم برسد. ولی در این حالت نیز، بخشی که بایستی تجزیه شود صد گرم از نمونه فوق است که تا حد ۱ mm خرد و تقسیم شده است.

مشخص نوده است.

۲- عناصر شانس لازم برای حل مسائلی که حین نقشه برداری ژئوشیمیایی یک گستره معلوم پدید می آید، ناشناخته است.

مورد اول سائز است. با استفاده از همه داده های موجود و با پردازش آماری نتایج حاصل از تجزیه عناصر شاخص به سه سوال مبهمی که پیش می آید پاسخ مناسبی داده می شود. این امر از راه مقایسه پارامترهای توزیع این عناصر با استانداردهای شناخته شده انجام می گیرد. گاهی اوقات برای اندازه گیری دقیق این پارامترها سکر است، نیاز به انجام تجزیه های اسپکتروگرافی بیشتر، اسپکتروفوتومتری و یا حتی تجزیه شیمیایی کلاسیک باشد.

در مورد دوم، اندازه گیریهای نیمه کتی اسپکتروگرافی نشری تمام عناصر اندک، بطور ریاضی پردازش می شود. پس آن عناصری انتخاب می شوند، که پارامترهای توزیع آنها در انواع مختلف سنگها بیشترین تفاوت را دارد. اگر دانسته های دقیقتری در باره عناصر شاخص لازم باشد، در آنصورت بایستی نمونه های ژئوشیمیایی برای این عناصر تجزیه کمی بشود. معمولاً دو تا چهار عنصر شاخص، برای حل بدون ابهام مسئله، در مورد سنگهای همانند یا ناهمانند کافی است.

بایستی تأکید شده، در صورت وجود همبستگی میان عناصر شاخص، اهمیت آنها افزایش می یابد. به این دلیل است که انتخاب عناصر قابل انطباق و وابسته یکدیگر بعنوان عناصر شاخص، در پردازش داده های حاصل از تجزیه ها، مسئله ای اصلی می باشد. در صورت لزوم، طبقه بندی سنگها ممکن است بر پایه اندیسه های جمعی (افزایشی) یا چندبارگی (ضربی) حاصل از گروه بندی عناصر شاخصی که با یکدیگر همبستگی مثبت دارند، انجام گیرد.

در مرحله پایانی نقشه برداری ژئوشیمیایی، پارامترهای ژئوشیمیایی مشخص کننده توزیع عناصر شیمیایی در سنگها، بر پایه بررسیهای ساختمانی- زمین شناسی، طرح ریزی می شود یعنی، نقشه های زمین شناسی- ژئوشیمیایی تهیه می گردد. انتظار می رود، نقشه های زمین شناسی- ژئوشیمیایی در حل بسیاری از مسائل زمین شناسی ویژه احوالت داشته باشد. مسئله اصلی، پیش بینی وجود یک کاناسر در کمپلکس های زمین شناسی در آن گستره است. به این دلیل، نقشه های ژئوشیمیایی- زمین شناسی، تهیه می شود، تا توزیع آن عناصری را نشان دهد، که ممکن است بعنوان شاخصهای توان کانه زایی در کمپلکس های زمین شناسی بکار روند. نمونه های عملی از نقشه های ژئوشیمیایی- زمین شناسی که در زیر می آید، ممکن است با استفاده از نتایج نقشه برداری ژئوشیمیایی کوچک مقیاس (ناحیه ای) سنگ بستر تهیه شود.

۱- نقشه های خوب، بیات ژئوشیمیایی کمپلکس های زمین شناسی:

الف - تک عنصری

ب - چند عنصری

۲- نقشه های خوب، بیات ژئوشیمیایی زون های تکنونیک و سازندهای پس ماگمایی.

نقشه های خوب، بیات ژئوشیمیایی تک عنصری کمپلکس های زمین شناسی معمولاً روی کاغذهای شفاف، و به صورت خط چین رسم می شود، و بر نقشه های ساختمانی- سنگ شناسی منطبق می گردد. در نقشه

به هر یک از این لایه های سنگ یک رنگ یا علامت ویژه، تخصیص داده شده است و بدین ترتیب با رویهم قرار دادن این دو نقشه برآورد پارامترهای توزیع یک عنصر شیمیایی نمونه، بعنوان شاخص توان کانه زایی در یک سنگ معین، فراهم می شود\*. موارد ذیل ممکن است به عنوان معیارهایی در راهنمای نقشه بکار برده شود.

الف - مقادیر میانگین عنصر،

ب - دامنه تغییرات مقادیر تعیین شده با یک احتمال ویژه،

ج - نسبتهای تمرکز به میانگین زمینه ژئوشیمیایی،

د - ضرایب تغییرات مقادیر و جز اینها.

انتظار می رود معیارهایی که روی نقشه خصوصیات ژئوشیمیایی نشان داده شده، بخوبی نمودهای ویژه سازندهای زمین شناسی را توصیف نماید.

نقشه های خصوصیات ژئوشیمیایی چند عنصری، توزیع جفت های عناصری را که از دیدگاه ژئوشیمیایی وابسته اند، و نسبت آنها در سنگها (برای مثال، برای گرانیوتئیدها: منیزیم- لیتیم، پتاسیم- روییدیم، زیرکونیم- قلع، برای سنگهای بازیک و اولترابازیک: نیکل- گوگرد، و جز اینها)، یا ضرایب همبستگی عناصر شاخص و غیره را نشان می دهد. برای عناصری که مقادیرشان دارای همبستگی مستقیم است، ممکن است نقشه های ترکیبی (چند عنصری) تهیه گردد، که نشان دهنده حاصلضرب لگاریتم مقادیر عناصر قابل همبستگی، یا حاصلضرب نسبتهای تمرکز این عناصر و جز اینها باشد. نقشه های خصوصیات ژئوشیمیایی چند عنصری معمولاً در مواردی تهیه می گردد، که مسائل نقشه برداری ژئوشیمیایی را با استفاده از نقشه های تک عنصری بتوان حل نمود.

نقشه های خصوصیات ژئوشیمیایی زون های تکنونیک و سازندهای پس ماگمایی روی کاغذهای شفاف یا بطور مستقیم روی نقشه های ساختمانی- سنگ شناسی تهیه می شود. در نقشه های پایه، افزون بر زون های تکنونیک به نمودهای پس ماگمایی (رگ های معدنی، افقهای دگرسانی شده گرمایی و جز اینها) نیز بایستی توجه خاص شود هر چند بطور معمول، در مقیاس نقشه نشان داده نمی شوند.

برای عناصر اندکی که در سازند معینی مقدارشان بطور قابل ملاحظه، با زمینه ژئوشیمیایی متفاوت است، علائمی استفاده شده که به صورت رنگی بعد از زون های تکنونیک و نمودهای پس ماگمایی، نشان داده شده است.

انواع نقشه های ژئوشیمیایی- زمین شناسی که در بالا یاد شد، همراه با نقشه های رشته های پراکندگی ژئوشیمیایی، مبنای نقشه پیش بینی متالوژنیک را تشکیل می دهند. تهیه نقشه پیش بینی متالوژنیک، هدف اصلی بررسیهای ژئوشیمیایی است.

طی مراحل مقدماتی تهیه نقشه های پیش بینی متالوژنیک، کمپلکس ها و انواع سنگهای موجود، بر روی

\* - نقشه های ویژگی ژئوشیمیایی ممکن است بر روی فتوکپی ها با اوزالید نقشه های زمین شناسی که در آنها داده های زمین شناسی بصورت خط چین مشخص شده، ترسیم گردد.

نقشه زمین شناسی شناسایی می‌شوند. بر اساس الگوی توزیع عناصر در این کمپلکس‌ها، ممکن است شاخصهای امیدبخشی برای حضور کانسار بدست آید. چنین شاخصهایی با کمک معیارهای ساختاری، تشخیص گستره‌هایی را امکان‌پذیر می‌سازد، که برای اکتشافات تفصیلی به منظور تعیین محل کانسارهای ویژه، توصیه می‌شود. طی تهیه نقشه ژئوشیمیایی- زمین‌شناسی (پیش‌بینی متالوژنیک)، دو حالت مختلف ممکن است رخ دهد.

۱- معیارهای ژئوشیمیایی که برای شناسائی کمپلکس‌های زمین‌شناسی بالقوه فلزدار بکار رفته است، مبتنی بر تجارب اکتشافی در زون‌های دیگر باشد (هنگامیکه نقشه‌برداری در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ باشد، چنین معیارهایی ممکن است، بر پایه نتایج بدست آمده از نقشه‌برداری در مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ بنا نهاده شود).

۲- معیارهای ژئوشیمیایی برای کمپلکس‌های زمین‌شناسی بالقوه فلزدار شناخته نشده باشد.

یک مثال: یکی از مسائلی که بایستی بوسیله نقشه پیش‌بینی متالوژنیک حل گردد، شناسایی گستره‌های امیدبخش از دیدگاه اکتشاف کانسارهای قلع است.

معیارهای ژئوشیمیایی که برای شناسایی کمپلکس‌های نفوذی گرانیتوئیدی قلع‌دار، در بررسی‌های پیشین شناخته شده، بشرح زیر است:

الف- احتمال اینکه مقدار قلع برابر  $10 \text{ ppm}$  یا بیشتر باشد،  $0.82$  است.

ب- احتمال اینکه مقدار قلع کمتر از  $5 \text{ ppm}$  باشد،  $0.03$  است، میانگین حساسی مقدار قلع در پهنه قلع‌دار،  $15 \text{ ppm}$  یا بیشتر است. با استفاده از پارامترهای توزیع قلع، که در نتیجه نمونه‌برداری از گرانیت‌ها، در ناحیه نقشه‌برداری قرار دارد، محاسبه احتمال یافتن قلع به مقداری بیشتر از  $10 \text{ ppm}$  و کمتر از  $5 \text{ ppm}$ ، با استفاده از نمونه‌های ژئوشیمیایی موجود، امکان‌پذیر می‌گردد. و از این راه نمونه‌های متعلق به گرانیت‌های بالقوه قلع‌دار، شناخته شده و سپس توده‌های امیدبخش بر روی نقشه پیش‌بینی، با رنگهای مناسب با هاشور مشخص می‌گردد.

اگر معیارهای ژئوشیمیایی مشخص‌کننده حضور کانسار، شناخته شده نباشند، لازم است طی تهیه نقشه پیش‌بینی، پارامترهای ژئوشیمیایی (معیارها) تعیین شوند که برای آشکار ساختن کمپلکس‌های زمین‌شناسی بالقوه فلزدار مفید باشند.

برای انجام این امر، کمپلکس‌های تیبیک زمین‌شناسی که وجود وابستگی ژنتیکی یا پاراژنتیکی میان کانسارهای آنها و محیط نقشه‌برداری شده پیرامونشان معلوم گشته است، با تکنیکهای ژئوشیمیایی بررسی می‌شود. نتایج نمونه‌برداری ژئوشیمیایی برای برآورد پارامترهای توزیع عناصر کانساری و عناصر همراه بکار می‌رود. سپس، این برآوردها، بعنوان مقادیر استاندارد برای مقایسه با پارامترهای توزیع عناصر شاخص، در کمپلکس‌های دیگر با ترکیب همانند، که در سراسر گستره نقشه‌برداری موجود است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. کمپلکس‌ها یا انواع سنگهایی که خصوصیات ژئوشیمیایی نزدیک به استاندارد تعیین شده در بالا، دارند، به عنوان انواع امیدبخش رده‌بندی شده‌اند.

دانسته‌های حاصل از بررسی‌های خصوصیات ژئوشیمیایی در زون‌های تکتونیکی، سهم مهمی از آگاهی کلی در ساختن شالوده ژئوشیمیایی نقشه‌های پیش‌بینی متالوژنیک است.

تجزیه و تحلیل این دانسته‌ها، تشخیص مجموعه شاخصی از عناصر کانساری و عناصر همراه آنها را، که نشان‌دهنده توان کانه‌زایی درون ساختاری معین است، ممکن می‌سازد. ترسیم این عناصر همراه کانساری بر روی نقشه پیش‌بینی، امکان ارزیابی زون‌های تکتونیکی را، از دیدگاه هدایت عملیات اکتشافی تفصیلی، بمنظور دسترسی به انواع خاصی از کانسارها فراهم می‌دارد.

بدین ترتیب نقشه زمین‌شناسی- ساختاری که علائم نشان داده شده بر روی آن برای موارد زیر است، پایه و مبنای ژئوشیمیایی- زمین‌شناسی، در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی متالوژنیک بشمار می‌رود:

الف- کمپلکس‌های زمین‌شناسی که بر پایه معیارهای روشن و صریح ژئوشیمیایی از نظر وجود کانسارهای ویژه بالقوه امیدبخش شناخته شده‌اند.

ب- زون‌های تکتونیکی امیدبخش، با نشانه‌هایی از عناصر کانه‌ای، که ممکن است در آنها به تمرکزهای اقتصادی برخورد شود.

اطلاعاتی در باره مقادیر ناهنجار عناصر کانه‌ای در رسوبات رودخانه‌ای که در نتیجه بررسی‌های حوضه‌های زهاب (رشته‌های پراکندگی عناصر)، بدست می‌آید عامل اصلی در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی ژئوشیمیایی- زمین‌شناسی می‌باشد.

استفاده از دانسته‌های ژئوشیمیایی در تهیه نقشه‌های پیش‌بینی متالوژنیک در توجیه بهتر هر پیش‌بینی، نقش مهمی دارد. زمین‌شناسی که از این اطلاعات استفاده بیشتری می‌کند، می‌تواند نتیجه‌گیری‌های خود را بر اساس شالوده کمی دقیق حاصل از قوانین توزیع عینی، که تمرکزهای عناصر شیمیایی در پوسته زمین را تشریح می‌نماید، استوار سازد.

## فصل ۵

### هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین کانسارها: کاربرد آنها در اکتشافات ژئوشیمیایی

#### مقدمه

هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، زون‌هایی هستند که ذخایر فلزی یا توده‌های معدنی را دربر گرفته‌اند، که در نتیجه ورود یا پخش دوباره این عناصر طی فرآیند پیدایش کانسار، از چند عنصر شیمیایی تهی یا پرمایه شده‌اند.

هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین و زون‌های دگرسانی سنگ دربرگیرنده کانسارها، بطور ژنتیکی با پدیده تشکیل کانسار وابسته‌اند، بطوریکه همیشه هم تشخیص یک خط مرزی میان آنها امکان‌پذیر نیست. برای مثال، زون‌های سرسیتی شده سنگهای کانساردار نیز ممکن است، بعنوان هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین پتاسیم، و زون‌های آلبیتی شده بعنوان هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین سدیم بشمار آیند. این رده‌بندی دوگانه مدت زیادی است شناخته شده و اهمیت عملی ویژه‌ای یافته است. هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین که بطور ژنتیکی به توده‌های معدنی وابسته‌اند، تجلی‌هایی از اصول ژئوشیمیایی بنیادی است، که بیانگر فرآیندهای دگرسانی سنگها، در زون‌های اطراف کانسارها می‌باشد. با اینهمه، در بسیاری موارد، این فرآیندها سبب هیچگونه دگرسانی محسوسی در ترکیب کانیها نمی‌شوند. از سوی دیگر، زون‌های سنگهای دگرسان شده، معمولاً با گونه ویژه‌ای از دگرسانی کانی‌شناسی مشخص می‌گردند، که بوسیله محلولهای فلزدار ایجاد می‌شود. همچنانکه پیش از این یاد شد، توده‌ها یا ذخایر کانساری معمولاً بوسیله هاله‌هایی احاطه می‌شوند که ورود و خروج عناصر شیمیایی را نشان می‌دهند. در بسیاری از بررسیها نشان داده شده است، که هاله نوع اول (که ورود عناصر را نشان می‌دهد) متداولتر است. افزون بر این، هاله‌ها معمولاً گسترده بوده، در نتیجه ارزش عملی



بیشتری دارند.

کاربرد زیاد این هاله‌ها (که از ورود عناصر نتیجه می‌شود)، این است که از عناصری تشکیل شده‌اند، که برای توده‌های کانساری نقش عناصر تیومورفیک را ایفا می‌کنند. بنابراین، شاخصهای مستقیم توده‌های کانساری هستند. از سوی دیگر، ممکن است خروج عناصر در مرحله تشکیل کانه یا در خلال فرآیند دگرسانی سنگهای درونگیر، مقدم بر (یا بدنبال) کانی‌سازی رخ داده باشد. اکنون، هیچ معیار معتبری وجود ندارد که بواسطه آن، بتوان وابستگی میان هاله‌های مشخص شده بوسیله خروج عناصر شیمیایی و توده‌های کانساری همراه آنها را مشخص نمود. طبیعتاً، این امر ارزش عملی آنها را کاهش می‌دهد. از اینرو بطور عمده به بحث در باره ویژگیها، شرایط تشکیل، و مسائل درگیر در کاربرد عملی هاله‌هایی که بوسیله ورود عناصر شیمیایی تشکیل شده‌اند، می‌پردازیم. معیارها و روشهای تفسیر هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، بوسیله الگوهای توزیع عناصر شیمیایی پیرامون توده‌های کانساری، تعیین می‌گردد. به این دلیل، به بررسی قوانین اصلی حاکم بر چگونگی ترکیب و ساختار هاله‌های نخستین، بر پایه مثالهایی از چند کانسار، پرداخته می‌شود.

### روش بررسی هاله‌های نخستین

#### نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها

نتایج بدست آمده از بررسی الگوهای توزیع عناصر شیمیایی پیرامون توده‌های معدنی شناخته شده یا کانسارها، اساس پیشرفت روشهایی است، که هاله‌های ژئوشیمیایی را در جستجو برای کشف ذخایر کانساری بکار می‌گیرد. این بررسیهای سیستماتیک، معمولاً نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از توده‌های کانساری و سنگهای درونگیر آنها، در سطح و در زرفا را دربرمی‌گیرد. نتایج حاصل از پردازش آماری دانسته‌های تجزیه‌ای، در تعیین ویژگیهای ترکیبی و ساختاری هاله‌های ژئوشیمیایی، بکار می‌رود. پس از آن این ویژگیها در تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که ضمن اکتشافات ژئوشیمیایی کشف می‌گردند، بکار می‌روند.

هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، بوسیله نمونه‌برداری از مقطعی عرضی یا پروفیلهایی که معمولاً عمود بر روند سنگ درونگیر و کانسنگ، می‌باشند، بررسی می‌گردند. شبکه نمونه‌برداری بایستی طوری طراحی شود، که هر ناهنجاری ژئوشیمیایی حداقل بوسیله دو پروفیل قطع گردد. پروفیلها ممکن است درازای مختلفی داشته باشند ولی در هر حال همگی بایستی تا ماورای گستره‌های سنگهای دگرسان شده امتداد یابند. نمونه‌های ژئوشیمیایی در امتداد پروفیلها و یا در امتداد سینه کارها یا از مغزه‌های حفاری اکتشافی در فاصله‌های ۵ تا ۱۰ متری برداشته می‌شوند. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از سنگ بستر بایستی با شرح زمین‌شناسی تفصیلی از همهٔ محللهای نمونه‌برداری همراه باشد، برای اکتشاف کانسارها، با استفاده از هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، یا هر نوع هالهٔ دیگر، انتخاب روش تجزیه و آنالیز تعداد زیادی نمونه، مورد نیاز است. بنابراین، با توجه به تکنیک نمونه‌برداری مقدار تلاش و نیرویی که بایستی بکار رود تعیین می‌گردد.

روش به‌اصطلاح لپری-شیری (Chip-Channel)، تکنیک اصلی نمونه‌برداری است. در این روش، در هر ایستگاه نمونه‌گیری، ۵ تا ۶ تکه‌از سنگ شکسته‌شده و برداشت می‌شود (هر پاره تقریباً ۳ تا ۴ سانتی متر مربع

عرض دارد) که مجموعاً یک نمونه را تشکیل می‌دهد. این روش علاوه بر سرعت زیاد، امتیاز مهم دیگری نیز دارد. یعنی نسبت به مقادیر ناهنجار عناصر شاخص، بسیار حساستر از روشهای نمونه‌برداری شیری یا کلی است و هاله‌های ترسیم شده بوسیله این روش بمراتب وسعت بیشتری نشان می‌دهند.

همه نمونه‌های انتخاب شده، بوسیله سنگ خردکن فکی به ذرات یک میلی‌متری خرد می‌شوند یک چهارم نمونه پس از آسیاب و چهار یک شدن، پودر و تجزیه می‌شود، بایستی اطمینان داشت که نمونه‌ها در خلال آماده‌سازی (فرآوری) آلوده نشوند.

به منظور اندازه‌گیری دامنه وسیعی از عناصر شیمیایی نمونه‌ها با روش اسپکتروگرافی نشری به طور نیمه کمی تجزیه می‌شوند. برای اطمینان از بدست آوردن نتایج قابل قبول از تجزیه اسپکتروگرافی نیمه کمی، لازم است افزون بر کنترل‌های داخلی و خارجی، تکرارپذیری نتایج نیز، بوسیله تجزیه‌های تکراری ده در صد از نمونه‌های هر دسته کنترل شود. در صورتی نتایج تجزیه‌ای حاصل مورد پردازشهای بعدی قرار می‌گیرد که نتایج آزمایشات تکرارپذیری، موفقیت‌آمیز باشد. روش کار در دستورالعملها (راهنمایهایی بر روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی، ۱۹۶۵). شرح داده شده است.

### روشهای آشکارسازی هاله‌های نخستین

پایه اکتشافات ژئوشیمیایی کانسارها شامل کشف، و بدنبال آن تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی (از جمله هاله‌های نخستین در سنگ بستر) است، که نتیجه فرآیندهای تشکیل کانه می‌باشد.

هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین به کمک روشهای معمول، بر پایه مقایسه میان گستره‌های مورد بررسی و پارامترهای توزیع زمینهٔ عناصر، آشکار و مشخص می‌شوند. برای محاسبه این پارامترها و تعیین حداقل مقادیر ناهنجاری (آستانه) عناصر شیمیایی برای هر نوع سنگ درونگیر، معمولاً از نتایج نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از سنگ بستر در گستره‌های زمینه‌ای انتخاب شده (به روش ویژه)، استفاده می‌شود. این گستره‌های زمینه‌ای بایستی از توده‌های معدنی یا کانسارها، بسیار دور بوده و نبایستی تحت تأثیر کانی‌سازی قرار گیرند.

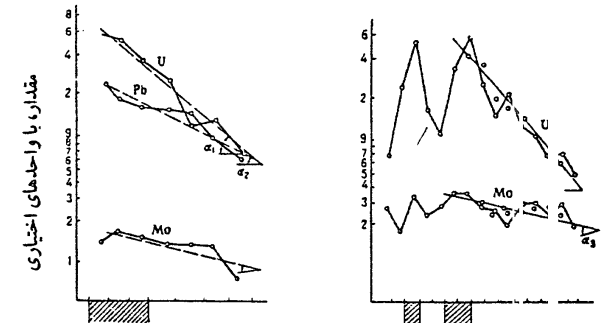
هاله‌های نخستین عناصر شیمیایی، در نقشه و در مقطع بر پایهٔ حداقل مقادیر ناهنجاری محاسبه شده در سطح معنی‌دار بودن ۵ در صد، به دقت تعیین می‌گردند.

بررسی بسیاری از کانسارها نشان داده است که عناصر شاخص، بسته به ترکیب و دیگر ویژگیهای کانی‌سازی، هاله‌های نخستین را در اندازه‌های مختلف تشکیل می‌دهند. برای مثال گسترهٔ قائم هاله‌های نخستین برخی از عناصر، در ذخایر پلی‌متالیک اسکارنی به بیش از صدها متر می‌رسد، در حالیکه در پاره‌ای از انواع مختلف کانسارها (مانند کانسنگ‌های طلا) هاله‌های نخستین همان عناصر، آنقدر کوچک و ضعیف است که شناسایی آنها در خلال اکتشافات ژئوشیمیایی دشوار است. از اینرو، پیشرفت روشهای ویژه برای آشکارسازی قابل قبول هاله‌های ژئوشیمیایی ضعیف، مسئله مبرمی است.

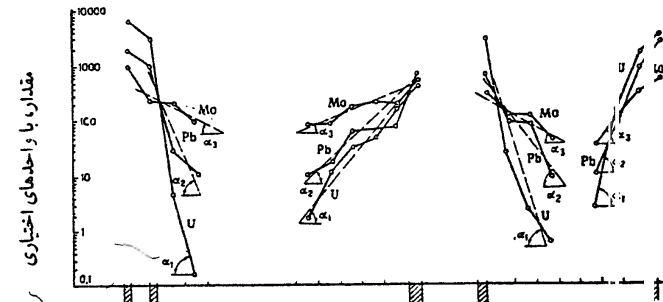
عوامل کنترل‌کننده اندازه هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ابتدا به

ویژگیهای توزیع عنصر در هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین می‌پردازیم. موریس<sup>۱</sup> و لورینگ<sup>۲</sup> (۱۹۵۲) بر پایه بررسی ذخایر سرب و روی در بخش تین تیک<sup>۳</sup> از ایالت یوتا نشان داده‌اند، همچنانکه از یک توده معدنی دور می‌شویم، تمرکز سرب و روی در هاله‌های نخستین به صورت تابع نمایی کاهش می‌یابد، نمودارهای توزیع عناصر، رسم شده در سیستم مختصات نیمه لگاریتمی، به خط مستقیم نزدیک می‌شود.

با اینهمه، در بیشتر موارد، این الگو در هاله‌های نخستین ذخایر گرمایی با توزیع بی‌قاعده عناصر ناپدید می‌شود. چنین الگو، ای پس از پرداخت کامل داده‌ها، به شکل قابل قبولی روشن و مشخص می‌شوند. شکلهای ۴ و ۵ توزیع بسیاری از عناصر پیرامون توده‌های معدنی را نشان می‌دهد، که در یک سیستم مختصات نیمه لگاریتمی رسم شده است. نمودارهای «پرداخت شده» به خط راست نزدیک است (پرداخت بوسیله روش شبکه تحرک، میانگین متحرک انجام می‌شود. در هر شبکه سه نمونه قرار می‌گیرد).



شکل ۴. نمودارهای جریب و «پرداخت شده» توزیع عناصر پیرامون توده‌های معدنی (توجه: نوارهای عمودی هاشورزده)، گستره‌ی آتانی‌سازی شده را نشان می‌دهد.



شکل ۵. نمودارهای تریبی و «پرداخت شده» توزیع عناصر پیرامون توده‌های کانساری (توجه: نوارهای عمود هاشورزده) گستره‌های کانی‌سازی شده را نشان می‌دهد.

1- Morris      2- Lovring      3- Tintic

تجزیه و تحلیل نمودارهای توزیع عناصر (شکل ۵) نشان می‌دهد، اندازه هاله‌ها بطور مستقیم به حداقل مقدار ناهنجاری آستانه و شیب تغییرات غلظت وابسته است. شیب تغییرات غلظت برابر است با تانژانت یک زاویه تند،  $\alpha$ ، که نمودار توزیع و محور Xها با هم می‌سازند و بوسیله قابلیت اغشته کردن عناصر و نفوذ آنها در سنگهای درونگیر توده‌های کانساری (گریگوریان ۱۹۶۳) اندازه‌گیری می‌شود.

پس از آن سولووف<sup>۱</sup> (۱۹۶۶) پیشنهاد کرد اصطلاح «پویایی عنصر» بکار برده شود، که بطور کمی بوسیله  $\lambda/\alpha = \tan \alpha$  می‌باشد، مشخص شده است. از آنچه گفته شد، چنین نتیجه‌گیری می‌شود، که تنها راه شدت دادن به هاله‌های ضعیف، کاهش اثر تداخل مقدار زمینه است، زیرا این اثر تداخل، اندازه هاله را محدود می‌سازد.

**روشهای شدت بخشی به هاله‌های نخستین**

اکنون به شرح چهار روش شدت بخشی به هاله‌های نخستین، بر پایه کاهش اثر تداخل توزیع زمینه عناصر شاخص، در سنگهای درونگیر، می‌پردازیم:

**۱- روش مبتنی بر تجزیه کمی نمونه‌های ژئوشیمیایی**

حداقل مقدار ناهنجاری (آستانه)، که هاله‌ها بر پایه آن مشخص می‌شوند، بستگی به پارامترهای اصلی توزیع عناصر شیمیایی در سنگ درونگیر دارد. پارامترهای اصلی توزیع عبارتند از: میانگین حسابی، واریانس (پراش) و انحراف استاندارد. مقدار میانگین (در مورد توزیع نرمال، میانگین حسابی یا در مورد توزیع لوگ نرمال، میانگین حسابی لگاریتمیها)، معمولاً با استفاده از شمار زیادی نمونه محاسبه می‌شود، و مقدار آن بسیار نزدیک به میانگین واقعی برای کل جمعیت است. انحراف استاندارد، تغییرات مقادیر عناصر را مشخص می‌کند. این تغییرات، هم به علت توزیع غیریکنواخت عناصر در سنگهای مورد بررسی و هم به سبب خطاهای ایجاد شده در نمونه برداری، فرآوری و تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی می‌باشد، بنابراین:

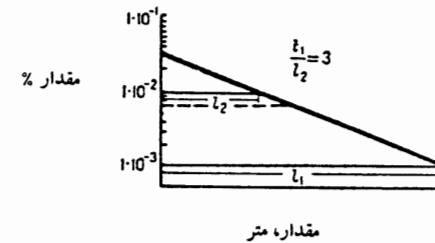
$$S^2 = S_{ntr}^2 + S_{smp}^2 + S_{prc}^2 + S_{an}^2$$

که  $S^2$  واریانس کلی مقادیر است،  
 $S_{ntr}^2$  واریانس طبیعی حاصل از توزیع غیریکنواخت مقدار عنصر است،  
 $S_{smp}^2$  واریانس مربوط به آمایش (فرآوری) نمونه‌ها است، (آماش)  $(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i)^2)$   
 $S_{an}^2$  واریانس آنالیزی است.

معمولاً روشهای تجزیه (نیمه کمی) اسپکتروگرافی نشری، برای نمونه‌های ژئوشیمیایی بکار می‌رود و ممکن است، خطای تصادفی زیادی را نشان دهد، که گاهی اوقات به ۶۰ درصد یا بیشتر می‌رسد. به این دلیل،

1- Solovov      \* در صورت نیاز

هاله‌های ترسیم شده کوچکتر از اندازه واقعی نمود می‌کند. و این امر گویای این واقعیت است که مقدار نسبتاً زیاد واریانس (پراش) آنالیزی، به بیشتر شدن مقادیر ناهنجاری حداقل می‌انجامد. روشهای تجزیه کمی در مقایسه با روشهای نیمه کمی، واریانس تجزیه‌ای بسیار کمتری دارد. از اینرو، بایستی انتظار داشت که بکار بردن روشهای کمی برای تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی، به آشکارسازی هاله‌های نخستین بزرگتری از عناصر شاخص کمک کند و توده‌های معدنی نهفته در ژرفا را نمایان سازد. با اینهمه، تجربه نشان داده است که اندازه اضافی هاله که در صورت بکار بردن روشهای کمی حاصل می‌شود، آقدر زیاد نیست که بتوان استفاده از روشهای گرانتر را توجیه نمود. شکل ۶، اندازه هاله نخستین سرب را که با هر دو روش تجزیه نیمه کمی و کمی آشکار شده است، با هم مقایسه می‌کند. روش کمی، اندازه هاله را تنها ۱۵ درصد افزایش داده است.



شکل ۶. مقایسه ابعاد هاله‌های سرب که از راه تجزیه شیمیایی جزئی (۱)، اسپکتروگرافی نثری نیمه کمی (۲)، و تجزیه اسپکتروگرافی نثری کمی (خط مقطع) آشکار شده است.

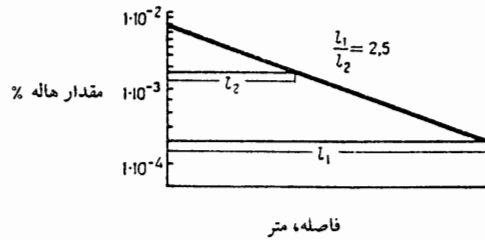
## ۲- روشهای استفاده از تجزیه شیمیایی جزئی نمونه‌های ژئوشیمیایی

در مواردی که الگوهای توزیع عناصر شاخص در سنگهای درونگیر پراکندگی هم‌زایشی (سن ژتیک) و هاله‌های آنها (پراکندگی روزادی یا اپی ژتیک) با یکدیگر تفاوت دارد، امکان افزایش وسعت زون ناهنجاری ژئوشیمیایی وجود دارد. برای این کار، می‌توان اثر پراکندگی هم‌زایشی-سن ژتیک- (زمینه) عنصر را، که نمایش دقیق هاله را دشوار می‌سازد، به کمک تجزیه شیمیایی جزئی نمونه‌های ژئوشیمیایی، به حداقل کاهش داد. نتایج بدست آمده از بکار بردن این روش برای بهتر نشان دادن هاله‌های نخستین، در زیر با مثالهایی از اورانیم و سرب- شاخص‌های اصلی کانسارهای گرمایی اورانیم- تشریح می‌شود.

**اورانیم** - روش تجزیه جزئی برای اورانیم، بر نحوه شکل‌گیری هاله‌های نخستین اورانیم، در سنگهای درونگیر (در ناحیه‌های زمینه‌ای) متکی است. چنین دریافته‌اند که اورانیم وارد شده در سنگهای درونگیر، در اثر پیدایش توده‌های کانساری، معمولاً به شکل کانیهای خود این عنصر نمودار می‌شود. یعنی، به شکل اورانینیت و اورانینیت دوده‌ای (پیچ بلند)، در صورتیکه نمونه‌های دربرگیرنده این کانیها در محلول کربنات سدیم ۲ درصد ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) قرار گیرد، به آسانی قابل حل است. (با افزایش مقداری پراکسید هیدروژن برای اکسید کردن اورانیم چهار ظرفیتی). این روش، امکان تعیین مقدار به اصطلاح اورانیم پویا را، در نمونه‌ها

فراهم می‌کند و در نشریات زیادی به تفصیل شرح داده شده است (برای مثال، گریگوریان و یانیشفسکی، ۱۹۶۸). تجربه نشان داده است، که اورانیم پراکنده سن ژتیک موجود در نمونه‌های گرانیتی که از ماوراء هاله‌های اورانیم جمع‌آوری شده، تنها به مقدار ناچیزی، بوسیله محلول کربنات سدیم قابل استخراج است. باین معنی که اورانیم پراکنده نخستین در گرانیت‌ها، عمدتاً به شکلی موجود است که قابل حل در محلول کربنات دوسود نمی‌باشد (از قبیل حضور در کانیهای همراه و جز اینها)، به این علت، دریافتند که مقدار ناهنجاری حداقل اورانیم پویا ( $2 \text{ ppm} = 0.0002\% = 4 \times 10^{-4}\%$ ) بطور شایان توجهی کمتر از مقدار ناهنجاری حداقل نتیجه شده از مقدار کل اورانیم در نمونه ( $16 \text{ ppm} = 0.0016\% = 3 \times 10^{-3}\%$ ) است. (توزیع اورانیم در هر دو مورد از قانون لوگ نرمال پیروی می‌کند، مقدار ناهنجاری حداقل در سطح معنی‌دار بودن ۵٪ تعیین شده است).

نمودارها نشان داده است که استفاده از تجزیه شیمیایی جزئی به آشکارسازی هاله‌های اورانیم پویا کمک می‌نماید، و این هاله‌ها بسیار بزرگتر از هاله‌هایی است که بر پایه مقدار کل اورانیم موجود در نمونه‌ها بدست آمده است. در موردی که شکل ۷ نشان می‌دهد، هاله بر روی یک توده کانساری نهفته با حداکثر ناهنجاری اورانیم به مقدار ۰/۰۰۷ درصد (در مرکز هاله) کشف شده است. بنابراین، روش تجزیه جزئی امکان ترسیم و مشخص کردن هاله‌ای از اورانیم پویا را امکان‌پذیر می‌نماید، که ۲/۵ مرتبه بزرگتر از هاله کشف شده بر مبنای اندازه‌گیری مقدار کل اورانیم در نمونه‌ها می‌باشد.



شکل ۷. مقایسه میان اندازه هاله‌های مشخص شده بوسیله روش تجزیه جزئی (۱) و اندازه‌گیری مقدار کل اورانیم در نمونه‌ها (۲).

شکل ۸، نمودار تغییرات قائم «بارآوری خطی»\* (برای تعریف آن به فرهنگ لغات مراجعه شود) هاله اورانیم پویایی را، که در محور Xها با استفاده از مقیاس لگاریتمی رسم شده است، نشان می‌دهد. محور Yها فاصله از توده معدنی نهفته را در مقیاس خطی نشان می‌دهد. نمایش این نوع تغییرات اساساً یک خط راست است. به منظور تعیین میزان گسترش قائم هاله اورانیم، در بالای یک توده معدنی، نمودار بارآوری خطی هاله آقدر ادامه داده می‌شود، تا خط موازی با محور Yها را، که منطبق با حداقل بارآوری ناهنجاری (آستانه) است، قطع کند. هاله‌ای که دارای عرض حداقل و مقداری برابر با مقدار حداقل آستانه باشد، دارای یک

\* - توضیح مترجم: بارآوری خطی برابر است با میانگین مقدار یک عنصر، ضرب در فاصله خطی مخصوص آن مقدار بر حسب متر.

بیش از ژرفای پیشین، توده‌های معدنی نهفته را شناسایی نمود.

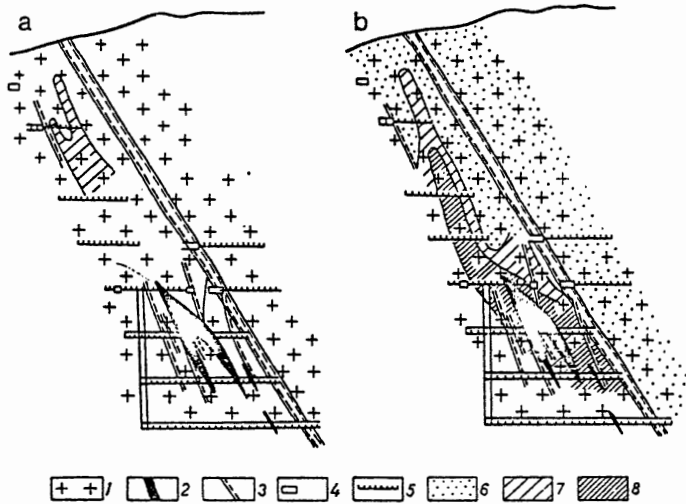
این نتیجه‌گیری بوسیله نتایج بدست آمده از حفاریهای بعمل آمده در چنین هاله‌هایی تأیید شده است. شکل ۹ هاله‌های اورانیم را نشان می‌دهد، که در نتیجه حفاری توده معدنی نهفته بدست آمده است. هاله پیرامون توده معدنی از دو راه مشخص شده است.

۱- با اندازه‌گیری اورانیم پویا.

۲- با اندازه‌گیری کل مقدار اورانیم در نمونه‌ها.

به منظور کاهش شمار تجزیه‌ها، مقدار کل اورانیم، تنها در نمونه‌های برداشته شده از سطح و در امتداد افق اول (از پروفیل قائم) اندازه‌گیری شده است.

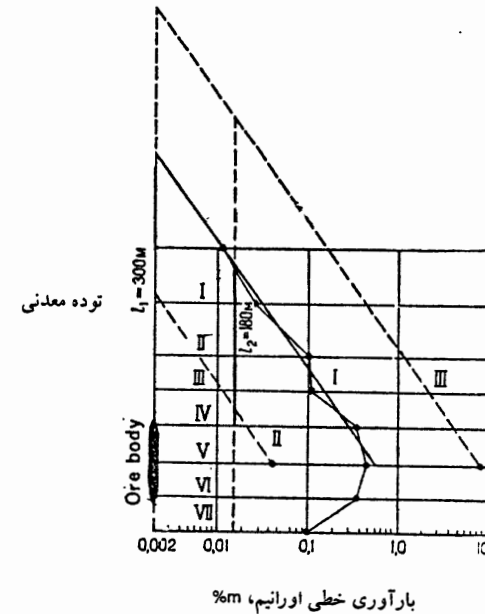
مقایسه نشان می‌دهد که هاله اورانیم پویا، وسیعتر از هاله‌ای است که با اندازه‌گیری کل مقدار اورانیم تعیین می‌شود. در همه نمونه‌های برداشته شده از سطح، مقدار اورانیم پویا ناهنجاری است، در حالیکه کل مقدار اورانیم در همان نمونه‌ها کمتر از حداقل ناهنجاری است.



شکل ۹- هاله‌های نخستین اورانیم پیرامون توده‌های معدنی نهفته. a - بوسیله اندازه‌گیری کل مقدار اورانیم در نمونه‌ها تعیین شده است. b - با روش تجزیه جزیی تعیین شده است.  
 ۱- گرانیت، ۲- توده کانسار، ۳- جابجایی (شکستگی)، ۴- کارگاه‌های زیرزمینی و گمانه‌ها، ۵- فاصله نمونه‌گیری، ۶ تا ۸ مقدار اورانیم بر حسب درصد (۰/۰۰۰۲۶ تا ۰/۰۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۰۵۷ تا ۰/۰۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۰۵۸، بیش از ۰/۰۰۰۵)

به عبارت دیگر هاله اورانیم در بخش سطحی یک مقطع فرضی، بوسیله کل مقدار اورانیم قابل آشکارسازی نبوده و عرض آن در امتداد افق اول بسیار کوچک است. بنابراین توده معدنی نهفته را که در شکل ۹ نشان داده شده است، نمی‌توان طی اکتشاف با بکار بردن هاله‌های اورانیمی مشخص نمود، که تنها بر

چنین بارآوری است. عرض حداقل یک هاله که در طول اکتشافات ژئوشیمیایی ثبت می‌شود، برابر با فاصله میان دو نمونه توالی (در مثال داده شده ۵ متر) است. البته، به منظور پیش‌گیری از امکان خطا در این مورد خاص، عرض حداقل، برابر ده متر انتخاب شده است، زیرا هاله‌ها بایستی حداقل با دو نمونه قطع گردند. اگر حداقل دو نمونه یک ناهنجاری را قطع نکند، در آنصورت داده‌های تجزیه‌ای با مقدار زیاد که از هر یک از نمونه‌ها بدست آمده ممکن است به سبب عاملهای تصادفی از قبیل نوسان در تمرکزهای زمینه عناصر ایجاد شده باشد و به شائبه ناهنجاری بشمار آید. بنابراین، حداقل بارآوری خطی ناهنجاری (آستانه) هاله اورانیم پویا،  $(0/002 = 0/0002 \times 10)$  متر درصد، خواهد بود، در حالیکه هاله اندازه‌گیری شده بر پایه مقدار کل اورانیم،  $(0/016 = 0/0016 \times 10)$  متر در صد خواهد بود.

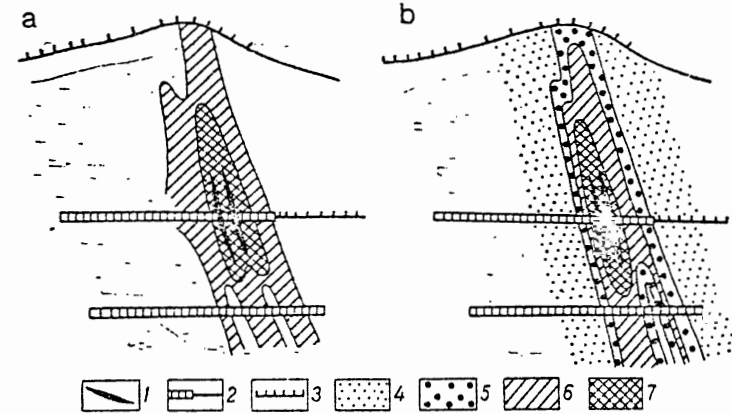


شکل ۸- مقایسه میان گسترش قائم هاله‌های اورانیم در بالای یک توده معدنی نهفته، که با روشهای مختلف مشخص شده است (توده معدنی با سایه تیره نشان داده شده است). ۱- معرف گسترش هاله اورانیم و پویا است، ۲- معرف گسترش هاله‌ای است، که بوسیله مقدار کل اورانیم تعیین شده.  
 (شماره‌های I و II در جهت قائم ترازهای زیر سطح است. I و II و III دیگر، افق‌های معدنکاری یا اکتشافی است).

از شکل ۸ چنین برمی‌آید که وسعت هاله اورانیم (بر پایه برون تخمینی - برون پوش - مقدار کل) برابر ۱۸۰ متر است (هاله به سطح نمی‌رسد)، در حالیکه وسعت هاله اورانیم پویا ۳۰۰ متر است. بنابراین، با استفاده از تجزیه‌های شیمیایی جزیی، به کمک هاله‌های اورانیم نخستین امکان دارد، در ژرفایی ۱/۵ برابر

پایه کل مقدار اورانیم در نمونه‌ها است.

شکل ۱۰، هاله‌های اورانیم ثبت شده در مجاورت دو توده معدنی نهفته نزدیک به هم که تنها بوسیله دو نمونه با حداقل ناهنجاری مقادیر کل اورانیم، در سطح نشان داده شده است. در همین حال محل برداشت بیشتر نمونه‌ها (از سطح) در درون هاله اورانیم پویا قرار می‌گیرد. افزون بر این افق ناهنجار دیگری از اورانیم پویا در سطحی که مستقیماً بر روی توده‌های معدنی قرار دارد، مشخص شده است. بنابراین، زون اورانیم پویا وسیعتر از هاله‌ای است، که تنها بر مبنای کل مقدار اورانیم، تعیین شده باشد.



شکل ۱۰. هاله‌های نخستین اورانیم پیرامون توده‌های معدنی (کانساری) نهفته. a - با اندازه‌گیری کل مقدار اورانیم در نمونه‌ها مشخص شده است. b - با روش شیمیایی جزئی مشخص شده است.  
 ۱- توده معدنی، ۲- کارگاه زیرزمینی و گمانه‌ها، ۳- فاصله نمونه‌برداری، ۴ تا ۷- مقدار اورانیم، بر حسب درصد (۰/۰۰۲۴ تا ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۱۵ تا ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۵، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۵).

روش تجزیه جزئی برای تجزیه شیمیایی اورانیم، بسیار آسانتر از روش تجزیه‌ای است که در آن کل مقدار اورانیم اندازه‌گیری می‌شود. این روش امکان انجام تجزیه‌های زیادی را برای اورانیم پویا فراهم می‌کند. اساساً این نوع تجزیه‌ها در اکتشاف ژئوشیمیایی کاربرد زیادی دارد.

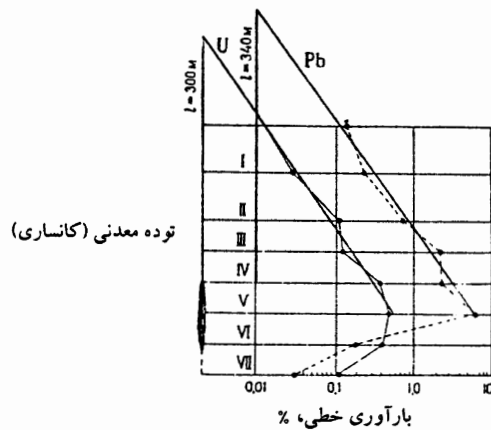
سرب - هاله سرب که بر اساس تعیین کل مقدار سرب و بوسیله تجزیه اسپکتروگرافی نشری مشخص شده است، از هاله اورانیم پویا کوچکتر است. هاله سرب در سطح آشکار نشده است. بکار بردن سرب، بعنوان شاخص زون‌بندی اورانیم در ذخیره‌های مورد بحث پیشنهاد گردیده است. تصور می‌شود، این امر به تعیین تراز فرسایش هاله نخستین کمک نماید. نبودن سرب در هاله سطحی، می‌تواند نشان‌دهنده تراز فرسایش ژرف، و همچنین دلیل نبودن توده‌های کانساری نهفته در ژرفا باشد. البته این امر در صورتی صادق است، که هاله‌های سرب و اورانیم بر روی توده معدنی (کانساری)، ابعاد تقریباً یکسانی داشته باشند. بنابراین، اگر هاله‌های سرب کوچکتر باشد، در آنصورت هاله‌های اورانیم به تنهایی، بدون هیچ تائیدی بر مقادیر

ناهنجار سرب، در بخشهایی از هاله‌ها که به فاصله زیادی از توده‌های کانساری نهفته قرار دارد، قابل ثبت خواهند بود، این امر (نبودن سرب) ممکن است به نتیجه‌گیری غلط در باره نبودن کانی‌سازی نهفته در ژرفا بینجامد. بنابراین لازم است، با تفصیل بیشتری به جستجو برای هاله‌های سرب پرداخت.

گالن - سرچشمه مهمی از سرب در هاله‌های کانساری اندوژنیک<sup>۱</sup> (درونزادی) است. البته تاوسن (۱۹۶۱) (Tauson) گزارش نموده که بخش عمده سرب در گرانیته‌ها به صورت درآمیخته‌های ایزومورف و در فلدسپات پتاسیم جای دارد. به منظور تعیین چگونگی حضور سرب در نمونه‌های مورد نظر، روشی که «تاوسن» برای انحلال انتخابی گالن پیشنهاد نموده، بکار گرفته می‌شود. انحلال با استفاده از اسید کلریدرکی به غلظت ۱:۵۰ (حجمی) که به آن نمک طعام (به غلظت یک گرم در لیتر) افزوده شده اعمال می‌گردد. تجربه نشان داده است، اسید کلریدرکی با این غلظت نه تنها شبکه‌های بلوری کانیهای سنگ‌ساز را از بین نمی‌برد، بلکه در عین حال، حلال خوبی برای گالن است. افزایش نمک به حلال، باقی ماندن سرب در محلول راه، بدلیل تشکیل ترکیب کمپلکس از نوع  $Na[PbCl_4]$ ، که بسیار پایدارتر از  $PbCl_2$  است، مساعد می‌نماید. مقدار سرب به روش دی‌تیوزون<sup>۲</sup> تعیین می‌گردد.

پردازش آماری نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های جمع‌آوری شده در بیرون هاله، امکان می‌دهد که حداقل مقادیر ناهنجار سرب قابل استخراج را تعیین نمود. (ppm = ۱۰ = ۰/۰۰۱% = ۰/۰۰۱% × ۱۰) این مقدار ده برابر کمتر از حداقل مقدار ناهنجاری بدست آمده، بر مبنای کل مقدار سرب می‌باشد و برابر است با ۰/۰۲% = ۰/۰۲% × ۱۰ (حداقل مقادیر ناهنجاری در سطح معنی‌دار بودن ۰/۰۵% محاسبه شده است).

ابعاد هاله‌های مشخص شده به روش استخراج جزئی برای سرب و اورانیم در شکل ۱۱ مقایسه شده است.



شکل ۱۱- مقایسه میان اندازه هاله‌های سرب و اورانیم که بوسیله روشهای تجزیه شیمیایی جزئی مشخص شده است (توده معدنی به شکل سایه تیره نشان داده شده است).

1- Indogenic 2- Dithiazone

در مورد هاله نختین سرب، حداقل مقدار ناهنجاری سرب برابر است با  $2-1 \times 10^{-2}$  (یا  $0.2\%$ )، بنابراین، کاربرد تریه جزئی، هاله را سه برابر بزرگتر از آنچه بوسیله روش اسپکتروگرافی نثری (یک مقدار کل) بدست آمد است، می‌سازد (شکل ۶ دیده شود).

بکار بردن تریه های جزئی، بویژه برای آن عناصری جایز است، که هاله‌هایشان نه چندان بزرگ و نه به اندازه کافی مشخص باشد. برای مثال، شکل ۸ نشان می‌دهد که کاربرد تجزیه جزئی امکان می‌دهد، هاله اورانیم را با دارا بودن حداکثر بارآوری خطی، در جهت قائم به  $1/2$  برابر، گسترش داد. گسترش قائم هاله با یک حداقل بارآوری خطی را می‌توان تقریباً با فاکتور ۱۰ افزایش داد.

### ۳- تجزیه اجزاء سنگین نمونه‌های ژئوشیمیایی

این روش شدت به‌دستی به ناهنجاریها، بر پایه تمرکز انتخابی اجزاء سنگین نمونه‌های ژئوشیمیایی قرار دارد. فرض می‌شود که این نمونه‌ها از هاله‌های نخستینی برداشته شده باشد، که عناصر شاخص آنها بوسیله محلولهای فلزدار آرد هاله شده و به شکل کانیهای سنگین ته‌نشین شده باشند (سولفورها و جز اینها). درستی این فرض در زیر بررسی می‌شود. نتایج بدست آمده از بررسیهای انجام شده، در یک ذخیره اورانیم-سولفید موجود در گرانتیت‌ها نشان داده شده است.

به منظور بدست آوردن دانسته‌های کمی در باره مقدار تمرکز کانیهای سنگین و تعیین شرایط بهینه برای بکار بردن این روش در بررسی هاله‌ها، توزیع عناصر همراه اورانیم (یعنی سرب، مولیبدن، مس و روی)، در اجزایی از نمونه‌ها نگرانی با ابعاد مختلف با هم مقایسه شده است. وزن هر نمونه در حدود ۲ کیلوگرم بوده و نمونه‌ها در حد ۱ متر از یک میلیمتر خرد شده، سپس اجزاء مختلف بوسیله الک شدن دسته‌بندی شده است  $(+1, -1, +1/4, -1/4, +1/6, -1/6, +1/25, -1/25, +1/4, -1/4, +1/1, -1/1)$  میلیمتر). هر گروه از مواد حاصل با استفاده از برومو فوم ک. چگالی آن  $2/8$  است، به دو جزء سبک و سنگین تقسیم شد. پرمایگی انتخابی از عناصر شاخص، اجزاء سنگین مشاهده گردید. این پرمایگی، در نمونه‌هایی مشخص است، که از هاله‌های ژئوشیمیایی برداشته شده‌اند. بخصوص نمونه‌های متعلق به دسته ریزتر (با کوچکترین قطر ذرات) بارز و آشکار است.

افزون بر دانسته‌هایی که در مورد مقادیر عناصر شاخص بدست می‌آید تعیین نسبت هر یک از اجزاء تشکیل دهنده (به نکل) درصد وزنی کل نمونه مورد تجزیه، اندیس کمی دیگری از انباشت یک عنصر در یک جزء معین می‌باشد.

فرمول زیر می‌تواند، برای تعیین خصلت کمی انباشت عنصری با دانه‌بندی معین (با اندازه معین ذرات) به کار رود.

$$Q = C \cdot b$$

C مقدار عنصر مورد نظر در جزء مورد نظر (بر حسب درصد) است.

b مقدار جزء مورد نظر در نمونه (بر حسب درصد) است.

کمیت b را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$b = \frac{d \cdot 100}{D}$$

d وزن جزء مورد نظر بر حسب گرم است.

D وزن کل نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

پارامتر Q اندیس پرمایگی عناصر شاخص در اجزایی به ابعاد مختلف می‌باشد. محاسبات نشان داده است، این پارامتر برای عناصر شاخص در نمونه‌های ناهنجار، بسیار بیشتر از مقدار آن در نمونه‌های برداشته شده از خارج زون ناهنجاری می‌باشد.

جدول ۲۴ داده‌های مربوط به توزیع عناصر شاخص انتخابی، در اجزاء مختلف از دو نمونه گرانیته را نشان می‌دهد، یکی از آنها از درون هاله کانسار اورانیم و دیگری از بیرون این هاله برداشته شده است. نمونه اول از نظر افزایش مقدار عناصر شاخص و دارا بودن درصد بیشتری از اجزاء کانی سنگین، با نمونه دوم، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد. حداکثر مقدار عناصر شاخص معمولاً در اجزای سنگینی یافت می‌شود که دارای کوچکترین اندازه ذرات ( $1/1$  mm) است. همین جدول مقادیر اندیس پرمایگی (غنی‌شدگی) عناصر شاخص موجود در اجزاء سنگین را می‌نماید. مقایسه نشان می‌دهد، که حداکثر اندیس پرمایگی ویژه اجزاء سنگین از درون هاله‌ها بدست آمده است. اندیس پرمایگی بستگی بارزی به اندازه ذره دارد: هر چقدر اندازه جزء سنگین کوچکتر باشد، اندیس بزرگتر است.

جدول ۲۴- توزیع عناصر در اجزای با اندازه‌های مختلف نمونه‌های ژئوشیمیایی

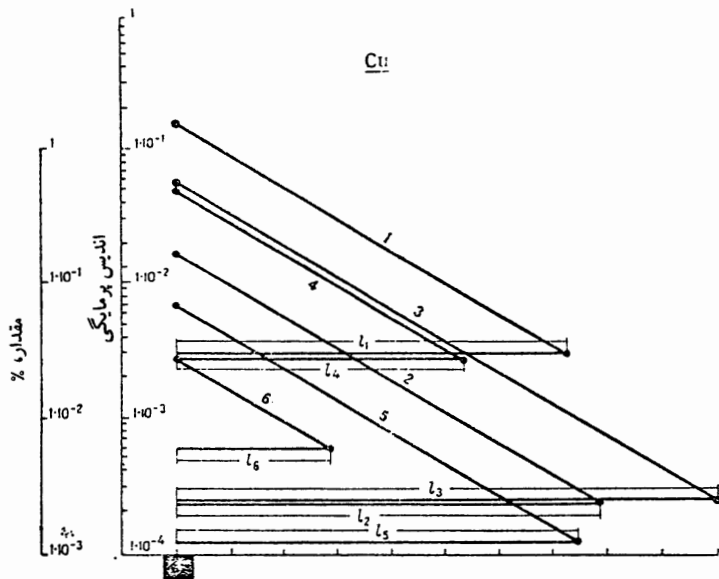
جزء	اندازه گروه mm	وزن گرم	مقدار %								
			Zn	Cu	Mo	Pb	Zn	Cu	Mo	Pb	
نمونه‌های برداشته شده از درون هاله											
سبک	۹۸	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲
	۴۰۸	۰/۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	۳۲۰	۰/۰۱	بسیار کم	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱
	۳۸۲	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
سنگین	۱۶/۱	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۰۰۵
	۷/۵	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱
	۷/۴۵	۰/۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱
	۳۷/۷	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۳	۰/۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲	۰/۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲
سبک	۱۸۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
	۳۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
	۳۵۰	۰/۰۰۶	بسیار کم	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
	۳۲۵	۰/۰۰۶	بسیار کم	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸
سنگین	۱۳۰	۰/۰۱	بسیار کم	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	بسیار کم	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	بسیار کم	۰/۰۰۳
	۳/۸۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۱۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۱۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸
	۱/۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱
	۱/۸۵	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲
نمونه‌های برداشته شده از بیرون هاله											
سبک	۱۸۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
	۳۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
	۳۵۰	۰/۰۰۶	بسیار کم	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
	۳۲۵	۰/۰۰۶	بسیار کم	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸
سنگین	۱۳۰	۰/۰۱	بسیار کم	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	بسیار کم	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	بسیار کم	۰/۰۰۳
	۳/۸۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۱۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸	۰/۱۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۱	۰/۰۰۸
	۱/۰	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۰۱
	۱/۸۵	۰/۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲

توجه: حساسیت تجزیه‌ها: Zn  $1 \times 10^{-2}$  %، Cu  $1 \times 10^{-4}$  %، Mo  $1 \times 10^{-4}$  %، Pb  $1 \times 10^{-2}$  %

متوسط است (۰/۲۵ + ۰/۴-)، روشن است که هر چقدر اختلاف میان نسبتها بیشتر باشد، هاله‌های یافت شده بزرگتر خواهد بود (در صورتیکه دیگر شرایط یکسان باشد).

برای دستیابی به دانسته‌های مقایسه‌ای، در باره ابعاد هاله‌هایی که بوسیله تجزیه اجزاء سنگین کشف شده است، نمودارهای توزیع بر پایه اندیسه‌های پرمایگی (غنی شدگی) در دستگاه مختصات نیمه لگاریتمی رسم شده است و نمودارهای توزیع مقادیر عناصر شاخص (تجزیه کلی نمونه‌ها) بر روی همین نمودارها ترسیم گردیده است. در رسم نمودارها فرض شده است که:

- ۱- اندیس پرمایگی به صورت نمایی کاهش می‌یابد.
  - ۲- شیب منحنی‌ها برای تمام عناصر برابر است (از جمله نمودارهای توزیع عناصر).
  - ۳- تغییرات در مقادیر زمینه عناصر، و نیز تغییرات اندیس پرمایگی هم‌سو می‌باشد.
- شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نمودارهای مس و مولیبدن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- مقایسه ابعاد هاله‌های مس بدست آمده از تجزیه اجزاء سنگین از گروه‌های با قطر ذرات مختلف. نمودارهای ۱ تا ۵ متعلق به اجزاء سنگین بر حسب میلی‌متر (۰/۱ تا ۰/۶، ۰/۱ تا ۰/۴، ۰/۱ تا ۰/۲۵، ۰/۴ تا ۰/۱، ۰/۱ تا ۰/۲۵، ۰/۱ تا ۰/۴، ۰/۱ تا ۰/۲۵، ۰/۱ تا ۰/۴) می‌باشد، ۶، نمودار مقادیر کل است. اندیس پرمایگی (غنی شدگی) (Q) در متن به صورت  $Q = C.b$  تعریف شده است، که C مقدار عنصر در جزئی معین است و b مقدار این جزء در نمونه (هر دو بر حسب درصد). بنابراین، این نمودار نشان می‌دهد، بزرگترین هاله‌ها هنگامی آشکار می‌شوند، که هاله‌های اجزاء سنگین (خطوط مایل) با هاله‌هایی مقایسه شود که بر اساس تجزیه کلی نمونه تعیین می‌گردند، (خطوط افقی).

همه این دانسته‌ها نشان می‌دهد که نمونه‌ها با استفاده از اندیس پرمایگی بهتر متمایز می‌شوند، تا با استفاده از مقدار کل عناصر شاخص. برای مثال، کل مقدار سرب در نمونه ناهنجار (۰/۲٪) تنها ۳/۳ برابر زمینه (۰/۰۰۶٪) است. این بدان معنی است که نسبت ناهنجاری، K، (نسبت ناهنجاری به میانگین مقدار زمینه: ساوکوف) در این مورد، ۳/۳ است. با بکار بردن اندیس‌های پرمایگی، نسبت ناهنجاری عبارت خواهد بود از:

$$K = \frac{Q_{an}}{Q_b}$$

$Q_{an}$  اندیس پرمایگی در نمونه‌های برداشته شده از داخل هاله‌هاست.

$Q_b$  اندیس پرمایگی در نمونه‌های برداشته شده از خارج هاله‌هاست.

نسبت‌های ناهنجاری در جدول شماره ۲۵ نشان داده شده است. (محاسبه بر مبنای داده‌های مندرج در جدول شماره ۲۴ است).

جدول ۲۵- ضرایب ناهنجاری

عناصر شاخص	نمونه کلی	گروه اندازه‌ای (جزء سنگین) میلی‌متر				
		مقایسه نسبت‌های ناهنجاری	-۰/۱	+۰/۱	-۰/۴	+۰/۴
سرب	۳/۳	۷۸	۱۸	۳۵	۲۱	۲۵
مولیبدن	۵/۰	۸۶۵	۴۷	۱۰	۲۱	۶
مس	۵/۰	۵۷	۱۸	۲۳۰	۷۰	۹
روی	۱/۴	۸۷	۱۸	۳۵	۲۳	۱۶

نسبت‌های ناهنجاری محاسبه شده بر مبنای شاخص پرمایگی، همیشه از نسبت ناهنجاری محاسبه شده بر اساس کل مقدار عناصر شاخص، بزرگتر است\*. این مطلب بوسیله مقادیر ستون آخر جدول شماره ۲۵ نشان داده شده است و نسبت‌های ناهنجاری (A) را که بر پایه فرمول زیر تعیین شده مقایسه می‌کند.

$$A = \frac{K_1}{K_2}$$

که  $K_1$  نسبت ناهنجاری بر مبنای اندیس پرمایگی است.

$K_2$  نسبت ناهنجاری بر اساس کل مقادیر عناصر شاخص است.

اجزایی که ذراتشان دارای کوچکترین اندازه است (۰/۱ mm) با بیشترین نسبت‌های ناهنجاری مشخص می‌شوند. مس تنها مورد استثنای است، بیشترین ناهنجاری آن در اجزایی است، که ذراتشان دارای اندازه

\* - نسبت ناهنجاری را به دو روش می‌توان تعیین و محاسبه نمود: ۱- با استفاده از کل مقدار عناصر شاخص (این متداولترین روش است)؛ ۲- با استفاده از اندیسه‌های پرمایگی (A). نسبت ناهنجاری محاسبه شده بر مبنای اندیسه‌های پرمایگی به دلیل تفاوت بیشتر میان پارامترهای نمونه‌های زمینه، همیشه بزرگتر است.

اندازه‌های هاله‌های ثبت شده بوسیله تجزیه اجزاء سنگین را در مقایسه با هاله‌های کشف شده از راه تجزیه کل نمونه، نشان می‌دهد. در این جدول طول واحد مورد مقایسه برابر با عرض هاله‌ای است که به روش دوم تعیین شده است.

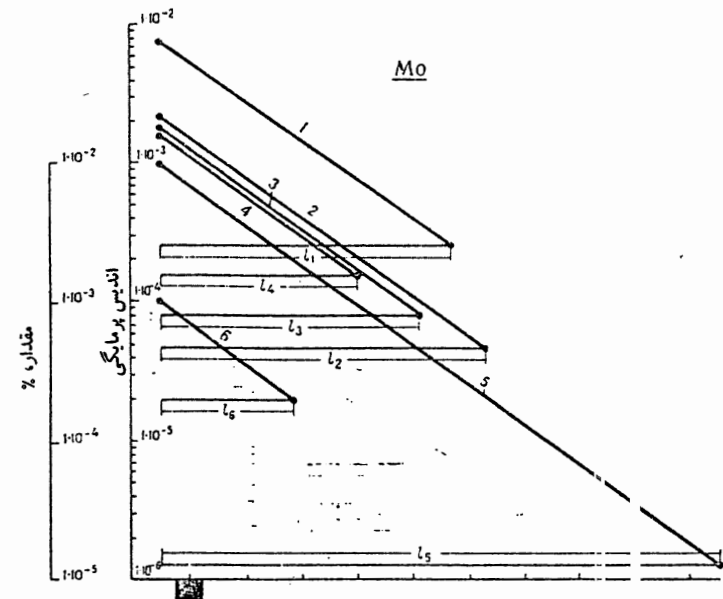
جدول ۲۶- مقایسه اندازه هاله‌ها

عناصر شاخص	اجزاء سنگین (میلی متر)					رده نماینده*
	-۰/۶	-۰/۴	-۰/۲۵	-۰/۱	+۰/۱	
سرب	۲/۵	۲/۴	۲/۶	۲/۲	۳/۸	-۰/۱
مولیبدن	۲/۱	۲/۳	۱/۸	۱/۵	۴/۱	-۰/۱
مس	۲/۷	۲/۹	۳/۸	۲/۰	۲/۸	-۰/۴ + ۰/۲۵
روی	۶/۶	۶/۶	۶/۸	۵/۶	۸/۶	-۰/۱

\* - رده‌ای که کمک به آشکار شدن بزرگترین هاله می‌کند رده نماینده (معرف) نامیده می‌شود.

نتیجه‌گیری مربوط به ابعاد بزرگتر هاله‌هایی که بر پایه دانسته‌های تجزیه‌ای از اجزاء سنگین تعیین حدود و ثبت شده‌اند، با نتایج بدست آمده از هاله‌های نخستین معینی تأیید شده است. شکل ۱۴ و ۱۵، هاله‌های عناصر معین پیرامون توده‌های معدنی مس- بیسموت را که در ژرفا، نازک و محو شده، نشان می‌دهد (در میدان کانساری کانی منصور<sup>۱</sup> در اوپریایوشچی<sup>۲</sup>) این هاله‌ها از دو راه مختلف مشخص شده‌اند. ۱- بر پایه دانسته‌های حاصل از تجزیه اسپکتروگرافی کل نمونه (شکل ۱۴)، و ۲- بر اساس تجزیه اجزاء سنگین (بر پایه اندیس پرمایگی، شکل ۱۵). مقادیر ناهنجار اندیس غنی‌شدگی (پرمایگی)، در همه نمونه‌ها دیده می‌شود و این امر مقایسه میان هاله‌ها را دشوار و پیچیده می‌سازد. با اینهمه روشن است، در صورت بکار بردن اجزاء سنگین، شدت بخشی درخور توجهی در هاله‌ها پدید می‌آید، اندیس پرمایگی امکان کشف ناهنجاریهای اضافی را که مقادیر آنها به بیش از ۱۰۰ برابر زمینه می‌رسد، فراهم می‌کند. در مقام مقایسه، در هاله‌های مبتنی بر کل مقادیر (که بوسیله مقدار ناهنجاری حداقلی برابر با ۳ واحد زمینه مشخص می‌گردد) آن گستره‌هایی که مقادیری بزرگتر از ۱۰۰ واحد زمینه دارند، هیچ الگوی روشنی تشکیل نمی‌دهند، زیرا توزیع به طور پراکنده انجام می‌شود.

روش استفاده از اجزاء سنگین، حاصل از نمونه‌های ژئوشیمیایی، در مقایسه با روش معمول (آنالیز کل نمونه)، امتیاز دیگری نیز دارد و آن اینست که حد اندازه‌گیری تجزیه برای عناصر شاخص به علت پرمایگی



شکل ۱۳- مقایسه ابعاد هاله‌های مولیبدن کشف شده بوسیله تجزیه اجزاء سنگین از گروه‌های با اندازه‌های (با قطر ذرات) مختلف.

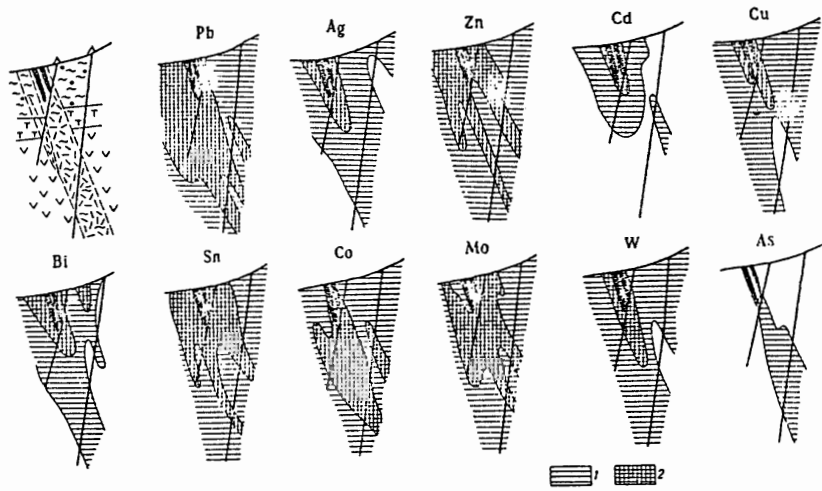
۱ تا ۵ عبارتست از: ۱- حدود رده‌های اجزاء سنگین بر حسب میلی‌متر. ۰.۱ تا ۱/۰.۶، ۰.۶ تا ۰/۶، ۰.۴ تا ۰/۴، ۰.۳ تا ۰/۲۵ تا ۰.۴ تا ۰/۲۵. ۲- کمتر از ۰/۱، ۳- نمودار مقادیر کل است. ۴- اندیس پرمایگی (Q) در این صورت  $Q = C \cdot b$  تعریف شده است که C مقدار عنصر جزئی معین و b مقدار این جزء در نمونه است. (هر دو بر حسب %) بنابراین، نمودار نشان می‌دهد بزرگترین هاله‌ها وقتی آشکار می‌شوند که هاله‌های اجزاء سنگین (خطوط مایل) با هاله‌هایی که می‌توانند بوسیله تجزیه کل نمونه تعیین گردند (خطوط افقی) مقایسه گردد.

برای هر عنصر شش نمودار رسم شده است، پنج نمودار برای اجزاء سنگین با اندازه‌های گوناگون ذرات (قطر ذرات مختلف است) و ششمی نمودار توزیع مقادیر کل عنصر است. نمودارها بر مبنای دو نقطه رسم می‌شوند، این نقاط منطبق است بر حداکثر (نمونه ناهنجار) و حداقل (نمونه زمینه) مقدار پارامترهای مورد بررسی. فاصله میان این دو نقطه در محور طول‌ها (در مقیاس مناسب) برای هر عنصر معین، نصف عرض هاله خواهد بود (مقطع)، با نمونه‌ای که منطبق بر زمینه و درست خارج از هاله است شروع شده و در امتداد عرض هاله پیش می‌رود. تا به یک نمونه ناهنجار حداکثر برسد، که بطور فرضی در مرکز هاله جای دارد. بنابراین اگر مقیاس مناسبی بکار برده شود، امکان نشان دادن نصف عرض هاله وجود دارد.

از شکل ۱۳. نین برمی‌آید، که هاله‌هایی که بوسیله تجزیه اجزاء سنگین (خطوط ۱ تا ۵) کشف شده، بسیار بزرگتر از هاله‌هایی است که به کمک تجزیه کل نمونه (خط ۶) بدست آمده است. جدول ۲۶



انتخابی این عناصر در اجزاء سنگین (ناهنجاری و زمینه هر دو)، بسیار آسانتر خواهد بود. برای مثال، در روشهای تجزیه، لازم است که مقادیر  $0.003$  و  $0.02\%$  را به ترتیب برای سرب، مس و روی در اجزاء سنگین اندازه گیری نمود (به جدول ۲۴ مراجعه شود)، و این امر به آسانی انجام پذیر است. در حالتی که کل نمونه مورد آنالیز قرار گیرد، روشهای تجزیه ای می بایستی قادر به اندازه گیری مقادیری در حد  $0.006\%$  سرب،  $0.006\%$  مس و  $0.005\%$  روی باشند. بنابراین، هنگامیکه اجزاء سنگین مورد تجزیه قرار می گیرند، روش تجزیه بکار رفته (اسپکتروگرافی نشری)، قادر به آشکارسازی هاله های (جانبی) اضافی عناصر خواهد بود. در حالیکه ثبت هاله های اضافی بر اساس تجزیه کل نمونه ها به علت نبود حساسیت در روش تجزیه و کم بودن فراوانی عناصر شاخص، مقدور نیست.



شکل ۱۵. هاله های نخستین، که بر مبنای اندیس پرمایگی مشخص شده اند.  
 ۱. هاله های نخستین، ۲. زونهای با مقادیر افزوده (بیش از ۱۰۰ واحد زمینه)، برای علائم دیگر به شکل ۱۴ مراجعه شود.

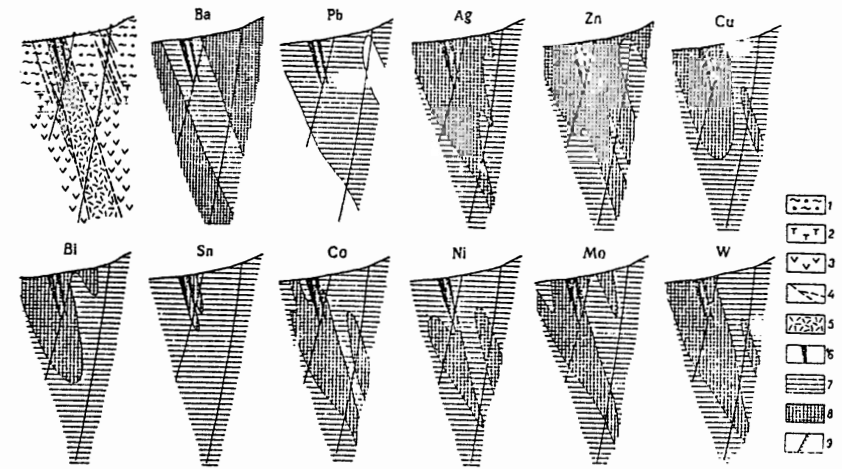
#### ۴. روش مبتنی بر هاله های مرکب

چنین استنتاج شده است که اگر مقادیر یک گروه از عناصر شاخص با هم ترکیب شوند، می توان هاله های ژئوشیمیایی مشخص تری را پیرامون توده های معدنی آشکار ساخت. دو نوع هاله مرکب وجود دارد: جمعی (افزایشی)، ۲. ضربی (چندبارگی).

هاله های جمعی یا افزایشی بوسیله جمع (افزایش) ساده مقادیر عناصر شیمیایی شاخص نرمالیز شده بر حسب مقدار میانگین زمینه خود، در سنگهای درونگیر پدید می آیند. در این مورد، هاله ها بوسیله کل مقدار ناهنجاری (آستانه) عناصر شاخصی مشخص می گردند که در مقایسه با نمونه های برداشته شده از نواحی زمینه ای اندازه گیری می شوند.

هاله های افزایشی (جمعی)، در مقایسه با هاله های تک عنصری، بزرگتر و متمایزترند. افزون بر این، اثرات خطاهای تصادفی به حداقل کاهش می یابد. به این سبب، هاله های افزایشی (جمعی) رابطه نزدیکتری را با نمودهای زمین شناسی - ساختاری مربوط به ذخایر کانسازی به نمایش می گذارند. این امر به نوبه خود در تفسیر دقیق هاله ها نقش مهمی را ایفا می کند.

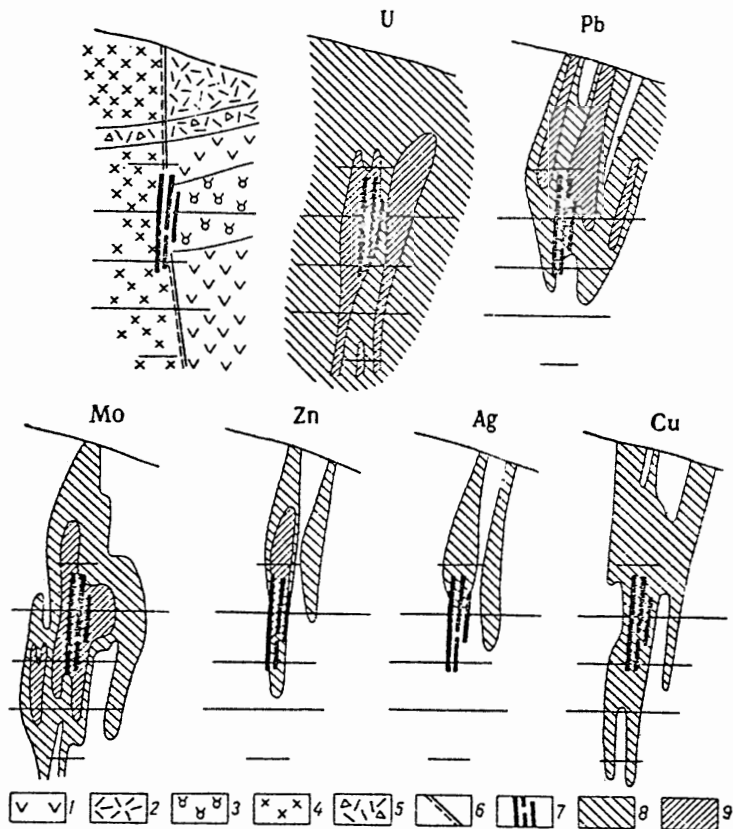
شکل ۱۶، هاله های نخستین شماری از عناصر شیمیایی را در مقطع عرضی یک کانسار طلا، نشان می دهد. به روشنی دیده می شود که هاله های افزایشی بزرگتر و بارزتر از هر یک از هاله های تک عنصری است.



شکل ۱۶. هاله های نخستین در مجاورت توده های معدنی در کانسار کانی منصور خاوری است.  
 ۱. پورفیرولیتیک و اسفروولیتیک؛ ۲. توف و گدازه توفی؛ ۳. آندزیت پرفیریت؛ ۴. جابجاییهای تکتونیکی (شکستگیها)؛ ۵. منطقه سنگهایی که بطور مکانیکی خرد شده، ۶. توده کانسازی؛ ۷ و ۸. مقادیر عنصر، بر حسب درصد؛ ۷. Ba،  $0.04$  تا  $0.02$ ؛ Pb،  $0.005$  تا  $0.01$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0005$ ؛ Eu،  $0.0045$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0043$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Cu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Zn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Eu،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Bi،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Sn،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Co،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ni،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Mo،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ W،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ba،  $0.0001$  تا  $0.0001$ ؛ Ag،  $0.0001$  تا  $0.0001$

### روش های بررسی زون (منطقه) بندی هاله های نخستین

زون بندی هاله های ژئوشیمیایی نخستین از اهمیت عملی زیادی برخوردار است. تأکید ویژه ای بر زون بندی قائم هاله های نخستین شده است، زیرا این زون بندی می تواند بعنوان معیاری در تعیین تراز فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیایی نمایان شده، بکار رود.



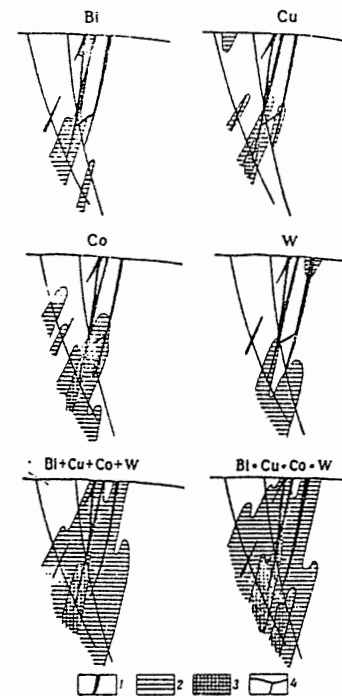
شکل ۱۷. هاله های نخستین پیرامون توده های معدنی اورانیم (از ورتیوف).

۱- کوارتز پرفیری، ۲- توفهایی با ترکیب کوارتز پرفیری، ۳- پرفیر اسفرولیتیک، ۴- فلسیت پرفیری، ۵- برش توفی با ترکیب کوارتز پرفیری، ۶- شکستگیها، ۷- توده های کانساری، ۸ و ۹- مقدار عناصر در هاله های نخستین (در مقایسه با زمینه ژئوشیمیایی)، ۱۰ تا ۱۲ واحد، ۹- بیش از ۱۰ واحد.

اگر مقادیر عنصر شاخص در هر نمونه در یکدیگر ضرب شود (بجای جمع شدن)، و هاله های چندبارگی (ضربی) ساخته شود (شکل ۱۶)، نتایج همانندی بدست می آید.

روش هاله های چند بارگی (ضربی) در مقایسه با روش جمعی (افزایشی) وقت کمتری می برد، زیرا لزوم تعیین مقادیر زمینه برای هر یک از عناصر معرف و نرمالیزه کردن مقادیر غلظت (تمرکز) در نمونه های انتخابی را از بین می برد.

در مواردیکه مادی برخی از عناصر به علت نبودن حساسیت روش تجزیه، اندازه گیری نمی شود، بدلتخواه می توان مقدار عنصری را که می تواند در ایجاد هاله های مرکب بکار رود، تعیین نمود. این مقدار برابر نصف حد اندازه گیری را نسبت به تجزیه مورد استفاده می باشد.



شکل ۱۶. هاله های تک، عنصری، جمعی و ضربی) نخستین پیرامون کانسارهای طلا.

۱- رگه های کوارتز. طلا، ۲ و ۳- مقادیر عناصر درون یک هاله، % (۲.۲-Bi: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱: Cu، ۰/۰۱ تا ۰/۱ تا ۰/۰۱: Co، ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۳: W، ۰/۰۰۱ تا ۱۰: Σ، ۱۰ تا ۱۰۰: Σ، ۱۰ تا ۱۱-۱۰ x ۱۰: Cu، ۰/۱ تا ۰/۵ تا ۰/۰۱: Co، ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۱: Co، ۱۰ تا ۱۰۰: Σ، ۱۰ تا ۱۱-۱۰ x ۱۰: Σ)، ۴- مقطع های نمونه گیری شده. [Σ مقدار کل عناصر در هاله جمعی بر حسب «واحد زمینه» است. Σ، ضرب مقادیر عنصر در هاله ضربی است].

زون بندی قائم در هاله های نخستینی که بوسیله کانی سازی گرمایی تشکیل شده، نخستین بار توسط کابلوکوف<sup>۱</sup> و ورتیوف<sup>۲</sup> در کانسارهای اورانیم، شناخته شد. (کابلوکوف و دیگران، ۱۹۶۴، ملاحظه شود). این پژوهشگران ملاحظه نمودند که در مقطع قائم، اختلاف بسیار مشخصی در هاله های که بوسیله عناصر همراه اورانیم تولید می شوند، نسبت به هاله ویژه اورانیم وجود دارد. این مطلب در شکل ۱۷ و در مقطعی قائم نشان داده شده است. این دانشمندان پیشنهاد کردند که زون بندی قائم با استفاده از نسبت میانگین سرب به اورانیم بطور کمی ارزیابی گردد. این نسبت بطور منظم با افزایش ژرفا کاهش می یابد، از اینرو زون بندی این عناصر در هاله ها را منعکس می نماید. شکل ۱۸، این مفهوم و نیز تغییر نسبت های مقادیر میانگین جفتهای عناصر شاخص در هاله های نخستینی که پیرامون توده معدنی اورانیم نهفته و در درون سنگهای فلسیتیک بوجود آمده است را با ژرفا نشان می دهد. نمودارها که زون بندی را با نسبت مقادیر میانگین جفتهای عناصر (سرب- اورانیم و مولیبدن- اورانیم)، منعکس می کنند، بطور یکنواخت با ژرفا کاهش می یابند. نمودارها همچنین تفاوت های متمایزی را در هاله های بالایی و پائینی توده کانساری، نشان می دهند. بعدها، سوچیونوف<sup>۳</sup>، (کابلوکوف و دیگران، ۱۹۶۴ دیده شود) پیشنهاد کرد، که برای بررسی زون بندی هاله ها در مقاطع عرضی بایستی بارآوری خطی هاله (بجای نسبت های مقادیر میانگین عناصر) بکار برده شود. بارآوری خطی برابر است با حاصل ضرب مقدار میانگین عنصر موجود در هاله (بر حسب درصد)، در عرض هاله (بر حسب متر) و نتیجه آنکه زون بندی هاله روشنتر و مشخص تر و از اینرو قابل قبولتر خواهد بود.

هاله های نخستین، چند جزئی هستند، از اینرو همیشه لازم است که زون بندی هاله های را که بوسیله عناصر مختلف تشکیل شده اند، با هم مقایسه نمود، بطوریکه بتوان بهترین عناصر شاخص را انتخاب کرد. این امر به کمک «ردیفهای» امکان پذیر است که مشخص کننده زون بندی یک عنصر است و با ضرب تباین (ضریب ناچوری) بیان می گردد. ضریب تباین، نسبت برخی از پارامترهای هاله یک عنصر معین است و در بخشهای بالایی (صورت کسر) و پائینی (مخرج کسر)، مقطع عرضی مورد بررسی، تعیین می گردد. جدول ۲۷. مقادیر بارآوری خطی هاله ها و زون بندی و ضرایب تباین را نشان می دهد، که برای یک مقطع عرضی کانسار اورانیم در گرانتیها محاسبه شده اند.

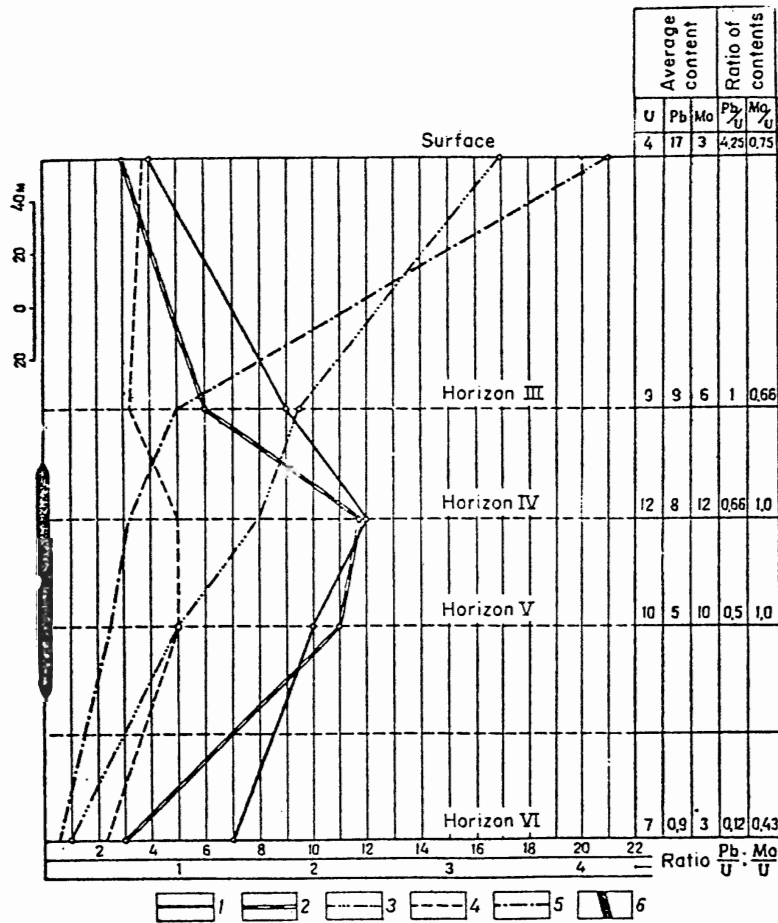
اگر عناصر به ترتیب کاهش ضریب تباین خود مرتب شوند، ردیف حاصل (از چپ به راست)، عناصر را بر طبق زون بندی هاله های آنها نمایش می دهد. در این مورد مقادیر به شرح زیر است (از جدول ۲۷):  
سرب (۴/۰)، روی (۱۵/۰)، مس (۱/۷)، اورانیم (۰/۶). اهمیت عملی این ردیفها در آنست، که به کمک آنها امکان تعیین بیشترین تباین و از اینرو معتبرترین نسبت های شاخص برای تشخیص تراز فرسایش نمایان شده، وجود دارد. این نسبتها بر پایه جفت عناصر واقع در دو قطب این ردیف قرار دارد. در مثال فوق سرب و اورانیم چنین جفتی را تشکیل می دهند.

در صورتیکه بارآوری خطی یک هاله در جهت قائم، تغییرات یکنواختی را نشان دهد، ضریب تباین کمک موثری در بدست آوردن نتایج روشن و مشخص است. با این همه، این شرایط غالباً برقرار نیست.

1- Kablukov

2- Vertepov

3- Sochevānov



شکل ۱۸. نمودارهای نشان دهنده تغییر مقادیر میانگین عناصر شاخص و نسبت های عناصر شاخص، با ژرفا در هاله ها. ۱- اورانیم، ۲- مولیبدن، ۳- سرب، ۴- Mo/U، ۵- Pb/U، ۶- توده معدنی.

بنابراین، بکار بردن اندیس زون بندی یک عنصر شاخص که عبارتست از نسبت بارآوری هاله تشکیل شده بوسیله عنصر معین، به حاصل جمع مقدار بارآوری (قدرت تولید) خطی هاله های همه عناصر شاخص در آن نوع کانی سازی، عاقلانه تر است. بارآوری خطی هاله ها در این محاسبات به شکل زیر نرمالیزه می شود. حداکثر مقدار بارآوری خطی هاله ها در مقطع عرضی، به همان مرتبه بزرگی بیان شده، و سپس بقیه مقادیر با دقت بیشتری تعیین می گردد.

دو. ۲۷- بارآوری خطی بر حسب متر درصد (m%) و زون بندی بر مبنای ضریب تباین هاله‌ها.

بار آوری	عنصر شاخص			
	Pb	Zn	Cu	U
بار آوری خطی:				
سطح	۱۲/۰	۳/۰	۱/۲	۰/۳
فق ۷	۵/۰	۱/۶	۱/۳	۰/۴۵
فق VII	۰/۲۶	۰/۲	۰/۷	۰/۵
ضریب تباین	۴۶/۰	۱۵/۰	۱/۷	۰/۶

یادداشت: ضریب تباین (تعریف شده در متن) با تقسیم مقدار عنصر در سطح، بر مقدار آن در افق VII، بدست می‌آید.

این مطلب یوه یله نتایج حاصل از محاسبه اندیسه‌های زون بندی برای یک مقطع عرضی از ذخیره فلزی اسکارن مرگب اکش<sup>۱</sup> (تاجیکستان شوروی) (جدول ۲۸) نشان داده می‌شود.

جدول ۲۸- بارآوری خطی هاله‌ها (m %)

تراز هاله	عناصر شاخص					
	Mo	Bi	cu	sb	As	pl
سطح	۰/۰۰۷۷	۰/۰۷	۰/۹۶	۰/۰۶۶*	۰/۱۷*	۱/۵
افق I	۰/۰۰۷۴	۰/۰۳	۰/۷۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۸/۱*
افق II	۰/۰۱۸	۰/۱۶*	۱/۲*	۰/۰۱۴	۰/۰۷۷	۱/۲
افق III	۰/۰۲*	۰/۰۷۶	۰/۶۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۱۳

\* مقادیر - اکتز بوسیله ستاره مشخص شده است.

سرب بیشترین مقدار را در جدول ۲۸ دارد. هاله مس نیز مقدار بارآوری خطی حداکثر را نشان می‌دهد (بر پایه مرتبه بزرگی). در نتیجه ضریب نرمالیزه (C<sub>m</sub>) برای مس (همچنین برای سرب) واحد تلقی می‌گردد.

برای عناصر دیگر، ضرایب نرمالیزه زیر، که برابر با تفاوت میان مقادیر حداکثر سرب و عنصر مورد سوال است، استخراج شده است: آرسنیک (۱/۷ - ۰/۱۷) -۱۰، آنتیموان (۶/۶ - ۰/۰۶۶) -۱۰۰، بیسموت (۱/۶ - ۰/۱۶) -۱۰، مولیبدان (۲/۰ - ۰/۰۲) -۱۰۰.

مقادیر اندیسه‌های زون بندی محاسبه شده با استفاده از مقادیر نرمالیزه بارآوری خطی هاله‌ها، در جدول ۲۹ آمده است.

جدول ۲۹- اندیسه‌های زون بندی عناصر

عنصر	مقدار نرمالیزه بارآوری خطی				اندیس زون بندی			
	سطح	گمانه ۴۰۷	گمانه ۴۱۰	گمانه ۴۱۱	سطح	گمانه ۴۰۷	گمانه ۴۱۰	گمانه ۴۱۱
سرب	۱/۵	۸/۱	۱/۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۷۶۴*	۰/۱۷۱	۰/۰۳
آرسنیک	۱/۷	۰/۰۶	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۴۸*	۰/۰۰۵۶	۰/۰۳۶	۰/۰۴
آنتیموان	۱۰۰	۶/۶	۰/۶	۱/۴	۰/۵۷۴*	۰/۰۰۵۶	۰/۱۸۴	۰/۱۳۹
مس	۱	۰/۹۶	۰/۷۵	۱/۲	۰/۰۸۴	۰/۰۷۱	۰/۱۵۸*	۰/۱۵۶
بیسموت	۱۰	۰/۷	۰/۳	۱/۶	۰/۰۶۱	۰/۰۲۸	۰/۲۱۱*	۰/۱۷۷
مولیبدن	۱۰۰	۰/۰۷	۰/۷۴	۱/۸	۰/۰۰۶۱	۰/۰۷	۰/۲۳۷	۰/۴۶۵*
مجموع بارآوری خطی	۱۱/۵	۱۰/۶	۷/۶	۴/۳	-	-	-	-

\* مقادیر حداکثر برای هر عنصر با ستاره مشخص شده است.

به سادگی دیده می‌شود که اندیس زون بندی، انباشتگی (انباشت) نسبی عنصر در هر افقی را به طور کمی بیان می‌کند. از جدول ۲۹ چنین استنباط می‌شود که حداکثر انباشت نسبی آرسنیک و آنتیموان در افق بالایی هاله‌ها رخ می‌دهد، سرب در افق دوم، مس و بیسموت در افق سوم، در حالیکه حداکثر انباشت مولیبدن در پائین‌ترین افق است. ردیف زیر، بر پایه نتایج حاصل از محاسبات اندیس زون بندی است، (آرسنیک، آنتیموان، سرب، مس، بیسموت) - مولیبدن. عناصری که به سبب آنکه مقادیر اندیسه‌های زون بندی آنها در افق‌های یکسانی از هاله‌ها قرار می‌گیرد، وابستگی شان بروشنی بیان نشده، داخل پرانتز آمده است. برای مشخص تر نمودن جایگاه این عناصر ویژه در ردیف زون بندی، می‌توان تغییر پذیری قائم اندیس زون بندی را بکار برد. در مواردی که مقایسه میان عناصری است که حداکثر انباشت آنها در انتهای دو قطب هاله‌ها قرار دارد، می‌توان تغییر پذیری را به کمک فرمول زیر تعیین نمود.

$$G = \sum_{i=1}^n \frac{D_{max}}{D_i}$$

که G اندیس تغییر پذیری (یا شیب تغییر پذیری) است،

$D_{max}$  حداکثر مقدار اندیس زون بندی یک عنصر معین است.

$D_i^*$  مقدار اندیس طبقه بندی در افق  $i$  ام است.

$n$  شمار افقها (بجز افقهای دارای حداکثر انباشت) است.

برای آرسنیک و آنتیموان (به جدول ۲۹ رجوع شود):

$$G_{As} = \frac{0.148}{0.056} + \frac{0.148}{0.36} + \frac{0.148}{0.4} = 26/4 + 4/14 + 3/7 = 34/22$$

$$G_{Sb} = \frac{0.054}{0.056} + \frac{0.054}{0.184} + \frac{0.054}{0.139} = 10/2 + 3/1 + 4/1 = 17/4$$

اگر  $G_{As} > G_{Sb}$ ، پیشنهاد می کند که در ردیف زون بندی، آنتیموان بایستی پس از آرسنیک باشد. اگر حداکثر اندیس زون بندی، تیبیک پایتترین افق باشد، در آن صورت عناصر موجود در ردیف، به ترتیب افزایش شیب، مرتب خواهند شد.

اگر حداکثر انباشت نسبی شماری از عناصر در افقهای میانی باشد، در این صورت از تفاوت میان شیبهای  $G_1 - G_2$  می توان استفاده نمود. که  $G_1$  شیب سمت فراز و  $G_2$  شیب سمت فرود از افق دارای حداکثر انباشت عنصری می باشد. ترتیب عناصر ردیف زون بندی، بستگی به تفاوت میان شیبها دارد: هر چه تفاوت بیشتر باشد، عنصر در بخش پایتتری (به سمت راست) در ردیف زون بندی قرار می گیرد و بالعکس.

برای روشن شدن این نکته، وابستگی میان مس و بیسموت که حداکثر انباشت آنها در افق دوم می باشد، نشان داده می شود (به جدول ۲۹ مراجعه شود).

برای مس:

$$G_1 = \frac{0.158}{0.71} + \frac{0.158}{0.84} = 2/23 + 1/88 = 4/11$$

$$G_2 = \frac{0.158}{0.156} = 1/0.1 \quad G_1 - G_2 = 4/11 - 1/0.1 = 3/1$$

برای بیسموت:

$$G_1 = \frac{0.211}{0.28} + \frac{0.211}{0.61} = 7/54 + 3/46 = 10/0$$

$$G_2 = \frac{0.211}{0.177} = 1/19 \quad G_1 - G_2 = 10 - 1/19 = 8/1$$

تفاوت شیبهای اندیس زون بندی برای بیسموت بیشتر است، از این رو در ردیف زون بندی سمت راست مس قرار می گیرد.

بنابراین برای مشخص کردن زون بندی هاله ها، ردیف عناصر شاخص بشرح زیر می باشد:

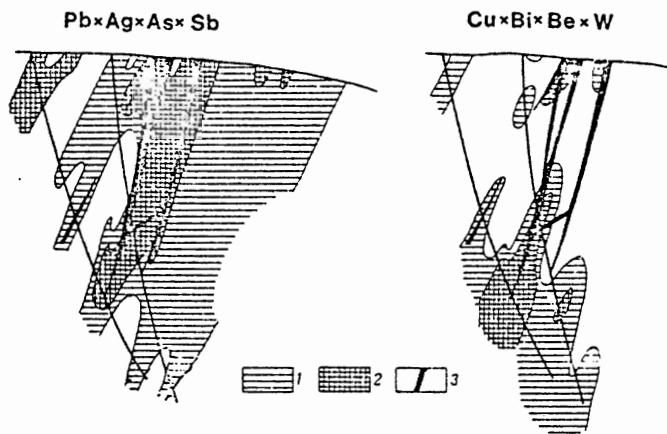
آرسنیک- آنتیموان- سرب- مس- بیسموت- مولیبدن.

روش اندیس زون بندی دقیقتر از روش ردیف زون بندی بر پایه ضریب تباین نسبتهای بارآوری برای جفتهای عنصری است. زیرا جمع نمودن مقادیر بارآوری خطی هاله ها، که طیف گسترده ای از عناصر را دربر

می گیرد، اثر خطاهای تصادفی در تعیین داده های نخستین را کاهش می دهد.

چنانکه پیش از این یاد شد، ردیف های عناصر شاخص که مشخص کننده زون بندی قائم هاله های نخستین می باشد، از اهمیت عملی زیادی برخوردار است. این ردیف ها در تعیین مهمترین عناصر شاخصی که در ارزیابی تراز فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بکار می رود، کمک موثری است. در موارد کلی، این عناصر در ردیف زون بندی، در دورترین فاصله از یکدیگر قرار دارند، زیرا تغییر نسبت پارامترهای هاله های تشکیل شده بوسیله چنین جفت عنصری، با تغییر فاصله، به روشنی تغییر می یابد، از این رو در عمل معتبرتر است.

زون بندی در ساختمان هاله های مرکب کلی یاد شده، ممکن است بوسیله ترسیم هاله های مرکب جزئی پدیدار گردند، که بر خلاف هاله های مرکب کلی برای گروههایی از عناصر تهیه می شوند، که دارای توزیع قائم همانندند. انتخاب این گروهها بر مبنای ردیف عناصر شاخص قرار دارد. شکل ۱۹، هاله های جزئی ضریبی (چندبارگی) را برای مقطع عرضی یک کانسار طلا، نشان می دهد. این هاله با زون بندی قائم روشن و بارزی که به علت رفتار متضاد هاله های تشکیل شده بوسیله عناصر موجود در بالا (که با ژرفا نازک می شوند) و پائین (گسترش سریع با ژرفا) توده کانساری، بوجود می آیند مشخص می شوند. نسبت بارآوری خطی این هاله ها در ژرفای ۱۳۰ متری با فاکتور ۱۵۰۰ کاهش پیدا می کند.



شکل ۱۹. هاله های ضریبی عناصر شاخص در مقطع عرضی (کانسار طلا).

۱. هاله های ضریبی (چندبارگی)، ۲. گستره های با حداکثر مقدار غلظت عنصر، ۳. توده های معدنی (کانساری)

هاله های مرکب جزئی (ضریبی) گروههای عناصر مستقر در بالا و پائین توده های کانساری، که بر پایه زون بندی انتخاب شده است. تباین زون بندی هاله را افزایش می دهد. افزون بر این، هاله های مرکب به دلیل داشتن اندازه بزرگتر، نتایج معتبرتری را در برآورد تراز فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیایی فراهم می کند. همچنین با محاسبه نسبتهای حاصل ضرب مقادیر میانگین برای دو گروه از عناصر شاخص فوق، می توان

افزایش درخور لایه‌های در تباین زون‌بندی بدست آورد. این روش اولین بار توسط سولووف (۱۹۷۱) پیشنهاد گردید. هر تندیر، روش هاله‌های مرکب ترجیح داده می‌شود، زیرا هاله‌های مرکب نسبت به اثر نمونه‌برداری یا مظاهر تجزیه‌ای، کمتر از هاله‌های تک‌عنصری حساس است.

### هاله‌های نخستین مربوط به توده‌های معدنی با شیب تند

با مثالهایی از چندین کانسار، در زیر به اختصار در باره مشخصات ترکیب و ساختار هاله‌های ژئوشیمیایی نخستینی بحث می‌شود که پیرامون زونهای فلزدار با شیب تند تشکیل شده‌اند.

**کانسار بیس سون در اسکارنها-چوک علم بولاغ مرکزی-کانسار چوک علم بولاغ در کارامازار باختری (تاجیکستان)** واقع شده است، ناحیه از سنگ آهک‌های مرمری شده (C<sub>1</sub> - D<sub>3</sub>)، مواد توفی خروجی (P<sub>1</sub>)، سنگهای متاسوه تیک، نفوذی و همبری، تشکیل شده است. سنگهای آهکی به شکل پروتوده‌های مجزا که در جهت خاوری-خبری امتداد دارند، بخش مرکزی ناحیه را اشغال نموده و دامنه جنوبی یک تاق‌دیس را می‌سازند. ضخامت این سنگها از ۵ تا ۲۰۰ متر می‌باشد. سنگهای آهکی بوسیله سنگهای توفی خروجی، با یک ناپوستگی گریب تند زاویه، پوشیده می‌شود.

سنگهای نفوذی در ناحیه عمدتاً اسیدی و به‌ندرت قلیایی است. گرانودیوریت‌های سازند نفوذی چوک آدم بولاغ، که نیمه از گستره کانساری را تشکیل می‌دهد، بطور ویژه‌ای گسترده است. پرفیری‌های گرانیت‌دار که بصورت شبه ستون‌های گرانودیوریتی ظاهر دارند، کمتر دیده می‌شود.

زون فلزدار، همبری سنگ آهک-گرانودیوریت محدود می‌شود و بوسیله گارنت و اسکارن‌های پیروکسینی هم منبیت مشخص می‌شود. منبیت معمولاً به شکلهای توده‌ای یا افشان رخ می‌دهد. کمتر به شکل نواری دیده می‌شود. و کانسنگ منبیت حاصل می‌گردد (شکل ۲۰). کانی‌سازی بیسموت در اسکارن‌های منبیت‌دار رخ می‌دهد. ترکیب کانسنگ (کانه) کاملاً متنوع است. کانیهای اصلی فلزی عبارتند از: منبیت، مسکوویت (منبیت دروغین حاصل از هماتیت)، پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، کبالتیت، سولفوبیسموتیت‌های سرب و مس، بیسموتین، مارکالیت، طلائی فلزی و شیلیت.

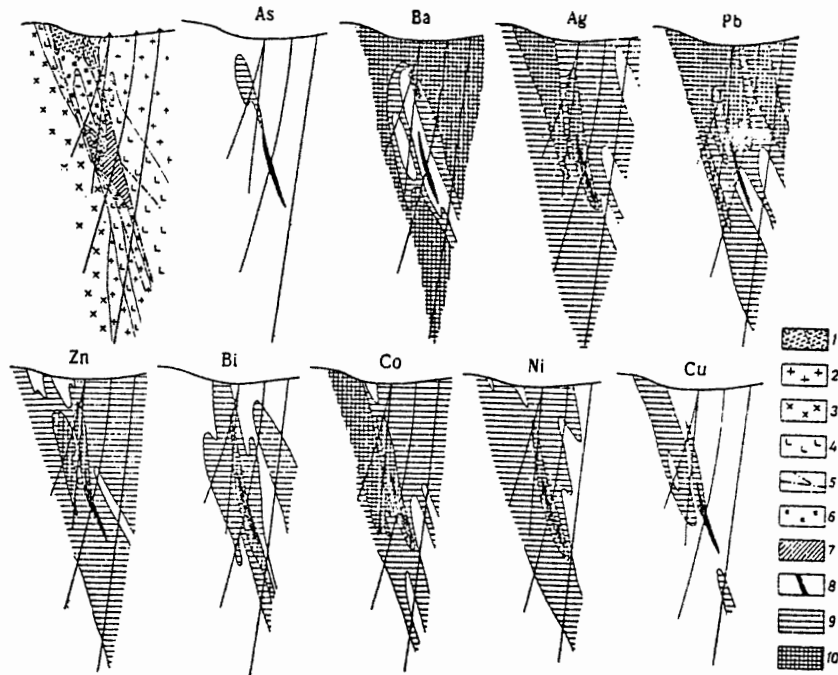
در این کانسار، مراحل کانی‌سازی به ترتیب زیر تشخیص داده شده است:

۱- متاسوماتیسم منبیتی، ۲- اسکارن‌های آهکی مقدماتی، ۳- اسکارن-منبیت، ۴- اکتینولیت-منبیت، ۵- سولفید، ۶- سربانتین-کلریت-سولفید، ۷- کربنات-سولفید، ۸- کوارتز-کربنات. کانی‌سازی بیسموت با مرحله سربانتین-کلریت-سولفید همراه است.

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی بدست آمده از نمونه‌های پیرامون توده‌های معدنی در کانسار، هاله‌های شدید و وسیعی از عناصر را آشکار ساخته است (شکل ۲۰). با وجود ژرفای درخور توجه محل استقرار توده کانساری ناپیدا (کورا) تقریباً ۲۰۰ متر، هاله‌های شایان توجهی از شماری از عناصر در سطح پدیدار

می‌شود، که نشانه آنست که هاله‌ها، گستردگی قائم درخور ملاحظه‌ای در بالای توده‌های کانساری دارند. به نظر می‌رسد آرسنیک دارای کوچکترین هاله است ولی به احتمال، این امر به دلیل کمی حساسیت تجزیه‌ای این عنصر است.

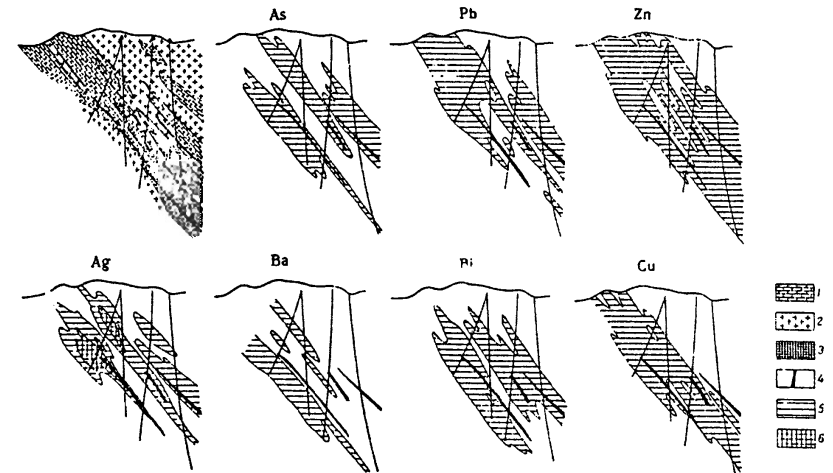
توزیع باریم کاملاً غیرمعمول است. این عنصر از توده معدنی نواحی مجاور آن خارج شده است (شکل ۲۰).



شکل ۲۰. هاله‌های نخستین پیرامون توده‌های معدنی کانسار چوک آدم بولاغ.

۱- سنگ آهک، ۲- گرانودیوریت، ۳- گرانودیوریت اسکارنی شده، ۴- فسفیت پرفیری، ۵- شکستگی، ۶- اسکارنی شدن، ۷- اسکارن‌های منبیتی، ۸- توده‌های معدنی بیسموت، ۹ و ۱۰- مقدار عنصر بر حسب درصد. (۹) ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۵ درصد روی، ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۵ درصد بیسموت، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ درصد کبالت، ۰/۰۰۰۴ تا ۰/۰۰۰۵ درصد نیکل، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۲ درصد مس، ۰/۰۰۲۵ تا ۰/۰۰۸ درصد آرسنیک، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱ درصد باریم، ۰/۰۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۰۵ درصد تفره، ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱ درصد سرب، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۷ درصد باریم، ۰/۰۰۰۴ تا ۰/۰۰۱ درصد تفره، ۰/۰۱ تا ۰/۵ درصد سرب، ۰/۱ تا ۰/۳ درصد روی، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۷ درصد بیسموت، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸ درصد کبالت و ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ درصد نیکل.

**کانسارهای پلی متالیک در اسکارن‌های - اکتاش - کانسار اکتاش در بخش خاوری گستره فلزدار کان‌سای<sup>۱</sup> در ضلع جنوبی رشته کورامینسکی<sup>۲</sup> (تاجیکستان) قرار گرفته است. ناحیه‌ای که کانسار در آن پیدا شده، بوسیله فراوانی اسکارن‌های بوجود آمده در همبری سنگهای آهکی و گرانودیوریت‌های پروفیری مشخص می‌شود. گاهی اوقات، سنگهای آهکی، سرپانتینی، و سنگهای آذرین سیلیسی و کلریتی گردیده است. در شکل ۲۱ اسکارن‌ها بوسیله رگه‌ها و توده‌های عدسی و لوله‌ای شکل نشان داده شده است. ترکیب اسکارن‌ها شامل گراوسولریت - اندرادیت<sup>۳</sup>، دیوپسیت - سهلیت<sup>۴</sup> و وزوویانیت می‌باشد.**



شکل ۲۱- هاله‌های نخستین پیرامون توده‌های معدنی کانسار اکتاش.

۱- سنگ آهک، ۲- گرانودیوریت، ۳- گرانودیوریت‌های اسکارنی شده، ۴- فلیسیت پرفیری، ۵- مقادیر عناصر بر حسب درصد (۰/۰۰۳۰ تا ۰/۲۵ مس، ۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۴ بیسموت، ۰/۰۱ تا ۱/۵ روی، ۰/۰۰۵ تا ۱/۵ سرب، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱۱ نقره، ۰/۰۲۵ تا ۰/۰۱ آرسنیک، ۰/۰۱ تا ۰/۱۵ باریم، ۰/۰۱۶ تا ۰/۰۱۵ تهره)

محل استقرار کانی‌سازی بوسیله جابجایی‌هایی (شکستگی‌ها) که در جهت تقریباً خاوری- باختری و شمال خاوری، امتداد یافته، کنترل می‌گردد. کانسنگهای ذخیره، بوسیله بافتهای افشان (پراکنده)، افشان لیفه‌ای<sup>۵</sup> و افشان نقطه‌ای<sup>۶</sup>، مشخص می‌شود.

کانسار دارای مقادیر زیادی کانه‌های منیتیت، منیتیت- سولفید در اسکارن‌های همبری، کانه‌های

اسفالریت- گالن افشان به شکل توده‌های نامنظم، و کانه‌های سفالریت- گالن، در توده‌های لوله‌ای شکل پرعیار می‌باشد. همچنین همراه با کانیهای اسکارنی، آمفیبول‌ها، کربنات‌ها و کلریت‌ها، فراوان است. منیتیت و اسفالریت، کانیهای اصلی تشکیل دهنده کانسارها هستند. گالن، کالکوپریت و کانیهای بیسموت به مقدار کم موجود است.

شکل ۲۱ هاله‌های نخستین عناصر مشخص شده پیرامون توده‌های معدنی گالن، اسفالریت در کانسار اکتاش را نشان می‌دهد. افزون بر عناصر داده شده، هاله‌های قلع، کبالت و مولیبدن با اندازه و شدت متفاوت، نیز در مقطع عرضی آشکار شده است. نمونه‌های برداشته شده از سطح بالای این مقطع عرضی برای باریم تجزیه نشده، بنابراین توزیع این عنصر تنها بر پایه نتایج نمونه‌های مغزه‌هایی است که از کندن گمانه‌ها بدست آمده است.

چنانکه در شکل ۲۱ می‌توان ملاحظه نمود، توده‌های معدنی نهفته که در ژرفایی بیش از ۲۰۰ متر قرار دارند، بوسیله هاله‌های نخستین چند عنصر، به روشنی در سطح، مشخص شده‌اند. توده‌های کانه‌ای بوسیله مقادیر حداقل باریم مشخص می‌شوند. در مورد ذخیره چوک آدم بولاغ نیز چنین است (شکل ۲۰). کوروسای - ذخیره کوروسای در ضلع شمال باختری رشته کوروسای تاجیکستان واقع است. سنگهای درونگیر، بوسیله مرمرهای تورناسین<sup>۱</sup> که توسط دایک‌ها و توده‌های استوکی شکل کوارتز پرفیری، سینیت پرفیری، اوژیت پرفیری و سنگهای آذرین دیگر، اشغال شده معرفی می‌شوند.

کانسار (ذخیره) به ناحیه‌ای محدود می‌شود که شکافهای کوچک با شیب تند و گسل اصلی حاوی کانسنگ (کانه)، بهم می‌پیوندند. ذخیره (کانسار) از توده‌های اسکارنی لوله‌ای شکل، و توده‌های کانی‌سازی شده اسکارنی مرکب، تشکیل یافته است. دو نوع اسکارن شناسایی شده است: ۱- اسکارن‌های تشکیل شده در همبری سنگهای مرمر و سنگهای آذرین، ۲- اسکارن نوع تراوشی در سنگ مرمر. اسکارن‌های نوع دوم بوسیله آندرادیت و گارنت‌های آندرادیت- گرسولر، و نیز بوسیله پیروکسن (هدنبرژیت منگنزدار) مشخص می‌شود.

شکل ۲۲، هاله‌های نخستین گسترش یافته، پیرامون توده معدنی ناپیدا (نهفته) شماره ۷ را نشان می‌دهد. هاله‌های نخستینی که بوسیله طیف گسترده‌ای از عناصر تشکیل شده‌اند، در این مقطع عرضی، و نیز در بسیاری از دیگر مقاطع عرضی، بررسی شده در بخشهای مختلفی از این کانسار دیده شده است. در شکل ۲۲، تنها هاله‌های باریم، سرب، مس و بیسموت نشان داده شده، که تا ژرفای درخور ملاحظه‌ای (بیش از ۶۰۰ متر) ردیابی شده است. زون بندی در ساختار هاله‌ها از راه انباشت انحصاری باریم در بخش بالایی سنگهای درونگیر، و بیسموت در بخش پایینی، در ترازوی که توده معدنی نازک می‌شود، توجیه می‌گردد. هاله مس تشدید و گسترش بارزی را با ژرفا به نمایش می‌گذارد.

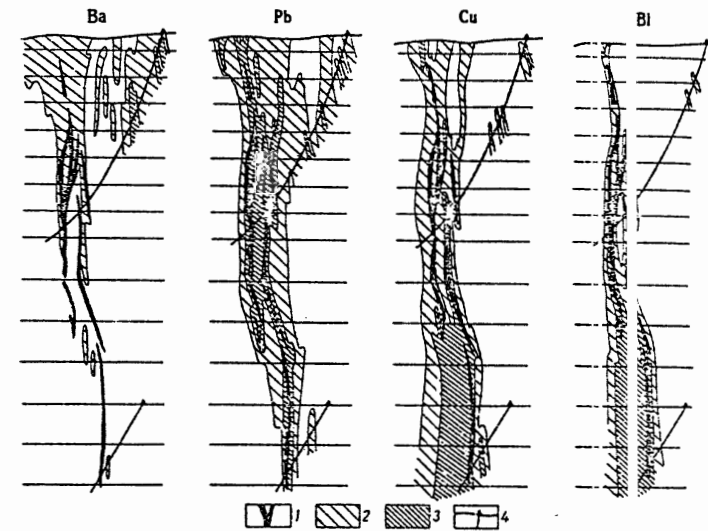
زون دیگری با مقادیر ناهنجار عنصری (در شکل نشان داده نشده است) در شمال خاوری هاله‌های پیرامونی توده معدنی شناخته شده، کشف گردید. در میان این نوار، ناهنجاری شدید و گسترده باریم (و بمیزان

1- Kansai	2- Kuraminsky	3- Grossularite- andradite
4- Diopside- sahlite	5- Fibrous- disseminated	6- Mottled- disseminated

کمتری ناهنجاری «ر.ب»، ایجاد شده است، ولی اساساً نبودن کامل مس و بویژه بیسموت مشاهده می‌شود. هاله‌های اخیر شاخسارهای بخش زیرین توده‌های کانساری هستند، به شکل ۲۲ مراجعه شود). این امر اشاره بر آن دارد که این ناهنجاریها، هاله‌های فوق کانساری می‌باشند، که احتمالاً از کانی‌سازی ناپیدایی (یا نهفته) حاصل گردیده، که در شمال خاوری توده معدنی شناخته شده، قرار گرفته است.

هارپنبرگ<sup>۱</sup> (م. رتد) - نتایج نمونه برداری ژئوشیمیایی از این کانسار در سوئد، بمنظور مقایسه هاله‌های نخستین از ذخیره‌ها: پلر متالیک، در محیطهای مختلف زمین‌شناسی، ارائه شده است. کانسار هارپنبرگ که در سوئد مرکزی واقع شده، از نوع اسکارن است. اسکارن‌ها، منیزیم‌دار و از نوع تراوشی است، و در اینجا، نفوذگرانیته‌های کامبرین به درون یک سری لپیتیت که دارای شکافهای پیچیده‌ای است، تشکیل گردیده است.

توده‌های معدنی در زون‌های اسکارن- دولومیت یا در کوارتزیت‌ها، رخ می‌دهند. مولیت و تالک کانیهای معمول اسکارنی است. آلن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، پیروتریت، مولیدنیت، تراهیدریت- تنانتیت، همچنین استینیت، آیمونیت و نقره فلزی در این کانسار دیده می‌شود. کانیهای باطله شامل کوارتز، کلسیت و فلوریت می‌باشد.



شکل ۲۲. هاله‌های نخستین پیرامون یک توده معدنی در کانسار کوروسای<sup>۲</sup>  
 ۱- توده معدنی، ۲- مقدار عناصر بر حسب درصد (۰.۱-۰.۲ تا ۰.۱ تا ۰.۱ باریم، ۰.۱ تا ۰.۱ سرب، ۰.۰۳ تا ۰.۰۲ مس، ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۱ بیسموت، ۰.۳ تا ۰.۱ سرب، ۰.۲ تا ۰.۳ مس، ۰.۰۱ تا ۰.۰۳ بیسموت)، ۳- مقطع‌های عرضی نمونه برداری شده.

شکل ۲۳ هاله‌های نخستینی را نشان می‌دهد که در مقطع عرضی بوسیله نمونه برداری مغزه‌های بدست آمده از گمانه‌های افقی زیرزمینی در امتداد نه (۹) افق و از دو گمانه ژرف شیب‌دار، حاصل شده است. در نتیجه پردازش داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از مغزه‌ها، هاله‌های نخستین بسیار بارزی از شماری از عناصر، مشخص و ترسیم شده است. این هاله‌ها در طول شیب توده‌های معدنی گسترش می‌یابند. هاله‌های تولید شده بوسیله نقره، سرب، روی، مس و کادمیم (در سطح) پهن‌ترین هاله‌ها هستند.

زون‌بندی قائم بارزی در توزیع عناصر دیده می‌شود، که در نتیجه گسترش هاله‌های آنتیموان تنها در افقهای بالایی، و هاله‌های تنگستن، کبالت نیکل و مولیدن در تراز ریشه‌ای توده‌های معدنی پدیدار گشته است (به شکل ۲۳ مراجعه شود).

با وجود تفاوت‌های مشخصی که در محیطهای کانی‌سازی وجود دارد، کانسار هارپنبرگ، عملاً با کانسارهای فلزی چند عنصری اسکارنی که قبلاً بررسی شده، همانندی بسیار نزدیکی از نظر ویژگیهای هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین دارد.

نمود بسیار آشکاری در توزیع عناصر شیمیایی در مقطع عرضی فوق (شکل ۲۳)، تشدید هاله‌های نقره، سرب و روی در ژرفا (بدنبال باریک شدن به مقداری معین)، علی‌رغم نازک شدن کامل توده‌های معدنی، می‌باشد (به گمانه‌های شیب‌دار ژرف توجه شود). دو زون ناهنجار موازی را می‌توان شناسایی نمود: زون شمالی (در جهت توده‌های معدنی) و زون جنوبی (در همبری سنگ آهک- کوارتزیت). بر اساس این دانسته‌ها می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که توده‌های معدنی ناپیدا (کور)، احتمالاً، در ژرفا و در زون‌های ناهنجار، وجود دارند. اکتشافات بعدی که توسط شرکت معدنکاری بولیدن اعمال شده، توده معدنی وسیعی را در ناهنجاری زون شمالی آشکار نمود.

**کانسار طلا در سنگهای آذرین - زون معدنی کانسار مورد بررسی (نامگذاری نشده) عمدتاً مرکب از سنگهای آذرین زیرگروه (گروه) اکچینسکی<sup>۱</sup> بالایی با سن کربونیفر میانی است، که با مواد خروچی و پیروکلاستیک همراه می‌باشد، این سنگها عموماً شامل توفهای آگلومراتی، پرفیرهای آندزیت‌دار و برشهای گدازه‌ای پرفیرهای آندزیت‌دار می‌باشد. سنگهای آذرین بوسیله دایکها و توده‌های ولکانیکی زیرسطحی با ترکیب گوناگون، مورد هجوم قرار گرفته است. این سنگها شامل داسیت پرفیری، سینیت- دیوریت، آندزیت، و پرفیریت‌های دیابازدار است. شکستگیها که بوسیله زون‌های خرد شده و برشی شده در سنگها نمایان، و گاهی اوقات با دایک‌ها و رگ‌ها پر می‌شوند، حضور گسترده‌ای دارند. پروپلیتی شدن، بارزترین دگرسانی سنگهای درونگیر است.**

مورفولوژی، توده‌های معدنی کاملاً متفاوت است. توده‌های معدنی با شیب تند یا شیب کم، که اکثر آنها به سوی جنوب امتداد می‌یابند، در این کانسار دیده می‌شود.

پیدایش توده‌های معدنی، در چند مرحله رخ داده است. مراحل زیر در فاز گرمایی طلا دار تشخیص داده شده است: سیلیکات، هونریت- کوارتز، طلا- سولفید- کوارتز و سولفید- کوارتز- کربنات. مرحله طلا- سولفید-

1- Harpenberg

2- Kurusai

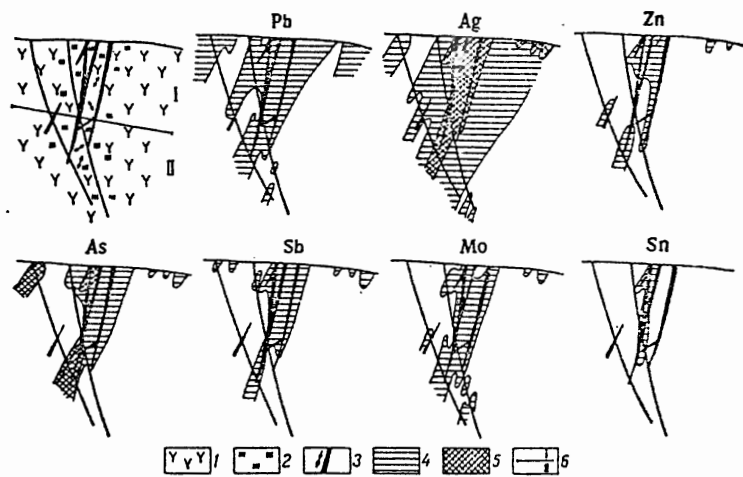


این شکلها می توان مشاهده نمود، که تنها هاله های سرب، طلا و نقره، وسیع و قوی هستند، در حالیکه هاله های عناصر دیگر ضعیف بوده و بندرت تا بالای زون فلزدار، گسترش می یابند. با اینهمه این مطلب در مورد آنتیموان و آرسنیک صادق نیست، چون کوچک بودن هاله هایشان را می توان به کمی حساسیت روشهای تجزیه ای بکار رفته در اندازه گیری این عناصر، نسبت داد.

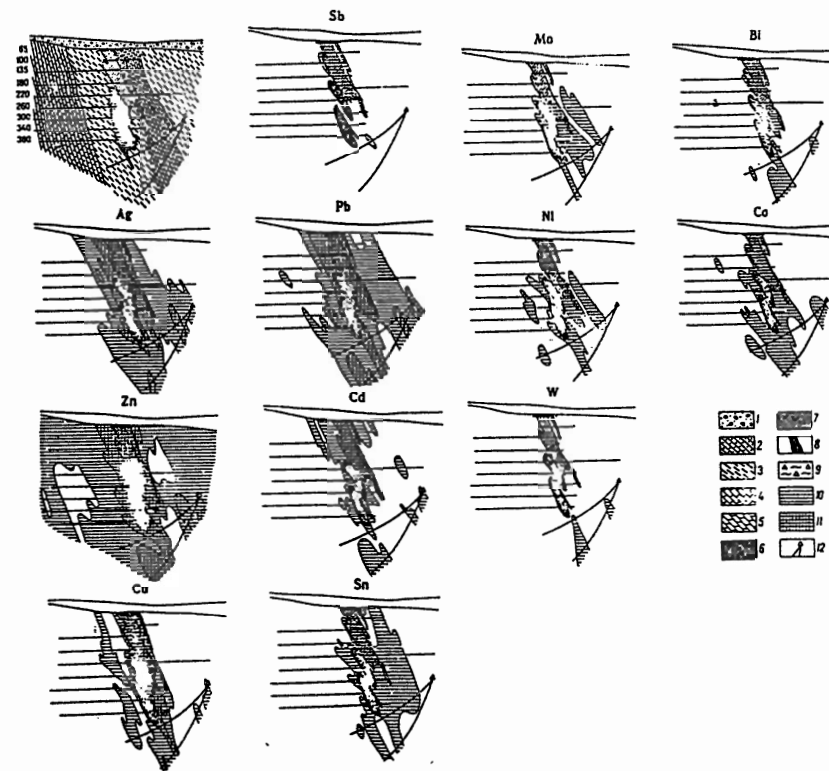
هاله ها زون بندی قائمی را نشان می دهند. هاله های آنتیموان، سرب و نقره گسترده ترین و قویترین هاله ها، در بخش بالایی مقطع عرضی است و گرایش بارزی به نازک شدن در ژرفا نشان می دهند. از سوی دیگر هاله هایی که توسط تنگستن، کبالت، نیکل و چند عنصر دیگر تشکیل شده، بطور انتخابی در بخش پایینی مقطع عرضی، جاییکه رگه های معدنی نازک می شوند، گسترش می یابند (شکل ۵).

بر خلاف عناصر بالا، هاله آرسنیک دو قله دارد، یکی در بخش بالایی مقطع عرضی و دیگری در جاییکه رگه های طلا نازک می شوند (شکل ۲۴).

چنانکه پیش از این گفته شد، بیشتر عناصر، هاله های کوچک و ضعیفی را تشکیل می دهند. این امر بطور محسوس و موثری استفاده از این عناصر را بعنوان عناصر شاخص کانی سازی نوع خود، کاهش می دهد. هاله های مرکب، نظیر آنچه که در شکل ۱۹ نشان داده شده، ممکن است به منظور تشدید هاله های ضعیف، افزایش قابلیت اطمینان، و کاربرد عملی بیشتر، مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۲۴. هاله های نخستین پیرامون توده های معدنی یک کانسار طلا در سنگهای آذرین.  
 ۱. آندزیت پرفیری: ۲. سنگهای دگرسان شده، ۳. رگه های طلا دار، ۴ و ۵ مقدار عناصر بر حسب درصد (۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۵، Pb ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۱، Ag ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۵، Zn ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۷، As ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۳، Sb ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۰۱، Mo ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۱، Sn ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۱، ۵. ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، Ag ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، As ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱، ۶. مرز بلوک ها.



شکل ۲۳. هاله های نخستین پیرامون توده های معدنی کانسار (ذخیره) هارپبرگ (اطلاعات زمین شناسی از (Nrpilava).

۱. آلومینوم، ۲. لیتیت، ۳. کوارتزیت، ۴. سنگ آهک، ۵. دولومیت، ۶. اسکارن، ۷ و ۸. توده معدنی (۰.۷ اکسید شده، ۸ اکسید نشده) و شکستگیها، ۱۰ و ۱۱. مقدار عناصر بر حسب درصد (۰.۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۵، Sb ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۵، Ni ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۵، Bi ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۰۳، Mo ۰/۰۰۲۵ تا ۰/۰۰۱، Pb ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۵، Ag ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۲۵، Co ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۳، Zn ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۰۵، Cd ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۵، Cu ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، Sn ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۵، ۱۱. ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، Ag ۰/۰۰۳۴ تا ۰/۰۰۱، Co ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۰۱، Ni ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱، Pb ۱/۵ تا ۰/۰۱، Cu ۱/۷ تا ۰/۰۱، Cd ۰/۰۱۴ تا ۰/۰۰۱، Zn ۱/۵ تا ۰/۰۰۱، ۱۲. مقطع های عرضی نمونه برداری شده.

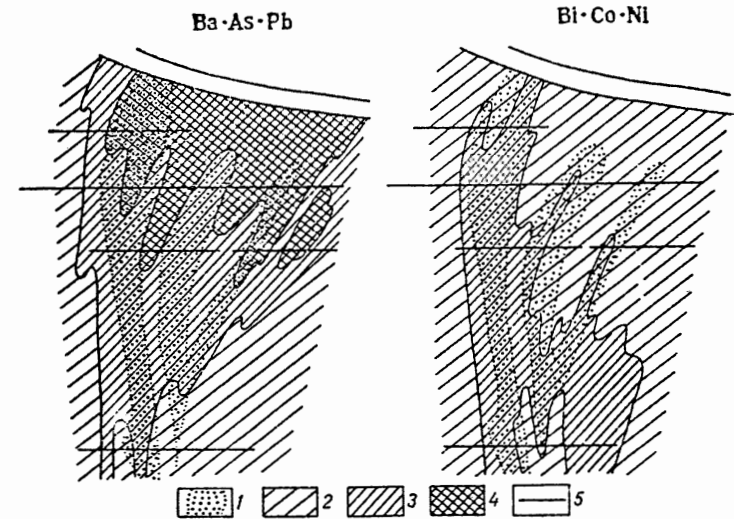
کوارتز، بارزترین مرحله است. کانیهای شاخص این کانسار عبارتند از: پیریت-گالن، تراهیدریت-تانتیت، کالکوپیریت و اسفالریت، طلای فلزی، نقره، بیسموت و نقره؛ و تلوریدهای طلا و بیسموت. این کانیها تشکیل کانی سازیهای افشان نامنظم، گره ای و خط دار را می دهند. کوارتز، کانی باطله اصلی توده معدنی است. توزیع عناصر کانه ای در پیرامون افشای فلزدار، در چندین مقطع عرضی اکتشافی بررسی شده است. شکل های ۲۴ و ۲۵ هاله های نخستین عناصر بیشماری را پیرامون رگه های کوارتز طلا دار، نشان می دهد. در



ناحیه فلزدار کفن واقع در جنوب خاوری ارمنستان، رخنمون دارد. قدیمی‌ترین سازند آندزیت‌های پرفیری اپیدوتی شده باژوسین پائینی و برشهای گدازه‌ای آنهاست که رشته آذرین پائینی را می‌سازد. بخش بالایی مرکب است از آندزیت- داسیت پرفیری که ضخامتش به ۶۰۰ متر می‌رسد. این سنگها بوسیله ردیفی از سنگهای آذرین باژوسین میانی- بالایی، بطور هم‌شیب پوشیده می‌شود. پی‌سنگ از سنگ ماسه و سنگ ماسه‌های توفی نسبتاً مقاوم تشکیل شده است، سپس کوارتز پرفیری، پرفیریت‌های پلاژیوکلاز، توف‌ها و توف‌های برشی آنها قرار می‌گیرد. رشته ژوراسیک بالایی مرکب است از برشهای توف‌دار، کنگلومراهایی با مقدار کمی پلاژیوکلاز، دیاباز پرفیری و توده‌های کمیاب عدسی‌شکل از سنگ آهکها و توف‌ها. لایه نازکی از کنگلومرا در بخش زیرین این رشته قرار می‌گیرد که ضخامت آن ۶۰۰ تا ۸۰۰ متر است.

کانی‌سازی مس با ارزش اقتصادی، در میدان معدنی کفن در یک سری سنگ آذرین- رسوبی ژوراسیک میانی (باژوسین میانی و بالایی) کشف شده است.

هاله‌های نخستین نسبتاً قوی و وسیع تشکیل شده بوسیله بسیاری از عناصر در مجاورت توده‌های معدنی تشکیل دهنده کانسار، یافت شده است. زون‌بندی قائم هاله‌ها بوسیله انباشت انتخابی باریم، آرسنیک و سرب در بالای توده‌های معدنی، روشن و مشخص می‌شود. در حالیکه بیسموت، کبالت و نیکل در تراز زیرین توده‌های معدنی، مقادیر بیشتری را نشان می‌دهند (شکل ۲۷).



شکل ۲۷. هاله‌های ضریبی (چندبارگی) عناصر شاخص در مجاورت یک منطقه استوک ورک (Stockwork).  
 ۱. زون استوک ورک، ۲ تا ۴. حاصلضرب مقادیر As.Ba.Pb از  $1 \times 10^{-11}$  تا  $1 \times 10^{-10}$ ، Bi.Co.Na،  $1 \times 10^{-10}$  تا  $1 \times 10^{-9}$ ،  
 $1 \times 10^{-10}$  تا  $1 \times 10^{-9}$ ، Pb.As.Ba، ۳.  $1 \times 10^{-10}$  تا  $1 \times 10^{-9}$ ، Ni.Co.Bi  $1 \times 10^{-8}$  تا  $1 \times 10^{-9}$ ، ۴.  $1 \times 10^{-8}$  با ۴.  
 ۵. مقطع‌های عرضی نمونه‌برداری شده.

**کانسار رگه‌ای پلی‌متالیک - کانی منصور، خاوری.** این کانسار در ضلع جنوبی رشته کورامینسکی تاجیکستان قرار دارد. میدان معدنی، عمدتاً مرکب از سنگهای خروجی پالئوزوئیک بالایی است.

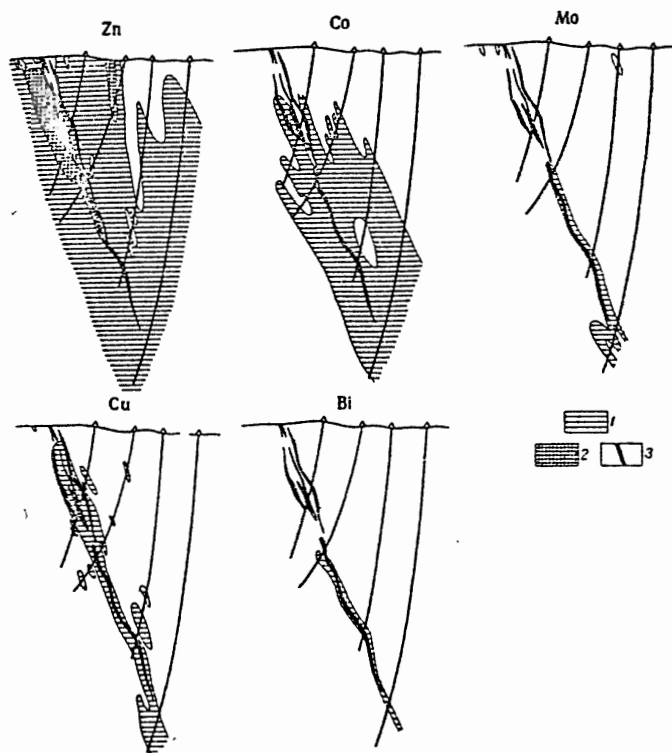
سنگهای آذرین درونگیر با سن پالئوزوئیک بالایی بوسیله گدازه‌های توف‌دار، برشهای توف‌دار، کوارتز پرفیری، فلسیت‌های پرفیری، و پرفیریت‌های آندزیتی، شناسائی می‌شوند. دایک‌های بیشماری از فلسیت‌های پرفیری، کوارتز پرفیری و دیابازهای پرفیری در میان این سنگها وجود دارد.

این کانسار از دیده‌گاه ساختاری با دامنه جنوبی تاقدیس تاواک<sup>۲</sup> وابسته است. این ساختار بوسیله یک سری گسل با راستای شمال خاوری یا خاوری که با زاویه ۷۰ تا ۹۰ درجه به سمت جنوب - جنوب خاوری شیب پیدا می‌کنند، پیچیده می‌شود. گسله‌ها زون‌های ضخیمی از سنگهای فروپاشیده مکانیکی و سنگهای دگرسان شده گرمایی‌اند، که در برخی قسمتها دارای کوارتز، باریت، فلوریت و سولفورهای مختلف می‌باشند. گسله‌های یاد شده در بالا، بوسیله شکستگیهای حاشیه‌ای بیشماری، پیچیده می‌شوند، که مانند ساختارهای اصلی، توزیع توده‌های معدنی را کنترل می‌کنند. توده‌های معدنی در کانسار، به گسل اصلی، گسل شاخه جنوبی، و به شکستگیهای حاشیه‌ای محدود می‌شوند. توده‌های معدنی عدسی شکل بوده و دارای زانده‌های بیشماری است.

مراحل کانی‌سازی زیر در کانسار تشخیص داده شده است. ۱- کوارتز- هماتیت ۲- کوارتز- سولفید (کانسنگ‌های مس- بیسموت)، ۳- باریت- فلوریت- سولفید (کانسنگ‌های سرب- نقره) ۴- کوارتز- کربنات. توده‌های معدنی مس- بیسموت ترکیب کانی‌شناسی زیر را داراست: کالکوپیریت، پیریت، بیسموتینیت، کوزالیت و الکینیت. آرسنوپیریت، تراهیدریت، اسفالریت، گالن، نمکهای سولفور نقره به مقدار کمتر و کانیهای باطله که با کوارتز و فلوریت مشخص می‌شوند. کانیهای اصلی در کانسنگ‌های سرب- نقره عبارتست از گالن، اسفالریت، پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، تراهیدریت و استفانیت. کوارتز، باریت و فلوریت کانیهای باطله اصلی هستند.

پردازش داده‌های ژئوشیمیایی نشان داده است، که هاله‌های عناصر شیمیایی بیشماری در مجاورت توده‌های معدنی جایگیر شده در کانسار، پدید می‌آید. شکل‌های ۲۸ و ۲۹ هاله‌های نخستین ثبت شده در اطراف زون اصلی را نشان می‌دهد. در این زون توده‌های معدنی دارای نقره و سرب، در نزدیکی سطح قرار دارند و در ژرفای بیشتر بوسیله توده‌های مس- بیسموت جایگزین می‌شوند.

هاله‌های نخستین بیشتر عناصر شاخص، از خود توده‌های معدنی، بسیار بهتر است. داوری در باره گستردگی هاله‌ها، به علت ژرفای کم توده‌های معدنی، دشوار است. این امر، بررسی الگوهای توزیع را که بوسیله عناصر شاخص، تنها در تراز توده‌های معدنی نشان داده شده، ضروری ساخته است. با وجود این، زون‌بندی قائم بارزی در ساختمان هاله‌های نخستین آشکار شده است. این زون‌بندی توسط تناوب منظم هاله‌های تشکیل شده بوسیله عناصر مختلف، نمایانده می‌شود. پاره‌ای عناصر مانند باریم، نقره و تا اندازه‌ای سرب، تنها در ترازهای بالایی مقطع عرضی، هاله‌های پهن و مشخصی را بویژه در ترازهای توده معدنی



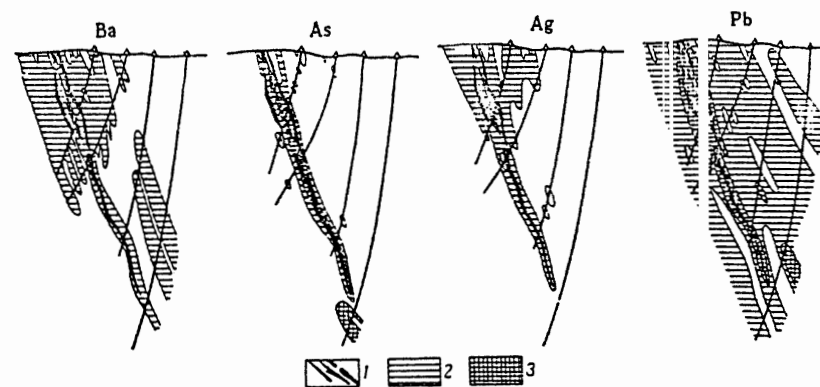
شکل ۲۹- هاله‌های نخستین در مجاورت توده‌های معدنی زون اصلی کانسار کانی منصور خاوری.  
 مقدار عناصر بر حسب درصد: ۱- Zn ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۱ Cu ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۱، ۲- Zn ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۱، ۳- توده معدنی.  
 Co ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۶، Mo ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۸، Cu ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۱، Ag ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۱، Pb ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۲.

زون بندی قائم را، که بوسیله هاله‌های نخستین کانسار مورد بررسی نشان داده شده، می‌توان از طریق ردیف عناصر شاخص، به این شکل بیان نمود: باریم- آرسنیک- نقره سرب- روی- مس- بیسموت- کبالت- قلع- آرسنیک- تنگستن. محل اشغال شده بوسیله آرسنیک در این ردیف، نه بر مبنای شاخص زون بندی، بلکه تقریباً بطور اختیاری، با بحساب آوردن زون بندی معدنی (کانی) یاد شده، تعیین می‌گردد. حضور  $As_1$  با پیدایش تراهیدریت مطابقت دارد، در حالیکه وجود  $As_2$  با پیدایش آرسنوپیریت تطبیق می‌کند. آرخون! کانساری از نوع فلزی پلی متالیک در قفقاز شمالی در کنار ساحل سمت راست رودخانه آرخون- دن<sup>۱</sup> است. این ناحیه مرکب از سنگهای دگرگونی، نفوذی و آذرین- رسوبی است. گسله‌های

1- Arkhon

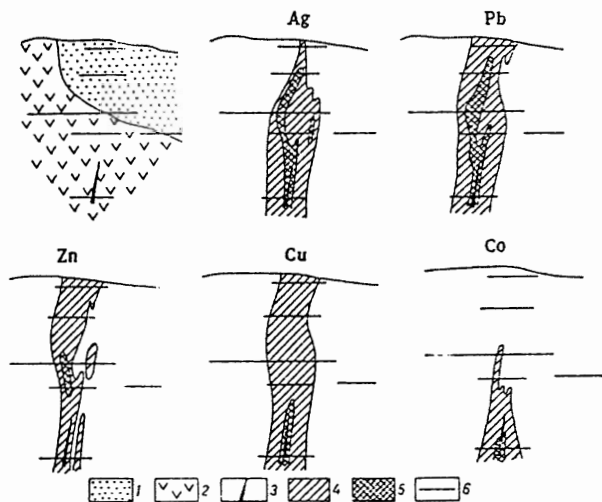
2- Arkhon- don

سرب- نقره، پد-ار<sup>۲</sup> شسته و تراز بالاتر از آن، تشکیل می‌دهد. هاله‌هایی که بوسیله این عناصر تشکیل می‌شوند، در فرو سیب دور از توده معدنی بطور ناگهانی باریک می‌شوند. این امر بویژه برای هاله‌های باریم و نقره صادق است از سوی دیگر هاله‌های تشکیل شده بوسیله مس، بیسموت، کبالت، مولیبدن، قلع و تنگستن (دو عنصر آخر نان داده نشده است)، اساساً در پایینترین تراز مقطع عرضی گسترش می‌یابند (به شکل ۲۸ و ۲۹ مراجعه شود).



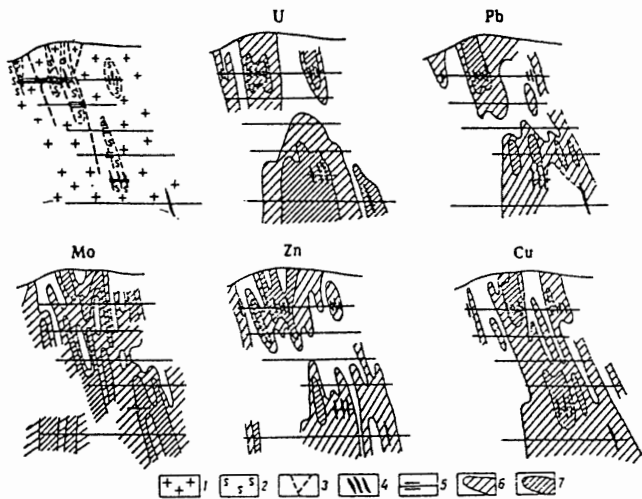
شکل ۲۸- هاله‌های نخستین پیرامون توده‌های معدنی در زون اصلی کانسار (کانی منصور خاوری).  
 ۱- توده معدنی، ۲- مقدار عنصر % (۲- باریم ۰/۰۴ تا ۰/۰۵، ۳- As ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۱، ۴- Ag ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۱، ۵- Pb ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۲، ۶- Ag ۰/۰۰۰۱ تا ۰/۰۰۰۱، ۷- As ۰/۰۱ تا ۰/۰۱، ۸- Pb ۰/۰۱ تا ۰/۰۱).

زون بندی قائم در توزیع عنصر، بوسیله جفت عناصری نظیر باریم (یا نقره)- کبالت (یا تنگستن) به بهترین شکل نشان داده می‌شود. هاله‌های تشکیل شده بوسیله این عناصر، تصویر آینه‌ای یکدیگرند. در شکل ۸ می‌توان دید که توزیع آرسنیک در مقطع عرضی، با عناصر دیگر متفاوت است. هاله آرسنیک در تری<sup>۳</sup> که کانه‌های سرب و نقره رخ می‌نمایند، کاملاً روشن و مشخص است. این هاله در بخشهای پایینی قطع عرضی، قدری نازک شده و پس از آن دوباره پهن گشته و در آن بخش از مقطع، در زیر توده‌های معدنی پهنای درخور ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. این رفتار عنصر آرسنیک، به احتمال زیاد، به سبب زون بندی معدنی است که از تناوب قائم شکلهای معدنی نتیجه شده است. بسیار محتمل است که در افقهای بالایی، آرسنیک به شکل تراهیدریت پدیدار گردد، که در ژرفای بیشتر، جایگزین آرسنوپیریت شده است. این فرضیه با نتایج تجزیه‌های کانی شناسی منطبق است. در زیر این مسئله به تفصیل بیشتری بیان می‌شود.



شکل ۳۰. هاله‌های نخستین پیرامون توده معدنی آرگون.

۱- ماسه سنگها، ۲- آلیتوفیر، ۳- رگه چند عنصری، ۴ و ۵- مقدار عنصر بر حسب واحد زمینه (۴- Ag: ۱ تا ۳، ۵- Pb: ۱ تا ۵، Zn: ۱ تا ۳، Co: ۱ تا ۲، ۶- بیش از ۲)، ۷- مقطع‌های عرضی نمونه برداری شده.



شکل ۳۱. هاله‌های نخستین در مجاورت توده‌های معدنی اورانیم ناپیدا.

۱- گرانیت‌های leucocratic، ۲- زون‌های گرایزنی، ۳- شکستگیها، ۴- توده معدنی، ۵- سینه کارهای معدنی و گمانه‌های نمونه برداری شده، ۶ و ۷- هاله‌های نخستین.

بیشماری که کنترل‌کننده الگوی کانی‌سازی پلی‌متالیک است، در همه ناحیه گسترده است.

رگه‌های پلی‌متالیک کانسار آرگون در شکستگی‌هایی با شیب تند، با روند شمال خاوری قرار گرفته است. متداولترین کانیهای کانساری عبارتند از: پیریت، اسفالریت گالن، پیرروتیت، کالکوپیریت و ارمنوپیریت، تتراهدیریت، آرزانتیت جامزونیت و کالکوسیت، فراوانی کمتری دارند.

نتیجه بررسی حاصل از نمونه برداریهای ژئوشیمیایی نشان داده است، که اگرچه رگه‌های معدنی خود ستبرای زیادی ندارند، ولی بوسیله هاله‌های پهن و قوی سرب، روی، مس، نقره، کبالت و بیسموت احاطه شده‌اند. الگوهای توزیع آرسنیک و آنتیموان را نمی‌توان بررسی نمود، زیرا روش تجزیه‌ای با حساسیت کافی، برای اندازه‌گیری این عناصر، وجود ندارد.

شکل ۳۰، هاله‌های نخستین تشکیل شده بوسیله نقره، سرب، روی، مس و کبالت پیرامون رگه (ناپیدا) «اسلپایا» را نشان می‌دهد. بخشهایی از هاله‌ها، که بالای توده معدنی تشکیل شده است، بر مبنای نتایج بررسی حاصل از نمونه برداری سنگ بستر در سطح و بالای رگه معدنی، در امتداد ترازهایی با ارتفاع مختلف، ترسیم شده است (برجستگی بالای رگه دارای شیب تندی با زاویه بین ۳۵ تا ۴۰ درجه است). سپس هاله‌ها در یک صفحه قائم رسم شده است. به آسانی دیده می‌شود که هاله‌های تشکیل شده بوسیله این عناصر، بسیار بزرگتر از خود توده معدنی بوده، و مانند توده معدنی، به نحو مشخص و بارزی بطور قائم گسترش یافته‌اند. گسترش قائم هاله‌های نقره، مس، سرب و روی که در بالای توده معدنی تشکیل شده، درخور ملاحظه است (بیش از ۱۵۰ متر).

بنابراین زون‌بندی قائم مشخصی در ساختار هاله‌های نخستین موجود است. این زون‌بندی، به علت گسترش هاله‌های قویتر نقره و سرب، در مقطع عرضی بالای توده معدنی، است. در حالیکه کبالت هاله‌ای قوی در پایین‌تر از توده معدنی تشکیل می‌دهد (شکل ۳۰).

کانسار اورانیم (در گرانیت‌ها) - این کانسار ویژه، در انتهای جنوب خاوری یک گسل ناحیه‌ای، که در مجاورت میدان معدنی چندین شاخه می‌شود، قرار گرفته است. گرانیت‌های واریسین پسین و همزادهای رگه‌ای آنها، همچون سنگهای درونگیر عمل می‌کنند. در میدان معدنی، دو مرحله کانی‌سازی مشخص شده است:

۱- مرحله گرایزنی<sup>۲</sup>، که عهده‌دار تشکیل افقهای گرایزنی شده بیشماری است.

۲- مرحله گرمایی، که نتیجه آن تشکیل توده‌های معدنی اورانیم است.

زون‌های گرایزنی شده از نظر وسعت متغیر است و طول آنها بطور متوسط تا چند صد متر و ضخامت آنها از چند متر تا چندین ده متر است (شکل ۳۱).

زون گرایزنی شده در حقیقت یک سری شکستگی با شیب تند می‌باشد. که در حاشیه‌های آن موادی شامل کوارتز- موسکویت و کوارتز- توپاز، پدیدار شده است.

مرحله گرما -ایدتر به دو دوره کانی سازی تقسیم می شود: ۱- مرحله کوارتز- کربنات- سولفید ۲- مرحله فلوریت- رانیبت. رگه ها و رگچه های مرحله کوارتز- کربنات - سولفید معدود است. این رگه ها اساساً از کانیهای باطله، نظیر کوارتز، کلسیت، فلوریت، دیکیت، باریت، آلیت، آنکرت، کلریت، مقدار کمی گالن، اسفالریت، کالک، بیریت، تراهیدریت و هماتیت تشکیل شده است. ستبرای این رگه ها، از چند میلی متر تا ۵ سانتی متر تغییر می کند. و طول آنها بندرت به بیش از چند متر می رسد.

رگه ها و رگم ها، مرحله فلوریت- اورانیت زون های گرایزی شده را قطع می کند. این رگه ها معمولاً در زون های گرایزی شده، دیده می شوند، با اینهمه گاهی در خارج از این زون نیز یافت می شوند. نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوسیمیایی تفصیلی در زون های گرایزی خارج از ناحیه هایی که مرحله کانی سازی فلوریت- اورانیت را گذر داده، نشان داده است که فرآیند گرایزی شدن با ورود محسوس هیچیک از عناصر تیبیک کانی سازی اورانیم، همراه نبوده است (گریگوریان و یانیشوفسکی، ۱۹۶۸). این واقعیت نشان می دهد که تشکیل توده های کانی اورانیم و هاله های پیرامون آنها به سبب تأثیر محلولهای گرمایی اورانیم دار بر روی سنگهای درونگرایزی شده و دگرسان نشده، می باشد.

توده های معدنی در کانسار، مرکب از رگچه های بیشماری در جهت های مختلف است، که تشکیل استوک ورک (Stock work) می دهند. اینها عدسی شکل بوده و در امتداد جهت و شیب، باریک و کشیده شده اند. محورهای عمده آنها بر روند زون های گرایزی شده، منطبق است. توده های معدنی اورانیم با شیب تند، با امتداد زوای گرایزی شده و ناپیدا (نهفته) هم شیب می باشند.

نمونه برداری ژئوسیمیایی، هاله های مشخص و پهنی را که بوسیله اورانیم، سرب مولیدن، روی و مس پیرامون توده های معدنی تشکیل شده، آشکار ساخته است.

شکل ۳۱، الهامی نخستینی را نشان می دهد که در مجاورت دو گروه از توده های معدنی ناپیدا، تشکیل می شوند: ۱- گرا، بالایی (افقهای II و III) و ۲- گروه پائینی (افقهای VI, VII). توده های معدنی موجود در افقهای پائینی بزرگترین توده ها هستند و هاله های اورانیم در آنجا حداکثر عرض و شدت را دارند. سرب، روی و مس، بر خلاف اورانیم، در بالای توده معدنی تشکیل حداکثر تمرکز را می دهند. زون بندی، بویژه در مورد هاله های سرب، روی قابل ملاحظه است. از اینرو، این دو عنصر شاخصهای حساس توده های معدنی ناپیدا در ژرفا هستند. گروه از توده های معدنی بروشنی با هاله ویژه ای (کلاهاک) که توسط این عناصر تشکیل شده، مشخص می گردد. در شکل ۳۱ می توان ملاحظه نمود که هاله های تشکیل یافته بوسیله این عنصر، در مجاورت گروه بالایی توده های معدنی، بزرگتر و قویتر از هاله های پائینی این «موج» می باشند. این امر علی رغم این واقعیت که توده های معدنی پائینی بزرگترند، رخ می دهد. این دانسته ها نشان می دهد که احتمالاً زون بندی ویژه، بر روی کل کانسار وجود دارد، و (زون بندی) تنها به هاله های تشکیل شده پیرامون یکایک توده های معدنی (یا پیرامون یک گروه از توده های معدنی) منحصر نمی شود. این زون بندی، که به کل کانسار مربوط است، دگرش هاله های قویتر عناصری که معمولاً بالای توده های معدنی انباشته می شوند، در

اطراف توده های ترازهای بالاتر (در صورت یکسان بودن شرایط دیگر)، نشان داده میشود.

**کانسار جیوه - آقیاتاق<sup>۱</sup>** - تعبیر و تفسیر نتایج نمونه برداری ژئوشیمیایی از توده های معدنی و سنگهای درونگیر آنها، در کانسارهای جیوه، بسیار دشوار است. این امر به علت ساختار زمین شناسی پیچیده چنین کانسارهایی است و مقدم بر آن، به دلیل تغییر پذیری فضایی زیادی است، که بوسیله کانی سازی، نشان داده می شود. همچنین این واقعیت اهمیت دارد، که عناصر همراه جیوه بدلیل کم بودن مقدارشان در کانسارها، تشکیل هاله های بسیار ضعیفی می دهند. بنابراین، کشف و تعیین حدود هاله های تشکیل شده بوسیله عناصر همراه جیوه، مسئله بسیار پیچیده ای است. این امر به دو علت رخ می دهد:

۱- اثر شایان توجه خطاهای تصادفی تجزیه.

۲- بویژه، به علت تداخلی که از توزیع دوباره فراوانی زمینه عناصر شیمیایی، در خلال فرآیند کانی سازی، بوجود می آید. روشن است که توزیع دوباره مشابهی نیز در خلال تشکیل هاله های انواع دیگر کانسارها (برای مثال، پلی متالیک) رخ می دهد. با اینهمه، در موارد اخیر اثرات توزیع (پخش) دوباره بوسیله ورود عناصر با غلظت زیاد در خلال فرآیندهای تشکیل هاله، خنثی می شود.

دشواریهای موجود در بررسی الگوهای توزیع جیوه، که پیرامون توده های معدنی، تشکیل شده است، به دلایل دیگری نیز حاصل می شود. بهترین دلیل، پویایی بسیار زیاد جیوه است، که منجر به پراکندگی گسترده این عنصر و تشکیل ناهنجاریهای بیشماری با فاصله زیاد از توده های معدنی می گردد. افزون بر این، تکرار پذیری نتایج تجزیه حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیایی، برای جیوه، بسیار کم است، و این نه تنها به دلیل دقت کم روشهای تجربه ای بکار رفته، بلکه همچنین به دلیل خطاهای زیاد مربوط به فرآوری و انبار کردن نمونه ها است، همه این عوامل بایستی در بررسیهای هاله های ژئوشیمیایی همراه با کانی سازی جیوه، بشمار آورده شود.

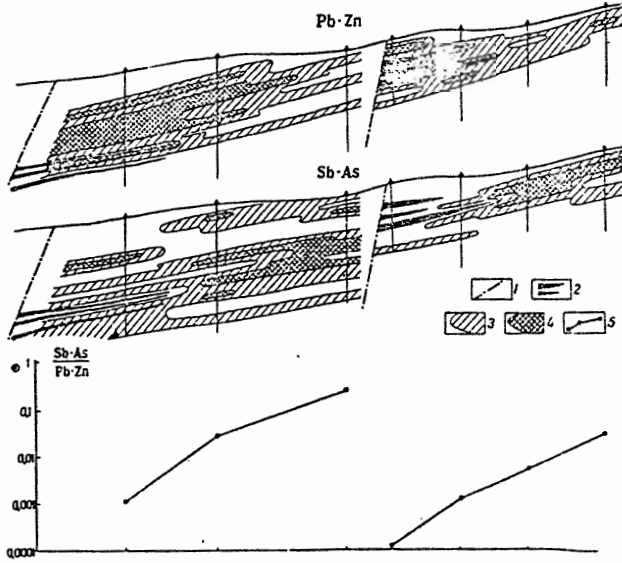
در زیر به شرح هاله های نخستین ثبت شده در کانسار جیوه آقیاتاق، واقع در بخش خاوری آذربایجان شوروی در کمربند جیوه سوان- قره باغ<sup>۱</sup> می پردازیم. سنگهای درونگیر در این کانسار، عمدتاً مرکب از برشهای تکتونیکی و تا حدی گل سنگ سیلیسی قهوه ای رنگ، مانند داسیت، سرپانتینیت و لیسونیت است. کانی سازی جیوه که از نوع رگچه افشان است، بوسیله توزیع بسیار نامنظمی، مشخص گشته و به برشهای تکتونیکی گل سنگ محدود می گردد.

هاله های کانسار آقیاتاق، بر پایه نتایج حاصل از نمونه برداری سنگ بستر در سطح و نمونه برداری در کارگاههای معادن زیرزمینی، مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۳۲). هاله های قوی و پهنی که بوسیله شماری از عناصر تشکیل شده اند، در مقطع عرضی مورد بررسی، آشکار گشتند. بر حسب توزیع عنصر در مقطع عرضی، دو گروه از این هاله ها را می توان شناسائی نمود:

۱- هاله های تشکیل شده بوسیله جیوه، آرسنیک، مس، سرب و تا حد کمتری قلع، که با زیاد شدن ژرفا، اندازه و شدت آنها کاهش می یابد.



توده معدنی مشخص شده است. نقره حالت حد واسط این دو گروه را داراست. این زون بندی همانند زون بندی هاله‌هایی است، بوسیله توده‌های معدنی با شیب تند تشکیل شده، و جهت حرکت محلولهای سازنده کانه را منعکس می‌کند.



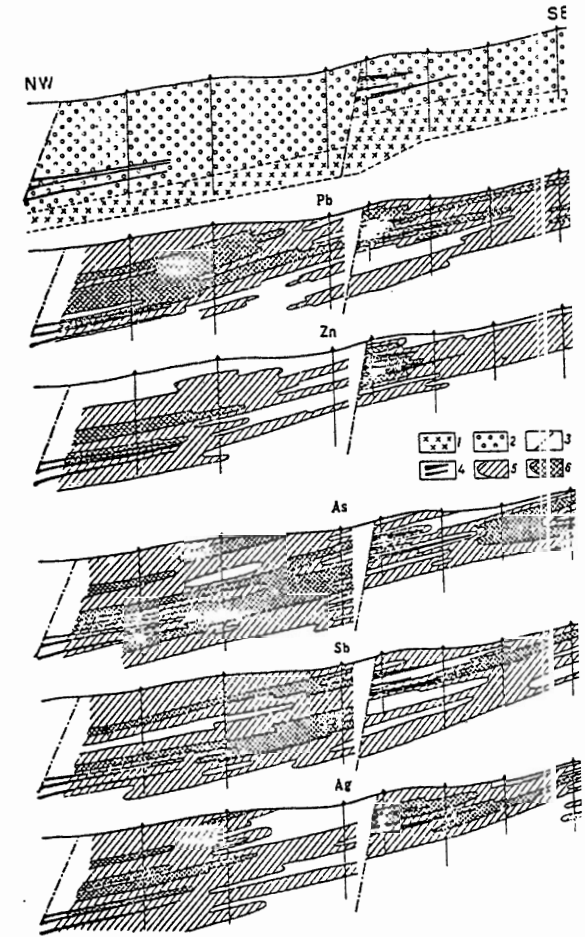
شکل ۳۴. هاله‌های ضریبی در مجاورت ذخیره توتلی.

۱. گسل، ۲. توده معدنی، ۳. مقدار حاصل ضربها (۳. Pb.Zn.۱۰۰ تا ۱۰۰۰ x ۱۰-۵ : As.Sb، ۱۰-۴ x ۱۰-۴ تا ۱۰-۴ x ۱۰-۴ : Sb.As) ، ۴. منحنی نسبت‌های Sb.As / Pb.Zn

در شکل ۳۴، هاله‌های ضریبی، ترسیم شده برای دو گروه از عناصر شاخص آنتیموان و آرسنیک (شاخص بخشهای جلویی هاله‌ها) از یک سو و سرب و روی (اجزا تشکیل دهنده کانه) از سوی دیگر، نشان داده شده است. در این شکل هاله‌های ضریبی که بوسیله این عناصر تشکیل شده، زون بندی مشخصی را نشان می‌دهد، که بطور کمی از راه ترسیم نسبت بارآورهای خطی هاله‌ها تعیین می‌گردد.

Sb . As  
Pb . Zn

ساریچیکو - این کانسار مس پرفیری، در بخش جنوبی میدان معدنی ساق‌بالاق<sup>۱</sup>، در ضلع شمالی رشته کورامینسکی واقع است. گستره‌ای که این ذخیره در آن واقع است از آلاسیتهای کالدونین پسین، آندزیت و پرفیرهای آندزیت- داسیت، کوارتز پرفیری، گرانودیوریت‌های «خاکستری» با سن دونین پایینی و سنگهای آراناسه<sup>۲</sup> کربناته با سن دونین بالایی (شکل ۳۵) تشکیل شده است. کل این کمپلکس بوسیله نفوذ گرانودیوریت‌های «سرخ رنگ»، پرفیرهای سینیت- دیوریت با سن پرمین و سرانجام با دایک‌های جوان (پرفیرهای گرانودیوریت «سیاه» و لامپرفیرهای سیاه‌رنگ)، قطع شده است. سنگهای میزبان اصلی در ذخیره، کوارتز پرفیری و گرانودیوریت‌های «سرخ رنگ» هستند.



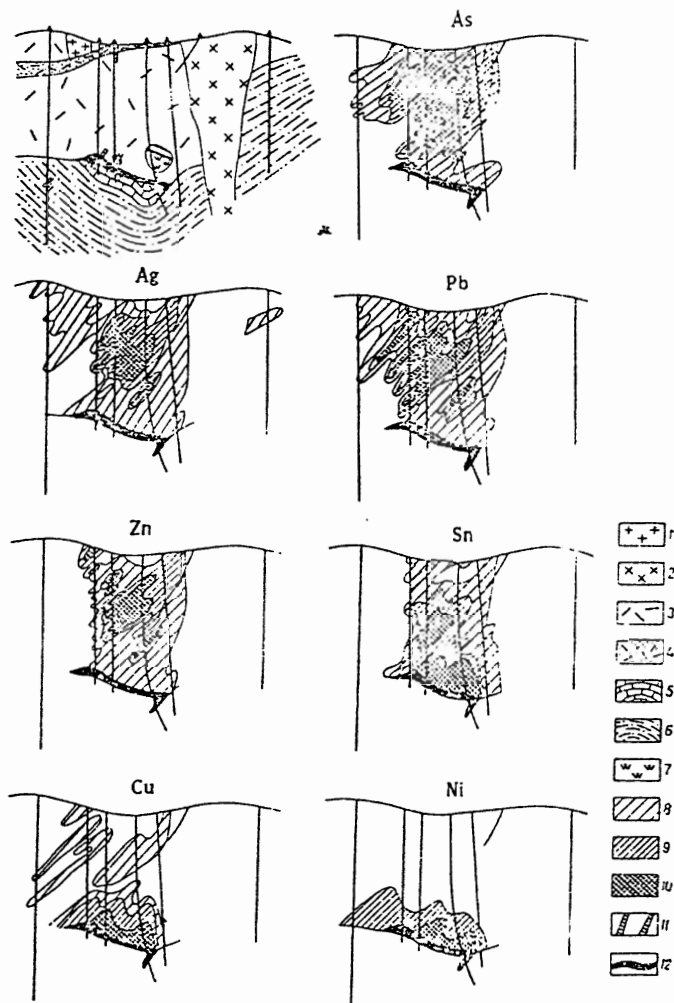
شکل ۳۳. هاله‌های نخستین در مجاورت توده‌های معدنی در کانسار توتلی I.

۱. آندزیت پرفیری، ۲. کنگلومرا، ۳. گسل، ۴. توده معدنی، ۵ و ۶. مقدار عناصر بر حسب درصد (Pb.۵ : ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۳ : Zn، ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۵ : As، ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۵ : Sb، ۰/۰۱ تا ۰/۰۱ : Ag، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۱ : Pb، ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۳ : Zn، ۰/۰۱ تا ۰/۰۱ : As، ۰/۰۱ تا ۰/۰۱ : Sb، ۰/۰۱ تا ۰/۰۱ : Ag، ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۳).

1- Saukbulak 2- Arenaceous







شکل ۳۷. هاله‌های نخستین، تشکیل شده پیرامون توده معدنی نیکولوسکوی.

۱. کوارتز پرفیری، ۲. گابرو-دیوریت، ۳. توف و برشهای توفی کوارتز پرفیری، ۴. توفها، ۵. سنگ آهک، ۶. فورسنگ و ماسه‌سنگ، ۷. سنگهای سیلیسی، ۸ تا ۱۰. مقدار عناصر بر حسب درصد (As ۸: ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۰۵، Ag ۳: ۰/۰۰۰۳ تا ۰/۰۰۰۴، Pb ۴: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲، Zn ۲: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Sn ۵: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۳، Cu ۹: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۳، As ۹: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Ag ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Pb ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Zn ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Sn ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Ni ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Cu ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Ag ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Ni ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Pb ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Zn ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Sn ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵، Ni ۱: ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۵).
۱۱. دایکهای پرفیریت، ۱۲. توده معدنی.

سنگهای درونگر بوسیله دایک‌های دیاباز پرفیری و همچنین بوسیله یک سنگ نفوذی استوک مانده کوچک ترکیب بیچ ده گابرو-دیوریت، گرانیت پرفیری و فلسیت، قطع و بشدت دگرسان شده است. ماسه سنگها و برشهای رسوبی در پی سنگ کلریتی و سرسیتی شده، و سنگ آهکهای دگرسان شده به مرمر تبدیل می‌شوند و یا در هم ری با سنگهای سیلیکاتی دگرگون شده و به اسکارن‌های هیدرنرژیت تبدیل می‌گردند. سنگهای آذرین خراجی در بالای توده معدنی بشدت پروپیلیتی شده‌اند.

کانی‌سازی در اسکارن‌های هیدرنرژیت رخ می‌دهد. اسفالریت، گالن، پیریت و پیرویت اجزاء تشکیل دهنده اصلی کانسنگ، بشمار می‌آیند. بافت کانسنگ را می‌توان رگه‌ای پراکنده توصیف نمود.

هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین تشکیل شده بوسیله شماری از عناصر را می‌توان بر پایه نتایج نمونه برداری از مغزه‌های حاصل زگانه‌ها، در کانسار مشخص نمود. شکل ۳۷ هاله‌های نخستین ترسیم شده در مقطع عرضی را نشان می‌دهد. این توده معدنی در ژرفای ۸۵۰ متری پدیدار گشته است.

با وجود شیب ملایم توده‌های معدنی، ذخیره نیکولوسکوی بطور درخور ملاحظه‌ای، با ذخیره‌هایی که بر اساس گسترش و ژئو-هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، در بالا بررسی شده، متفاوت است. ابعاد افقی هاله‌ها چندان گسترده نیست که بتواند آنسوی توده معدنی امتداد پیدا کند. ویژگی دیگر این هاله‌ها گستردگی قائم شایان توجه آنها است، که تا ۸۵۰ متر می‌رسد. ولی حتی این مسافت بهیچوجه حد نهایی بشمار نمی‌رود، زیرا هاله‌ها در سطح، بسیر قوی و وسیع می‌باشند.

در نتیجه، کانسار نیکولوسکوی، با وجود اینکه شیبی ملایم دارد، ولی به سبب گستردگی هاله‌های نخستین، می‌تواند هندکانساری با شیب تند بشمار آید. این نتیجه گیری با زون بندی قائم مشخصی مطابقت دارد که همانند حالت است که پیرامون توده‌های معدنی با شیب تند و ترکیب پلی‌متالیک (کوروسای، هارپتیرگ و ذخیره‌های دیگر که قبلاً توصیف شده)، مشاهده شده است. این زون بندی بوسیله ردیف پویایی عناصر شاخص زیر، مشخص می‌شود: آرسنیک، نقره، سرب، روی، مس، قلع و نیکل (شکل ۳۷).

این دانسته‌ها نشان می‌دهد، که هاله‌های نخستین در کانسار نیکولوسکوی بوسیله محلولهای کانه‌دار بالارونده، تشکیل شده است. کانه‌های دارای ارزش اقتصادی، در سنگهای آهکی اسکارنی شده انباشته می‌شوند. این سنگها پایه‌گاه مساعدی برای تمرکز کانی‌سازی و استقرار کانیها بشمار می‌آیند. شکستگیهای با شیب تند، مجرای حرکت محلولهای بالارونده را فراهم می‌کنند، که پاره‌ای از آنها در حال حاضر بوسیله دایک‌های تشکیل داده وسط دیاباز پرفیری پر شده است. (شکل ۳۷).

از دانسته‌های یاد شده، در بالا چنین نتیجه می‌شود، که توزیع کانسارهای حاوی توده‌های معدنی با شیب ملایم، و نیز نمود هاله‌های نخستین پیرامون آنها، مقدماً بوسیله شرایط زمین‌شناسی-ساختاری محلهای کانی‌سازی شده، کنترل می‌گردد. این مشاهده می‌بایستی در بررسی هاله‌های نخستین، و نیز کاربرد عملی آنها منظور گردد.

### زون بندی در هاله‌های نخستین

معمولاً گونه‌ها و ویژگی‌های از زون بندی وجود دارد. این زون بندی به علت نظمی است، که در تغییرات

جدول ۳۰- ردیف زونبندی (محوری) عناصر شاخص

نوع ذخیره	نام ذخیره	ردیف زونبندی
Tungsten-molybdenum in skarns	Shurale	Ag, Pb, Zn, Mo, W, Ni, Co
Bismuth in skarns	Chokadambulak	As, Pb, Ag, Zn, (Co, Cu, Bi), Ni
Multielement in skarns	Nov. Kamarsai	As, Cd, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi
	Aktash	(As, Sb), Ag, Pb, (Zn, Cu), Bi, Co, Sn, Mo
	Kurusai	Ba, (As, Sb), Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Co, (Mo, W), Sn
	Altynopkan	Sb, Cd (Ag, Pb) (Sn, Zn), Cu, Bi, Ni, (Co, Mo, Sn, W, Be)
Gold ore	Harpenberg	Sb, Ag, Pb, Zn, Cu, Sn, Bi (Ni, Mo, Co), W
	I	(Sb, As, Ag, Pb), Zn, Au, Mo, Cu, Bi (Co, Ni, As, W, Be)
	II	Sb, As, Ag, Pb, Zn, Au, Cu, Mo, Sn, Bi, Be, W, Co
Tin ore (sulfide-cassiterite)	III	Ba, Sb, As, Ag, Pb, (Zn, Cu), Au, Mo (Sn, Bi, W)
	Zimneye, Ege-Khaya, Deputatskoye	Sb — (Ag, Pb, Zn) — (Sn, Cu, Bi) — (Co, Mo, W)
	Almalyk	Ba, As, Sb (Ag, Pb, Zn), Au, Bi (Cu, Mo) (Sn, Co, W, Be)
Porphyry copper	Kafan	Ba, As, Pb, Zn (Ag, Sn), Cu, Bi, Co, Ni
Copper	Eastern Kanimansur	Ba, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Co, As, W
	Arkhon	Ag, Pb, Cu, Mo, Co*
Uranium	I (in felsites)	Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, U*
	II (in granites)	Ag, Pb, Zn, Cu, Mo, U*
Stratiform lead-zinc	Sumsar	Ba, As, Cu, Ag, Pb, Zn, Co, Ni, Be
Mercury	Sympa	Ba, Hg, Ag, Pb, Zn, Cu (Co, Ni, Sn), Mo
	Konchoch	Sb, As, Hg, Ag, Pb, Zn, Cu (Mo, Bi), (Co, Ni, W, Sn)
	Sakhalinskoye	As, Hg, Sb, Pb, Zn, Cu (Co, Ni)
	Agdalg	As, Hg, (Ag, Pb, Sn, Zn), Cu, Co, Ni (Be, Mo, W)
Multielement in skarns	Tutly I	Sb, As, Ag, Pb, Zn*
	Nikolaevskoye	As, Ag, Pb, Zn, Cu, Sn, Ni
Porphyry copper	Sarycheku	Ag, Zn, Cu, Mo*
Antimony-mercury	Terekai	As, Sb, Hg, Cu, Ag, Pb, Zn, Be, Co, Ni
	Karakamar	As, Sb, Hg, Ag, Sn, Pb, Zn, Cu, Mo (W, Co, Ni)

\* - تنها عناصر شاخص اصلی ارائه شده است. به علت کمی شمار نمونه‌ها، هیچ تجزیه‌ای بر روی تعداد بیشتری از عناصر انجام نشده است.

زیر برای عناصر شاخص پیشنهاد می‌گردد، که مشخص‌کننده زونبندی ذخیره‌هایی است که بررسی شده است:

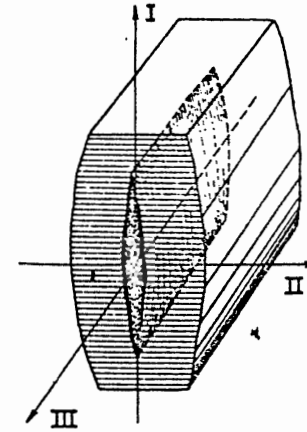
Ba — (Sb, As, Hg)\* — Cd — Ag — Pb — Zn — Au  
(۹۳) \*\* (۱۰۰) (۸۷) (۱۰۰) (۸۰) (۸۴) (۸۷) (۸۴)

Cu — Bi — Ni — Co — Mo — U — Sn — Be — W  
(۸۶) (۷۲) (۵۰) (۵۵) (۴۸) (۱۰۰) (۶۶) (۶۰) (۷۲)

\* - عناصری که وابستگی آنها را در ردیف زونبندی نمی‌توان بدون حدس تعیین نمود، در پرانتز آمده است.  
\*\* - ارقام داخل پرانتز احتمال رخداد هر یک از عناصر را در جایگاه مربوطه در ردیف توالی (بر حسب % نشان می‌دهد).

فضایی میان ویژگی‌های گوناگون هاله‌ها موجود است.

زونبندی در یک هاله مفهومی برداری است. به این دلیل بسته به جهت انتخاب، گونه‌های مختلفی از زونبندی را می‌توان تعریف نمود. زونبندی محوری در جهت حرکت محلولهای کانه‌دار تشکیل می‌شود. زون‌های فلزدار با شیب تند، بر زونبندی قائم منطبق است (شکل ۳۸)، در حالیکه زون‌های نیمه افقی، بر زونبندیهای افقی منطبق است.



شکل ۳۸- جهت زونبندیهای محوری (I)، عرضی (II) و طولی (III) در هاله‌های نخستین، که پیرامون توده معدنی با شیب تند گسترش یافته است.

زونبندی طولی، بازتابی از ساختمان هاله به موازات امتداد توده معدنی است، در حالیکه زونبندی عرضی، بازتابی از ساختمان هاله در جهت عمود بر امتداد توده معدنی است. برای توده‌های معدنی نیمه افقی، زونبندی محوری و طولی با زونبندی افقی انطباق دارد، در حالیکه زونبندیهای عرضی بر زونبندیهای قائم (در صورت گسترش هماهنگ هاله‌ها) منطبق است. از دیدگاه تئوری و عملی، زونبندی محوری مهمترین نوع زونبندی است. برای رعایت اختصار، در مقابل زونبندی طولی و عرضی به زونبندی محوری، تنها عنوان زونبندی گفته می‌شود.

جدول ۳۰، ردیف عناصر شاخصی را ارائه می‌دهد، که زونبندی محوری را مشخص می‌کند. این ردیف بر پایه روشهای یادشده تعیین شده است. در این جدول، نمود زونبندی هاله‌هایی که بوسیله کانسارهای گرمایی تشکیل شده، و از نظر ترکیب و محیط تشکیل متفاوتند، مقایسه شده است. دانسته‌های ارائه شده در جدول ۳۰ همانندی درخور توجهی را در ردیف هاله‌هایی نشان می‌دهد که در مجاورت ذخیره‌های گوناگونی تشکیل می‌شوند که از نظر ترکیب و محیط تشکیل متفاوتند. ردیف استاندارد

از جدول ۳- پهن نتیجه می‌شود، که ردیف زون‌بندی بطور مطلق یکسان نیست و تغییرات معینی برای یکایک عناصر وجود دارد. از اینرو، احتمال رخداد هر یک از عناصر در جایگاه مربوطه در ردیف، محاسبه شده است. این احتمالات به کمک ردیف زون‌بندی تک عنصری، بر مبنای نتایج بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین ذخیره، محاسبه شده است.

جایگاه کامیم در ردیف، با بکار بردن نتایج حاصل از بررسی شمار محدودی از کانسارها، تعیین گردیده، در نتیجه احتمال رخداد آن محاسبه نشده است.

احتمال حضور برخی از عناصر نسبتاً کم است. این امر به سبب تفاوت موقعیت این عناصر در ردیف زون‌بندی از کانسارها، به کانسار دیگر است. با اینهمه این تغییر مکانها قابل ملاحظه نیست (در بیشتر موارد تنها به اندازه یک یا دو مرتبه و به ندرت دو مکان و یا بیشتر). احتمال حضور ضعیف، بطور عمده ویژه عناصر اندک (آمیخته) است که در بیشتر کانسارهای بررسی شده، تشکیل هاله‌های کوچک و ضعیفی می‌دهند (نیکل، کبالت، مولیبدن و غیر اینها). این نشان می‌دهد، که کوچکی مقدار احتمال رخداد، تا اندازه‌ای، نتیجه نوسانهای موجود در مقدار زمینه این عناصر، یا نوسات موجود در توزیع دوباره عناصر و دقت نسبتاً کم روشهای تجزیه و جز اینها، می‌شود زیرا که هاله‌هایی که تباین ضعیف دارند، نسبت به اثر این گونه تداخلها حساسترند.

نمود بارز کانسارهای سامسرا<sup>۱</sup> و ترکسای<sup>۲</sup> موقعیت غیرعادی مس در ردیف زون‌بندی است. در این کانسارها، برخلاف سایر کانسارها، هاله مس مکان بالاتری را در ردیف زون‌بندی داراست. بدین معنی که از سرب و نقره بالاتر قرار می‌گیرد (جدول ۳۰). مس در کانسارها و هاله‌های این کانسارها بطور عمده به شکل تتراهدردر است. در مواردی که مس بشکل کالکوپریت حضور می‌یابد، موقعیت سمت راست را در ردیف زون‌بندی (پس از روی) اشغال می‌کند. این دانسته‌ها وجود یک زون‌بندی معدنی (کانی) را در هاله‌های نخستین نشان می‌دهد. این زون‌بندی به علت دگرسانی فضایی کانیهای گوناگونی است، که حمل‌کننده عناصر یکسان است.

به احتمال زیاد زون‌بندی معدنی همانندی، مسئول رفتار ویژه آرسنیک در کانسار طلا (شکل ۲۴) و ذخایر چندعنصری (شکل ۲۸) است. هاله‌های قوی تشکیل شده بوسیله این عنصر (آرسنیک)، هم در بخش بالایی افق معدنی، و هم در افقهای زیرین که در آنجا توده‌های معدنی نازک می‌شوند، یافت شده است. شاید بتوان این حالت را از راه پیدایش آرسنوپریت در ژرفای بیشتر، و وجود آرسنیک در افقهای بالایی به صورت بخشی از ساختار تتراهدردر و نیز گالن و اسفالریت، توجیه کرد. مقدار آرسنیک در این کانیها به صدم و حتی چند دهم درصد می‌رسد.

اعتبار این مطلب با نتایج حاصل از بررسی هاله‌های ثبت شده در کانسار (سامسرا) تأیید می‌گردد، که بطور کلی تهی از آرسنوپریت است. در حالیکه کانه مس دارای آرسنیک (تانتیت) فراوانی است. بدین سبب هاله‌های قوی و پهنی که بوسیله آرسنیک تشکیل شده، در این کانسار تنها در بخشهای بالایی (فوق کانه‌ای) زون‌های فلزدار ثبت شده است.

این دانسته‌ها نشان می‌دهد که ردیف استاندارد عناصر شاخص زون‌بندی بررسی شده در بالا، تنها در مورد کانسارهایی معتبر است که در آنها شکل پیدایش عناصر، پایدار و ثابت باشد، یا کانسارهایی که بوسیله کانیهای با توزیع فضایی یکسان، مشخص می‌شوند. در مواردی که عناصر با شکلهای کانی شناسی مختلف در هاله‌ها تجلی می‌کنند، یک عنصر ویژه، ممکن است در ردیف زون‌بندی، موقعیتهای مختلفی را اشغال نماید، همانند آنچه در بالا در مثالهای مس و آرسنیک بدان اشاره شد.

با اینهمه روشن است، که وجود شکلهای مختلف کانی یک عنصر ویژه در هاله، همیشه سبب تغییر شایان توجه موقعیت این عنصر در ردیف زون‌بندی نمی‌شود. تغییر در ردیف زون‌بندی ممکن است تنها هنگامی رخ دهد، که فراوانی توزیع شکلهای کانی، تفریق فضایی شدیدی را نشان دهد. برای مثال، در برخی هاله‌ها (و نیز در کانه‌ها) در شماری از کانسارها، افزون بر گالن، شکلهای دیگری از ترکیبات سرب (سولفاتهای مختلف) نیز کشف شده است. با این همه، ثابت شده است، مقادیر این کانیها، در مقایسه با کانیهای گالن، ناچیز است. بنابراین در مورد سرب، هیچ‌گونه تغییر مکانی در ردیف زون‌بندی رخ نمی‌دهد. ولی در مواردی که مقادیر همانندی از شکلهای کانی شناسی «رقابت‌کننده» موجود باشد، ردیف زون‌بندی ممکن است تغییر مکان درخور ملاحظه‌ای را (همچنانکه در مثالهای بالا نشان داده شده است) به نمایش بگذارد. به این دلیل در بررسی زون‌بندی هاله‌ای و بررسی ردیف این زون‌بندی که اساس آنست طبیعت کمی زون‌بندی کانی، نه طبیعت کیفی آن، مد نظر قرار می‌گیرد.

اکنون که زون‌بندی کانی (معدنی) مورد بحث در بالا معیار قرار گرفته است. سری زون‌بندی استاندارد عناصر شاخص به صورت زیر بیان می‌شود:

(Sb, As<sub>1</sub>, Hg) - Cu<sub>1</sub>- Cd- Ag- Pb- Zn- Sn<sub>1</sub>- Au- Cu<sub>2</sub> - Bi- Ni- Co-

Mo- U- Sn<sub>2</sub> - As<sub>2</sub> - Be- W

مسلماً، مثالهایی از تفریق فضایی عناصر بر حسب شکلهای کانی بوجود آمده، تنها به موارد اشاره شده در بالا محدود نمی‌شود. بررسیهای بیشتر، امکان آشکار ساختن جلوه‌های دیگری از زون‌بندی کانی (معدنی) را فراهم می‌سازد، که کمک به آرایش و گسترش ردیف زون‌بندی عنصر استاندارد موجود می‌نماید.

زون‌بندی هاله‌ای عبارتست از زون‌بندی ته‌نشست مواد، که بوسیله تغییرات تعادل درونی یک محلول کانه‌ساز ایجاد می‌شود (اوپچینیکوف<sup>۱</sup> و گریگوریان<sup>۱۹۷۰</sup>).

میان زون‌بندی تعمیم یافته یاد شده در بالا، در توزیع عناصر، و پایداری کمپلکسهای بوجود آمده در محلول، یک همبستگی وجود دارد. پایداری نسبی ترمودینامیکی کمپلکس‌های سولفور، که بوسیله فلزات مختلف تشکیل شده‌اند، بوسیله بارتر<sup>۲</sup> و سازمانسکی<sup>۳</sup> (۱۹۷۰) محاسبه شده است. این پایداریها بر حسب واحدهای اختیاری بیان می‌شود (همه کمپلکس‌ها از یک نوع سولفور است).

Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	Sn	Ni	Co
۲۲۷	۱۵۶	۱۵۴	۱۳۴	۱۳۲	۱۲۶	۸۳	۸۱

1- Ovchinnikov

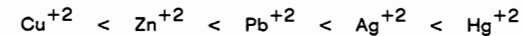
2- Barnes

3- Czamanske

1- Sumsar

2-Tereksai

در حالیکه پایداری کمپلکس‌های کلریدی در ۲۵ درجه سانتیگراد، بر طبق اظهارات هلگسون<sup>۱</sup> (۱۹۶۷) عبارتست از:



انطباق عناصر سری بالا با ردیف زون‌بندی استاندارد، نشان می‌دهد، یکی از عوامل اصلی عهده‌دار زون‌بندی ژئوشیمیایی هاله‌های نخستین، پایداری ترکیباتی است که عناصر شیمیایی بوسله آنها در محلولهای کانه‌دار حمل و نقل می‌شود.

زون‌بندی در هاله‌های نخستین، تا اندازه‌ای، علت تشکیل مرحله به مرحله کانسارهای گرمابی را تشریح می‌کند. همه کانسارهایی که تاکنون بررسی شده خاستگاه چند مرحله‌ای دارند. مراحل مختلف ممکن است (گاهی، واقعاً چنین است) بوسیله عناصر شاخص ویژه، مشخص شوند. با اینهمه، هاله‌های آنها زون‌بندی قائم واحدی را نشان می‌دهد. این امر دلالت بر آن دارد که مراحل تشکیل هر یک از ذخایر کانساری مورد بحث، احتمالاً از نظر زمانی تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارد. بنابراین، دگرسانی همراه با مراحل کانی‌سازی، بیشتر نتیجه یک تفریق فضایی است، که به طور مستمر از یک محلول کانه‌ساز تولید می‌شود، نه تفریق زمانی. تقاطع (همپوشانی) دوجانبه، موجود میان فرآورده‌های مراحل مختلف کانی‌سازی، ممکن است، به علت حرکات میان کانه‌هایی باشد، که در بخشهای مختلف گستره فلزدار پدید می‌آیند (اوجینیکوف و گریگوریان ۱۹۷۰).

در برخی موارد، زون‌بندی در هاله‌ها بهم خورده و آشفته می‌شود. (خارج از ردیف). این پدیده را می‌توان از طریق تلفیق فضائی دو یا چند سازند معدنی که دارای ترکیب متفاوتند، توضیح داد. چنین هاله‌هایی را به اصطلاح هاله‌های چند سازندی می‌نامند که از این پس به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرند.

زون‌بندی‌های عرضی در هاله‌های نخستین، تفاوت خود را در جهت عمود بر امتداد توده‌های معدنی نشان می‌دهد. این نوع زون‌بندی بستگی به غلظت عناصر در توده‌های معدنی و هاله‌ها، قابلیت پویایی عناصر و نیز به مقادیر زمینه عناصر در سنگهای درونگیر دارد. این مطلب در جدول مربوط (شکل ۵) به توزیع عناصر پیرامون توده‌های معدنی (عمود بر امتداد توده معدنی) که در بالا آمده است، نشان داده می‌شود. همچنین جدول ۳۱ ردیف زون‌بندی عرضی در هاله‌های نخستینی را ارائه می‌دهد، که در کانسارهای با ترکیبات مختلف تشکیل شده است. عناصر در ردیفها، به ترتیب کاهش هاله‌های آنها در ترازهای بالائی توده‌های معدنی یا نزدیک به سطح، ارائه می‌شوند.

از جدول ۳۱ چنین استنباط می‌شود، که زون‌بندی‌های عرضی، که به ترکیب کانسنگ بستگی دارد، و بر خلاف زون‌بندی قائم (و یا محوری) که برای ذخیره‌های با ترکیب مختلف همسان است، در مورد هر ذخیره نمودهای ویژه‌ای دارد. معمولاً اولین مکان در ردیف را عناصری اشغال می‌کند، که اجزاء اصلی سازنده کانسنگ اقتصادی است.

1- Helgeson

### جدول ۳۱- زون‌بندی عرضی در هاله‌های نخستین

ذخیره	ردیف عنصری
سرب - روی در اسکارنها	باریم - روی - سرب - آرسنیک - نقره - مس - آنتیموان
سرب - روی رگه‌ای	سرب - باریم - روی - نقره - مس - آرسنیک - کبالت
شیلیت در اسکارنها	تنگستن - مولیبدن - مس - باریم - روی - سرب
کانسنگ طلا در کوارتز	طلا - آرسنیک - بیسموت - نقره - سرب - آنتیموان - مس - بریلیم - مولیبدن - کبالت - روی
مس پرفیری	طلا - مس - مولیبدن - نقره - آرسنیک - آنتیموان
مس - بیسموت	مس - بیسموت - سرب - نقره - آرسنیک - باریم - روی - کبالت
اورانیم	اورانیم - مولیبدن - سرب - مس - روی - نقره - جیوه - آرسنیک - باریم - مس - سرب - روی - نیکل - نقره - کبالت
جیوه	جیوه - آرسنیک - باریم - مس - سرب - روی - نیکل - نقره - کبالت
مس - مولیبدن	مس - مولیبدن - روی - سرب - کبالت - نیکل - قلع - بریلیم - تنگستن - بیسموت - آرسنیک - باریم - نقره
سولفید - کاسیتريت	قلع - نقره - روی - سرب - مس - مولیبدن
سرب - روی استراتیفرم	نقره - سرب - مس - آرسنیک - باریم - کبالت - روی - نیکل

این بستگی عرضی هاله به ترکیب کانسنگ، کاربرد زون‌بندی عرضی را بعنوان معیاری در تعیین ترکیب کانی‌سازهای ناپیدا، امکان‌پذیر می‌سازد. ردیفهای زون‌بندی عرضی را که بر مبنای سنجش مقادیر میانگین و بر حسب واحد میانگین مقدار زمینه بیان می‌شود، نیز می‌توان برای رسیدن به این هدف بکار برد. این ردیفها با آنچه در جدول ۳۱ ارائه شده، تفاوت چندانی ندارد. در مواردی که، به عللی، نتوان پهنای هاله‌ها را تعیین نمود، می‌توان این ردیفها را بکار برد (برای مثال هنگامیکه هاله‌ها به علت محدود بودن نمونه‌برداری کاملاً مشخص نشده باشند).

زون‌بندی طولی می‌تواند تغییرات منظم پارامترهای یک هاله به موازات امتداد زون فلزدار می‌باشد، و شامل هاله‌هایی است، که در توده‌های معدنی و نیز در مجاورت آنها تشکیل می‌یابد. در این راستا عناصر، تفریق مشخصی را نشان می‌دهند که بر زون‌بندی محوری منطبق است. زون‌بندی طولی همچنین حرکت محلولها را در سطح (تصویر افقی) زون‌های فلزدار منعکس می‌کند.

شکل ۳۹ زون‌بندی ژئوشیمیایی طولی را در ساختمان هاله‌های نخستین نشان می‌دهد. خطوط تراز (هم‌گشتی) تغییرات بارآوری (قدرت تولید) خطی هاله‌ها را نشان می‌دهد. بارآوریهای خطی با استفاده از دانسته‌های حاصل از گمانه‌ها، تونلهایی که زون فلزدار را قطع می‌کنند و همچنین نمونه‌برداری سطحی از



شده‌اند، در شکل ۴۱ نشان داده شده است. در این شکل می‌توان دید که (در نقشه)، هاله‌های اورانیم و مولیدین، به روشنی، نسبت به هاله‌های تشکیل شده بوسیله عناصری که تیومورف کانی‌سازی مس-بیس‌موت است، به سمت شمال تغییر مکان یافته است.

هاله‌های چند سازندی بوسیله وجود همبستگی ویژه میان مقادیر برخی از عناصر شاخص، مشخص می‌شوند. این همبستگی معمولاً میان مقادیر عناصری که تیومورف کانی‌سازیهایی مختلفند، یک همبستگی منفی است، ولی در هاله‌های در ارتباط با کانی‌سازی‌های منفرد، اساساً همبستگی مثبت است. جدول ۳۲ مقادیر ضریب همبستگی رتبه‌ای مقادیر عناصر در هاله‌های چند سازندی را ارائه می‌دهد، که در نتیجه رونهاد اورانیم بر کانی‌سازی چندعنصری، تشکیل شده است.

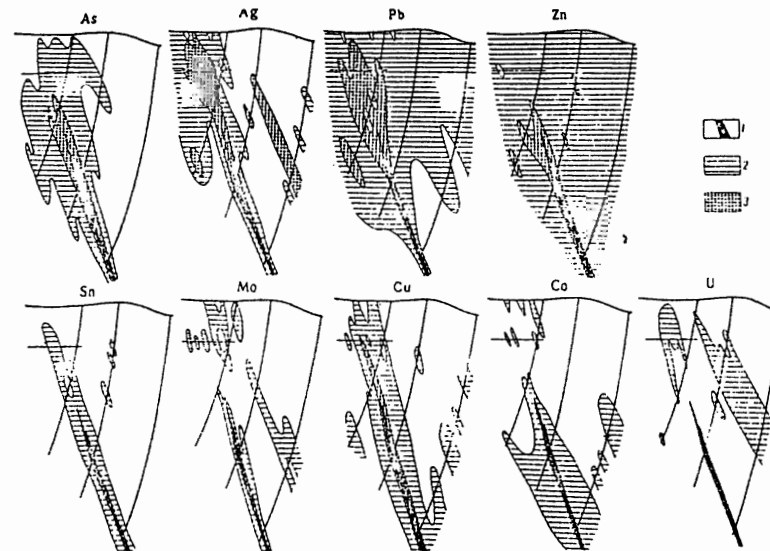
همبستگی منفی میان مقادیر اورانیم و عناصر شاخص کانی‌سازی چندعنصری، احتمالاً به دلیل وجود مسیرهای مختلف ورودی محلولهای کانه‌دار در خلال تشکیل توده‌های معدنی مربوطه و هاله‌هایشان می‌باشد. این مطلب در شکل ۴۲ که منحنی‌های توزیع سرب (مثالی از کانی‌سازی پلی‌متالیک) و اورانیم (مثالی از کانی‌سازی اورانیم) با دور شدن از یکدیگر، که مبین وجود مجاری مختلف برای جریان محلولهای کانه‌دار در خلال تشکیل هاله‌هاست، نشان داده شده است.

در برخی موارد، هاله‌های چند سازندی در نتیجه دگرسانی قائم توده‌های معدنی و ذخایر متعلق به سازندهای معدنی مختلف، تشکیل می‌شوند. کانسار شورال (تاجیکستان) مثالی از این اثر است. در این کانسار کانی‌سازی فلزات کمیاب جایگزین کانی‌سازی پلی‌متالیک در ژرفا می‌شود (شلیت - مولیدینت).

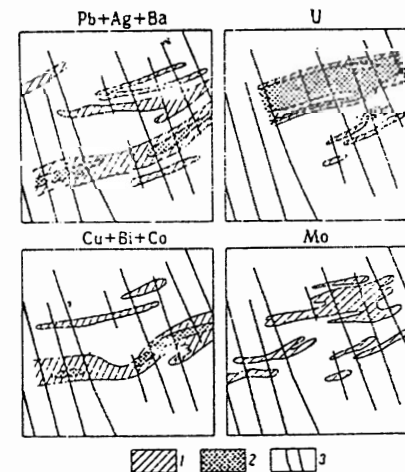
جدول ۳۲- ضرایب همبستگی متوالی (ردیفی) مقادیر عناصر شیمیایی در هاله‌های چندسازندی

هاله‌ها در کانی‌سازی اورانیم	جفت عناصر شیمیایی	هاله‌ها در کانی‌سازی پلی‌متالیک		جفت عناصر شیمیایی
		گمانه ۳۰۹	گمانه ۳۱۸	
گمانه ۳۰۹	گمانه ۳۱۸	گمانه ۳۰۹	گمانه ۳۱۸	سرب - روی
-۰/۷۴	اورانیم - روی	+۰/۰۵۴	+۰/۰۶۹	سرب - نقره
-۰/۱۱۰۰	اورانیم - نقره	+۰/۰۶۴	+۰/۰۷۲	سرب - مس
۰/۱۴۰۰	اورانیم - مس*	+۰/۰۶۵	+۰/۰۹۵	

\*- ضریب همبستگی مقادیر مس و اورانیم برای گمانه ۳۱۸ قابل اندازه‌گیری نبوده است، زیرا هاله‌های تشکیل شده بوسیله این عناصر انطباق فضایی ندارند.  
 \*\*- همبستگی معنی‌دار نیست (سطح معنی‌دار بودن ۵٪).



شکل ۴۰- هاله‌های نخستین پیرامون توده‌های معدنی یک ذخیره. ۱- توده معدنی، ۲- محدوده ناهنجاری اول، ۳- محدوده ناهنجاری دوم.



شکل ۴۱- هاله‌های نخستین تشکیل شده بوسیله عناصر شاخص در سطح (بر پایه شکل ۴۰).  
 ۱- حاصل جمع عناصر، معادل ۶ تا ۲۰ واحد زمینه: ۰/۰۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۰۱٪، اورانیم، ۰/۰۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۰۱٪، مولیدین، ۲- حاصل جمع عناصر معادل ۲۰ واحد زمینه یا بیشتر، ۰/۰۰۰۰۱ و ۰/۰۰۰۰۱٪ اورانیم، ۳- پروفیل‌های نمونه برداری شده.

شده‌اند، در شکل ۴۱ نشان داده شده است. در این شکل می‌توان دید که (در نقشه)، هاله‌های اورانیم و مولیبدن، به روشنی، نسبت به هاله‌های تشکیل شده بوسیله عناصری که تیپومورف کانی‌سازی مس-بیسموت است، به سمت شمال تغییر مکان یافته است.

هاله‌های چند سازندی بوسیله وجود همبستگی ویژه میان مقادیر برخی از عناصر شاخص، مشخص می‌شوند. این همبستگی معمولاً میان مقادیر عناصری که تیپومورف کانی‌سازیهای مختلفند، یک همبستگی منفی است، ولی در هاله‌های در ارتباط با کانی‌سازی‌های منفرد، اساساً همبستگی مثبت است. جدول ۳۲ مقادیر ضریب همبستگی رتبه‌ای مقادیر عناصر در هاله‌های چند سازندی را ارائه می‌دهد، که در نتیجه رونهاد اورانیم بر کانی‌سازی چندعنصری، تشکیل شده است.

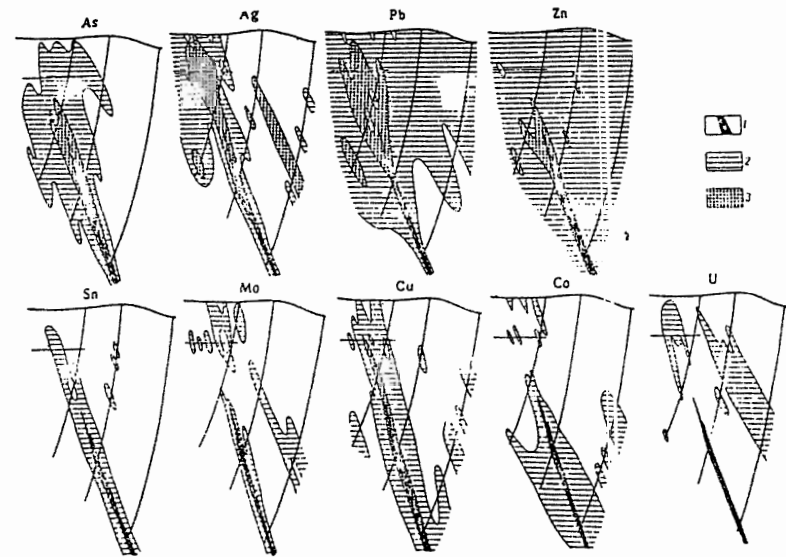
همبستگی منفی میان مقادیر اورانیم و عناصر شاخص کانی‌سازی چندعنصری، احتمالاً به دلیل وجود مسیرهای مختلف ورودی محلولهای کانه‌دار در خلال تشکیل توده‌های معدنی مربوطه و هاله‌هایشان می‌باشد. این مطلب در شکل ۴۲ که منحنی‌های توزیع سرب (مثالی از کانی‌سازی پلی‌متالیک) و اورانیم (مثالی از کانی‌سازی اورانیم) با دور شدن از یکدیگر، که مبین وجود مجاری مختلف برای جریان محلولهای کانه‌دار در خلال تشکیل هاله‌هاست، نشان داده شده است.

در برخی موارد، هاله‌های چند سازندی در نتیجه دگرسانی قائم توده‌های معدنی و ذخایر متعلق به سازندهای معدنی مختلف، تشکیل می‌شوند. کانسار شورال (تاجیکستان) مثالی از این اثر است. در این کانسار کانی‌سازی فلزات کمیاب جایگزین کانی‌سازی پلی‌متالیک در ژرفا می‌شود (شیلیت - مولیدنیت).

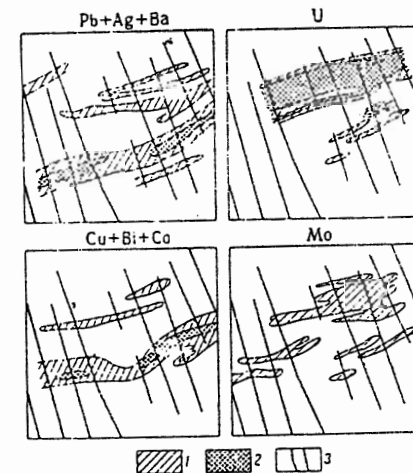
جدول ۳۲- ضرایب همبستگی متوالی (ردیفی) مقادیر عناصر شیمیایی در هاله‌های چندسازندی

جفت عناصر شیمیایی	هاله‌ها در کانی‌سازی پلی‌متالیک		جفت عناصر شیمیایی
	گمانه ۳۰۹	گمانه ۳۱۸	
سرب - روی	+۰/۵۴	+۰/۰۶۹	اورانیم - روی
سرب - تفره	+۰/۶۴	+۰/۷۲	اورانیم - تفره
سرب - مس	+۰/۶۵	+۰/۹۵	اورانیم - مس

\* - ضریب همبستگی مقادیر مس و اورانیم برای گمانه ۳۱۸ قابل اندازه‌گیری نبوده است، زیرا هاله‌های تشکیل شده بوسیله این عناصر انطباق فضایی ندارند.  
 \*\* - همبستگی معنی‌دار نیست (سطح معنی‌دار بودن ۵٪).



شکل ۴۰. هاله‌های ناستیر، پیرامون توده‌های معدنی یک ذخیره. ۱- توده معدنی، ۲- رود، ناهنجاری اول، ۳- محدوده ناهنجاری دوم.

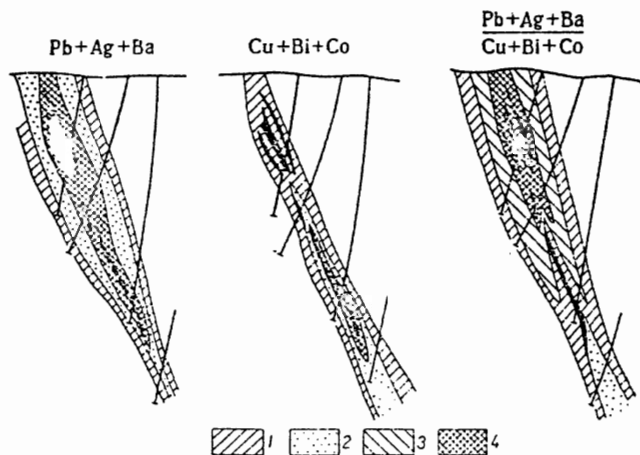


شکل ۴۱. هاله‌های ناستیر، تشکیل شده بوسیله عناصر شاخص در سطح (بر پایه شکل ۴۰).  
 ۱- حاصل جمع عناصر، مدادل ۶ تا ۲۰ واحد زمینه: ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۰۱٪، اورانیم، ۰/۰۰۰۵ تا ۰/۰۰۱٪، مولیبدن، ۲- حاصل مع عناصر معادل ۲۰ واحد زمینه یا بیشتر، ۰/۰۰۰۱ و ۰/۰۰۱٪ اورانیم، ۳- پروفیل‌های نمونه‌برداری شده.

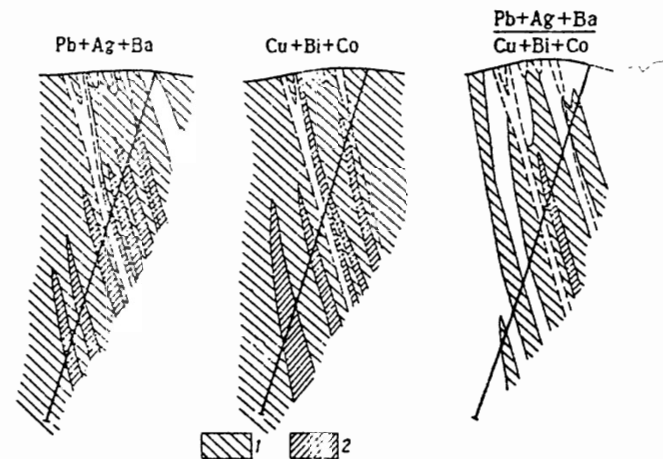








در شکل ۴۴- می‌توان دید که ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، در مقطع عرضی همه عناصر شاخص تیومورف کانسارهای پلی‌متالیک، در ناحیه مورد بررسی، دیده می‌شود. زون‌های فلزدار اصلی بر خلاف هاله‌های کانی‌سازی‌های اقتصادی، بوسیله میدانهایی با حداکثر تمرکز عناصر شاخص، مشخص نمی‌شوند (شکل ۴۴). این نمود، بویژه در ساختار ناهنجاری جمعی (افزایشی) مرکب آشکار می‌گردد (شکل ۴۵). دیگر نمود ویژه ناهنجاریها در مقطع مورد بررسی، نبود زون‌بندی قائم است. هیچ‌گونه تفریق درخور توجهی در توزیع عناصر، در بالا و پایین توده‌های معدنی، دیده نمی‌شود.



شکل ۴۶. هاله‌های نخستین و حوزه (میدان) مقادیر اندیس جمعی (افزایشی) آنها، پیرامون توده‌های معدنی کانسارکانی منصور خاوری.

مقدار بر حسب واحد زمینه: ۱.  $Pb+Ag+Ba$  ۶ تا ۲۰،  $Co+Bi+Cu$  ۶ تا ۲۰، نسبت‌های آنها ۱/۱ تا ۱/۰،  
 ۲.  $Pb+Ag+Ba$  ۲۰ تا ۱۰۰،  $Co+Bi+Cu$  ۲۰ تا ۱۰۰، نسبت‌هایشان ۱ تا ۳، ۳. نسبت عنصر ۳ تا ۱۰،  
 ۴.  $Pb+Ag+Ba$  بیشتر از ۱۰۰،  $Co+Bi+Cu$  بیشتر از ۱۰۰، نسبت‌های آنها، ۱۰ تا ۵۰.

شکل ۴۵. ناهنجاریهای جمعی (افزایشی) در زون کانی‌سازی پراکنده آثار معدنی قزلتاش - کوکچه‌گیر تک. ۱ و ۲- کل مقادیر عناصر و نسبت‌های آنها (۶.۱ تا ۲۰ واحد زمینه، ۱ تا ۵:۲. بیش از ۲۰ واحد زمینه، بیشتر از ۵).

تفاوت میان زون‌های کانی‌سازی پلی‌متالیک (غیراقتصادی) پراکنده و هاله‌های کانی‌سازی اقتصادی، بر حسب نمودهای زون‌بندی آنها و بوسیله نتایج محاسبه شده، تایید و ثابت شده است. جدول ۳۳ مقادیر نسبت‌های بارآوری (قدرت تولید) خطی هر یک از ناهنجاریهای عناصر شاخص، در گستره‌ای واقع در ناحیه قزلتاش - کوکچه‌گیر تک را ارائه می‌دهد. این پارامتر برای سه تراز محاسبه شده است: ۱۴۹۰ متر (سطح)، ۱۴۰۰ متر (بخش بالایی گمانه) و ۱۳۳۰ متر (بخش پایینی گمانه). این جدول، همچنین دانسته‌هایی در باره ناحیه‌ای از زون «اوپریا یوشچایا»<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد (شکل ۴۷)، که کانی‌سازی افشان را مشخص می‌نماید. برای ناحیه دوم (زون «اوپریا یوشچایا»)، محاسبات در دو تراز انجام شده است (سطح و گمانه). در جدول ۳۳ می‌توان دید که تغییرات این پارامتر با ژرفای زیاد نیست (در حدود دقت محاسبات)، این نشان‌دهنده آن است که در توزیع کانی‌سازی پراکنده، زون‌بندی قائم آشکاری وجود ندارد. همچنین مشخص شده است که هر یک از مقاطع مورد بررسی در گستره کانی‌سازی پراکنده، منطبق است با هاله‌های ژئوشیمیایی نخستینی در بخش‌های پایینی کانی‌سازی اقتصادی تشکیل شده است. این نتیجه‌گیری بر اساس مقادیر مطلق نسبت‌های شاخص می‌باشد (جدول ۳۳).

افزون بر این، در ساختمان هاله‌های افزایشی (شکل ۴۵)، زون‌بندی قائم وجود ندارد. همچنین در ساختمان هاله‌های مشخص شده بر پایه مقادیر اندیس جمعی (اندیس افزایشی) آنها (نسبت‌ها برای هر نمونه) بر حسب واحد زمینه عناصر موجود در بالا و پائین توده‌های معدنی، هیچ‌گونه زون‌بندی قائمی، یافت نشده است.

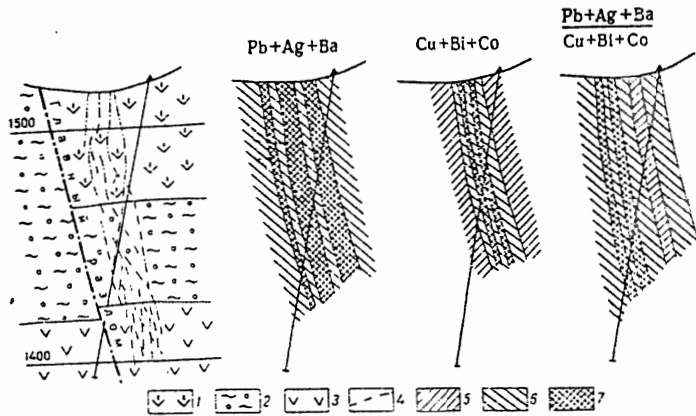
بر خلاف زون‌هایی که در گستره کانی‌سازی (غیراقتصادی) پراکنده جای گرفته‌اند، در هاله‌هایی که در مجاورت کانی‌سازی اقتصادی متمرکز، تشکیل می‌شود، همیشه زون‌بندی قائم آشکاری وجود دارد (شکل‌های ۲۸ و ۲۹ دیده شود).

شکل ۴۶، هاله‌های ژئوشیمیایی جمعی پیرامون توده‌های معدنی، در کانسار پلی‌متالیک کانی منصور خاوری، (کرم‌زار مرکزی) را نشان می‌دهد. از شکل ۴۶ چنین نتیجه می‌شود که در ساختار تک‌تک هاله‌های جمعی، زون‌بندی آشکاری وجود دارد. این زون‌بندی را با کمک اندیس جمعی (افزایشی) نیز می‌توان آشکار ساخت.

1- Opeyayushchaya

جدول ۳۳- نسبت بارآوری خطی ناهنجاریهای افزایشی (جمعی)

نوع ناهنجاری	ناحیه	موقعیت ناهنجاری	نسبت بارآوریهای خطی $\frac{Ba+Ag+Pb}{Cu+Bi+Co}$
زونهای کانی سازی افشان	آثار معدنی کوگچه گیر	سطح (افق ۱۴۹۰ متر) گمانه ۸۷۳ (افق ۱۴۰۰ متر) گمانه ۸۷۳ (افق ۱۳۳۰ متر)	۱/۲ ۱/۳ ۰/۹
هاله‌های نخ تیز در تراز بخش پایینی کانی‌آزی اقتصادی	ذخیره‌ها کپترخونا کانی منصور تاریکان	سطح (افق ۱۴۵۰ متر) گمانه ۸۸۵ (افق ۱۳۵۰ متر) سطح (افق ۱۵۵۰ متر) گمانه ۶۵۹ گمانه ۷۹	۱/۷ ۲/۲ ۱/۴ ۱/۱ ۰/۸۱



شکل ۴۷- ناهنجاریهای جمعی (افزایشی) در مقطع عرضی کانی‌سازی پراکنده. (زون «اوپریایوشچایا»):  
۱- کوارتز پرفیری، ۲- پرفیرهای اسفرولیتی، ۳- پرفیر اندزیتی، ۴- زون شکستگی، ۵ تا ۷- مقادیر افزایشی عناصر (بر حسب واحد زمینه) و نسبت‌های آنها (۶.۵ تا ۲۰، ۱/۱ تا ۰/۵، ۰.۶ تا ۲۰، ۰/۵ تا ۰/۱، ۰/۵ تا ۰/۶، ۰/۳ تا ۰/۵، ۰/۵ تا ۱/۵).

کانی‌سازی اقتصادی نشان داده می‌شود، تفاوت دارد، بویژه با نزدیک شدن به مرکز ناهنجاری، افزایش آشکاری در اندیس جمعی (افزایشی)، دیده نمی‌شود.

در زون‌های کانی‌سازی پراکنده‌ای که همراه با کانسارهایی است که از نظر ترکیب و محیط‌های تشکیل متفاوتند (قلع، طلا، جیوه و جز اینها)، نموده‌های همانندی یافت شده است.

شکل ۴۸، تغییراتی را در اندیس ضربی (چندبارگی) نشان می‌دهد، که برای گروه‌هایی از عناصر واقع در بالای توده معدنی (Ag, As, Hg, Sb) و در زیر توده معدنی (Zn, W, Bi, Cu) در مقطعی محاسبه شده است، که ذخیره واقع در ناحیه چال بویی<sup>۱</sup> را قطع می‌کند (زون کانی‌سازی پراکنده جیوه). اندیس ضربی عبارت از نسبت حاصل ضرب مقادیر عناصری است، که در زیر و بالای ذخیره معدنی وجود دارند و این اندیس برای همه نمونه‌ها، محاسبه شده است. پژوهش‌های ویژه نشان داده است که بررسی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی به کمک اندیسهای ضربی و افزایشی، نتایج همانندی بدست می‌دهد. با وجود این، اندیس ضربی برتری دارد، زیرا در تعیین مقدار آن نیازی به نرمالیزه کردن مقادیر عناصر بر حسب مقادیر زمینه نیست.

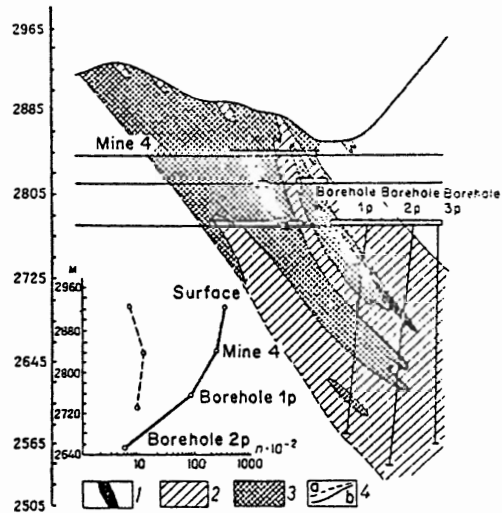
در شکل ۴۸ می‌توان ملاحظه نمود که در مقطع عرضی، زون‌بندی قائم مشخصی وجود ندارد (به کمک اندیس جمعی نیز، دانسته‌های همانندی بدست آمده است). برعکس، در هاله‌هایی که با همان نوع کانی‌سازی اقتصادی جیوه همراه است، زون‌بندی قائم آشکاری مشاهده می‌شود. بطوریکه در شکل ۴۹ نشان داده شده است، اندیس ضربی در مقطعی که توده‌های معدنی اقتصادی را در کانسار کونچوک<sup>۲</sup> قطع می‌کند تغییری می‌یابد.

در صورتی که ناهنجاریها بر اساس مقادیر اندیس جمعی بنا شوند، می‌توان تفاوت‌های قابل توجهی را میان زون‌های کانی‌آزی پراکنده از یک سو، و هاله‌های کانی‌سازی اقتصادی از سوی دیگر، آشکار ساخت. اندیس جمعی عبارتست از نسبت مقادیر جمعی (افزایشی) عناصر شاخص (بر حسب واحد زمینه ژئوشیمیایی)، که برای هر یک از نمونه‌ها محاسبه شده است. عناصری که گرایش به تمرکز در هاله‌های روی کانه (سطحی) دارند، برای صورت کسر و عناصری که گرایش به تمرکز در زیر کانه دارند، برای مخرج کسر انتخاب شده‌اند. شکل ۴۶ ناهنجاریهایی را نشان می‌دهد، که بوسیله خطوط تراز در بخشی که یکی از کانی‌سازی‌ها؛ اقتصادی در کانسار کانی منصور خاوری را قطع می‌کند، ترسیم شده است. مقادیر حداکثر اندیس جمعی (افزایشی)، توده معدنی را مشخص می‌کند. همچنانکه از این توده‌ها به سوی فرودپواره (کمر پایین) و فرادیور (کمر بالا) در مقطع عرضی پیش می‌رویم، مقدار این اندیس بطور منظم، کاهش می‌یابد، که این کاهش خود، به زون‌بندی عرضی متباین در ساختمان هاله‌های مجاور توده معدنی می‌انجامد. افزون بر زون‌بندی عرضی، در اینجا، زون‌بندی قائم نیز ملاحظه می‌شود که در شکل ۴۶ به صورت تغییر مکان آشکاری در محدوده حداکثر اندیس جمعی در مقطع عرضی از پایین تا انتهای آن، بیان می‌شود.

این الگو در زون‌های کانی‌سازی پراکنده متفاوت است. چنانکه در شکل‌های ۴۵ و ۴۷ دیده می‌شود، نشانه‌ای از زون‌بندی قائم وجود ندارد. زون‌بندی عرضی آنها با زون‌بندی‌ای که بوسیله هاله‌های معرف

1- Chalboi

2- Konchoch



شکل ۴۹- تغییرات اندیس ضریبی در مقطع عرضی، و نمودارهای نسبت بارآوری خطی یکایک نسبتهای ضریبی (از کانسار کوچوک).

۱- توده معدنی، ۲ و ۳- مقادیر اندیس ضریبی (۲-۱ تا ۱۰۰، ۳- بیش از ۱۰۰)، ۴- نمودار تغییرات بارآوری خطی ناهنجاریهای ضریبی (a- گستره چال بویی، b- کانسار کوچوک).

اگر دانسته‌های موجود تنها مربوط به یک تراز باشد، در آنصورت محل ناهنجاریهایی که بوسیله زون‌های کانی‌سازی پراکنده معرفی شده، ممکن است بر پایه طبیعت زون‌بندی افقی که خود به کمک اندیسهای جمعی یا ضریبی آشکار شده، تعیین گردد. زون‌های کانی‌سازی پراکنده، به سبب نداشتن زون‌بندی افقی آشکار، با هاله‌های معرف کانی‌سازی اقتصادی، تفاوت دارند.

در تفسیر ناهنجاریهایی که در نتیجه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی پیدا شده است، اشتباه بسیار بزرگ و جدی اینست که زون‌های کانی‌سازی پراکنده، بعنوان هاله‌های ژئوشیمیایی تشکیل شده در بالای یک توده معدنی طبقه‌بندی گردد و چنین نتیجه‌گیری شود که این زون برای پیدایش کانی‌سازی اقتصادی ناپیدا یا کمی

فرسایش یافته، که بایستی مورد بررسیهای بیشتری قرار گیرد، امیدبخش است. اگر کانی‌سازی پراکنده به اشتباه ۱ به عنوان هاله‌ای در زیر توده معدنی طبقه‌بندی گردد، موجب اشتباه در ارزیابی ذخایر بالقوه آن نمی‌شود، زیرا این شاخصها هر دو غیر امیدبخش ارزیابی شده، و در هیچیک از عملیات اکتشافی تعقیبی بحساب نیامده‌اند.

افزون بر اینها امکان بروز اشتباه دیگری نیز در ارزیابی زون‌های کانی‌سازی پراکنده وجود دارد. این زون‌ها ممکن است، به عنوان هاله‌های تشکیل شده در تراز واقع در کانی‌سازی اقتصادی بحساب آیند. احتمال این گونه خطا کمتر است، زیرا در چنین مواردی بایستی بروزردهایی از گانه‌های اقتصادی در سطح موجود باشد، در حالیکه چنین بروزردهایی در زون‌های کانی‌سازی پراکنده وجود ندارد.



شکل ۴۸- تغییرات مقادیر نسبت ضریبی (چندبارگی) عناصر موجود در بالای توده معدنی (Ag, As, Hg, Sb)، به عناصری که در پایین توده معدنی وجود دارند (Zn, W, Bi, Cu)، که مشخص‌کننده کانسار جیوه (چال بویی) است. ۱- گسل، ۲ و ۳- مقادیر مطلق نسبتهای ضریبی (۲-۰/۰۰۱ تا ۰/۱، ۳- ۰/۱ یا بیشتر).

همچنین در شکل ۴۹ نمودارهای تغییرات نسبت بارآوریهای خطی یکایک هاله‌های ضریبی (چندبارگی) مربوط به کانی‌سازی اقتصادی، با ژرفا (در امتداد مقطعی از میان کانسار کوچوک) و در زون کانی‌سازی پراکنده (ناحیه چال بویی) نشان داده شده است. این نمودارها الگوهایی را که با مثالهایی بر پایه کانسارهای پلی‌متالیک، تعیین شده‌اند، تأیید می‌نمایند. در ساختار هاله‌های تشکیل شده در مجاورت کانی‌سازی اقتصادی، زون‌بندی قائم مشخصی وجود دارد (نمودار مقادیر نسبت شاخص، بطور یکنواخت با افزایش ژرفا کاهش می‌یابد). این نوع زون‌بندی، عملاً، در زون‌هایی با کانی‌سازی پراکنده وجود ندارد. در این مورد نیز زون‌های کانی‌سازی پراکنده از نظر نسبتهای شاخص به ترازهای پایینی کانی‌سازی اقتصادی جیوه مربوط می‌شود.

نموده‌های ویژه یاد شده، در توزیع عناصر شاخص در زون‌های کانی‌سازی پراکنده، ممکن است، برای تفسیر نتایج حاصل از نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی (ژئوشیمی سنگ) به منظور متمایز ساختن زون‌های کانی‌سازی پراکنده، از ناهنجاریهای مربوط به هاله‌های کانی‌سازی اقتصادی، بکار رود. نبودن زون‌بندیهای آشکار، ممکن است، با تقریب اول، بعنوان چنین معیاری، بکار گرفته شود. البته به این منظور برای مشخص کردن توزیع عناصر، داده‌های کافی حاصل از حداقل دو افق، یعنی ترازهایی که گمانه‌ها یا کارگاههای زیرزمینی در آن حفر شده، لازم است.

از مطالب بالا چنین نتیجه می شود که تعبیر و تفسیر موفقیت آمیز زون های کانی سازی پراکنده، پیش از هر چیز به تعیین جزئیات معیارهای موثری نیازمند است، که امکان تمایز این گونه هاله ها را از هاله های حقیقی و اصلی که در بالای توده های معدنی با کانی سازی اقتصادی تشکیل شده، فراهم نماید.

معیارهای زیر را می توان برای شناسایی زونهای کانی سازی پراکنده ارائه نمود. این معیارها بر پایه تفاوت های ژئوشیمیایی یاد شده، میان هاله های کانی سازی اقتصادی و زون های کانی سازی (غیر اقتصادی) است.

۱- **زون بندی قائم** - این زون بندی، عملاً در زون های کانی سازی پراکنده وجود ندارد، ولی برعکس، در هاله های کانی سازی اقتصادی موجود است.

۲- **نسبت پائین بارآوری هاله های کانی سازی پراکنده نسبت به هاله های کانی سازی ناپیدا یا کمی فرسایش یافته امیبخس**، تفاوت قابل ملاحظه ای دارند (زون های کانی سازی پراکنده بوسیله مقادیر ثابت و اساساً کم نسبت های شاخص، مشخص می شوند).

۳- **زون بندی عرضی آشکار شده به کمک اندیسهای ضربی (چندبارگی) یا جمعی (افزایشی)** - در هاله های کانی سازی اقتصادی بر خلاف هاله های موجود در زون های کانی سازی پراکنده، زون های کانه دار بوسیله دسته ای از مقادیر حداکثر این اندیس ها، مشخص می شوند.

۴- **ترکیب نسبی ناهنجاریها** - هاله های کانی سازی اقتصادی و در زون های کانی سازی اقتصادی تشکیل شده، معولاً از هاله های عناصر مشخص کننده ترازهای پایین توده معدنی، تهی می باشد. این امر دلالت بر آن دارد که زون های کانی سازی پراکنده با داشتن ترکیبات عنصری ثابت، مشخص می شوند.

### معیارها و روشهای تعبیر و تفسیر هاله های ژئوشیمیایی اندوژنیک

تفسیر هر ناهنجاری ژئوشیمیایی، در ارزیابی توان معدنی آن خلاصه می شود. اثبات اینکه این مسئله بسیار پیچیده بود، و حل موفقیت آمیز آن نیازمند استفاده از تلفیق روشهای گوناگون است، لزوم چندانی ندارد. بهرجهت، این کتاب با روشهای ژئوشیمیایی سروکار دارد، از اینرو توجه ویژه به کاربرد معیارهای ژئوشیمیایی معطوف می گردد.

در زیر، پیراهن تکنیکهای تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی آشکار و حدود تعیین شده، بحث می شود، که طی نمونه برداری ژئوشیمیایی تفصیلی از سنگ بستر (در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ یا بیشتر) بدست آمده است. بهتر است برای موارد زیر روشهای تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بطور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد:

الف - جست و جوی کانی سازیهای ناپیدا.

ب - ارزیابی توان معدنی در ژرفا و مکانهایی که کانی سازی معدنی (آثار معدنی) در سطح نمایان می شود.

بطوریکه در شرح ویژگیهای ژئوشیمیایی زون های کانی سازی پراکنده یاد شده، هاله های حاصل از کانی سازی پراکنده کاملاً همانند هاله هایی است که بوسیله کانی سازی اقتصادی، در بالای توده های معدنی تشکیل می شود و ممکن است با هاله های فوق کانه ای معرّف کانسارهای ناپیدای امیدبخش، اشتباه شود. به منظور اجتناب از چنین اشتباهی در تفسیر نتایج نمونه های ژئوشیمیایی، لازم است، ابتدا ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که نشان دهنده کانی سازی معدنی پراکنده است، جداسازی و کنار گذاشته شود.

### تفسیر زون های کانی سازی پراکنده

معیارهایی که برای تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، مشخص شده بوسیله کانی سازی پراکنده بکار می رود، مبتنی بر تفاوت های ژئوشیمیایی موجود میان زون هایی با کانی سازی پراکنده و هاله های نخستین حاصل از کانی سازی اقتصادی است.

زون های کانی سازی پراکنده دارای هاله هایی متفاوت از هاله های حاصل از کانسارهای ناپیدا (تشکیل شده در بالای توده های معدنی) است، یعنی در هاله های *Supra ore* ولی مقادیر شاخص زون بندی قائم ژئوشیمیایی بسیار کمتر است. برای این منظور، نسبت بارآوری یکایک\* ناهنجاریهای مرکب (جمعی یا ضربی) که بوسیله عناصر شاخص تشکیل شده و نشانگر ترازهای بالایی یا پائینی توده معدنی است، برای نوع ویژه ای از کانسار، بکار می رود. این نسبتها در زون های کانی سازی پراکنده، همانند هاله های نخستینی است که در تراز بخشهای میانی یا پایینی توده های معدنی تشکیل می شوند. از آنجائیکه در ساختار زون های کانی سازی پراکنده زون بندی قائم آشکاری وجود ندارد، نسبت شاخص، تغییر قائم مهمی را نشان نمی دهد. برعکس هاله های حاصل از کانی سازی متمرکز (اقتصادی) بوسیله تغییرات قائم آشکار یکنواخت نسبتهای عناصر شاخص، نمایان می گردند.

به منظور ارائه روشی برای تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، که نماینده زون های کانی سازی پراکنده است، به دو مثال زیر که از بررسیهای ژئوشیمیایی انجام شده در رادن کرمازار<sup>۱</sup> (گریکوریان و دیگران ۱۹۷۳) بدست آمده است، اشاره می شود.

۱- **آثار معدنی اکپت ۲** - این اثر (مظهر) معدنی در شمال خاوری کانسار تاریکان (کرمازار مرکزی) واقع است. سنگهای این ناحیه مرکب است از فلسیت پرفیری، توف، برشهای توفی پرفیرهای اسفرولیت متعلق به سری اوپاسایسکی<sup>۳</sup>.

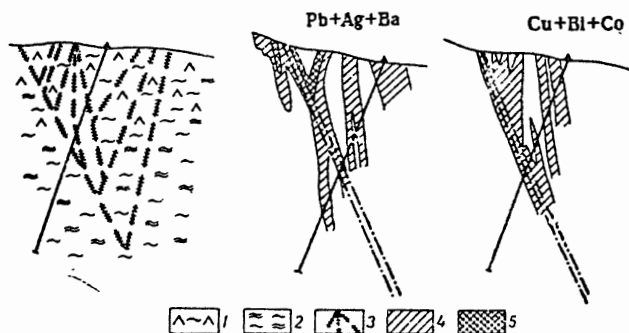
برای تعیین توان معدنی در ژرفا بررسی ژئوشیمیایی خاصی اعمال شد. ناهنجاریهای مربوط به سرب، روی، باریوم، نقره، مولیبدن، مس، بیسموت، کبالت و تنگستن در امتداد زون گسل اکپت، ردیابی شد (شکل ۵۰). پارامترهای ناهنجاریهای بدست آمده در زونی واقع در مسیر نمونه برداری مرکزی در زیر آمده است. پارامترهای بدست آمده در زون کانی سازی پراکنده در گستره قزلتاش نیز برای مقایسه ارائه شده است.

\* - کلمه یکایک (Individual) که در اینجا و یا پیشتر بکار رفته است (برای مثال مربوط به شکل ۴۹)، به این معنی است که نسبتهای جمعی با ضربی بایستی برای هر نمونه بنهایی (تکتک)، محاسبه گردد و نه برای میانگین آنها.

1- Rudny Karamazar

2- Akpet

3- Oyasaiskaya Suite



شکل ۵۱. ناهنجاریهای ژئوشیمیایی افزایشی (جمع) در مقطع عرضی.  
 ۱- فلسیت پرفیری، ۲- توفها و برشهای توفی، ۳- شکستگیها، ۴ و ۵- مقادیر کلی عناصر بر حسب واحد زمینه (۴- از ۶ تا ۲۰، ۵- بیش از ۲۰).

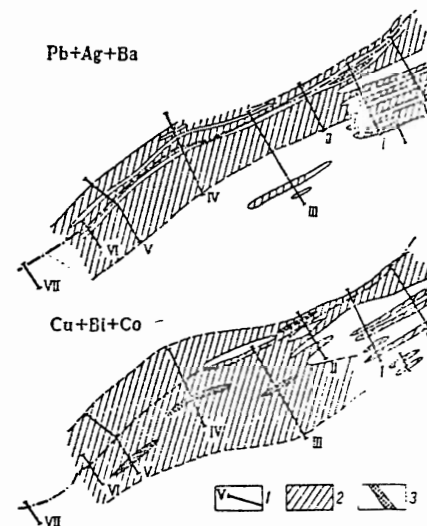
۲- تاریکان جنوبی- در این گستره که در جنوب کانسار تاریکان واقع است، توفها و گدازه‌های توفی سری اوپاسایسکی و فلسیت پرفیری فراوان است، که بوسیله دایکهای با ترکیبی از پرفیریت‌های دیابازی قطع شده است.

زون تکنونیک یوژنایا<sup>۱</sup> (جنوبی)، که در راستای شمال خاوری به طول ۱/۵ کیلومتر گسترش می‌یابد، افق کانه‌دار اصلی است، که مرکب است از سنگهای سیلیسی، کلریتی و سرسیتی شده با رگه‌های کوارتزی که با کالکوپیریت، پیریت، بیسموتیت و هماتیت آغشته شده‌اند. افزایش موضعی مقادیر سرب و نقره نیز دیده شده است.

نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از سنگ بستر برای تعیین توان معدنی در زونی در ژرفا، انجام شد، ناهنجاریهای عناصر شاخص- تیومورف کانی‌سازی پلی‌متالیک- کشف گردید. بر حسب نسبتهای شاخص، تراز سطح فرسایش ناهنجاریها، مربوط به تراز زیرین بخش میانی هر کانی‌سازی اقتصادی است. در هر حال با توجه به نبودن برونزدهای معدنی در گستره، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که ناهنجاریها، به احتمال زیاد، مربوط به زون کانی‌سازی پراکنده بوده، که در ژرفا غیر امیدبخش است. با وجود ارزیابی منفی، یک گمانه (گمانه شماره ۹)، در این گستره حفر گردید. این گمانه زون یوژنایا را در ژرفای ۳۷۰ متری قطع نمود، ولی اثری از کانی‌سازی دیده نشد. از اینرو تفسیر نتایج حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی تأیید گردید. در زیر، پارامترهای ناهنجاریها در ناحیه تاریکان جنوبی نشان داده شده است:

شماره‌های پروفیل و گمانه	نسبت پارآورهای خطی $\frac{Ba + Ag + Pb}{Cu + Bi + Co}$
II - II	۰/۲۶
III - III	۰/۶۷
IV - IV	۰/۶۱
گمانه شماره ۹	۱/۳

1- Yuzhnaya



شکل ۵۰. هاله‌های نخستین عناصر در سطح (در گستره آکیت).  
 ۱- شمار مسیر نمونه‌برداری ژئوشیمیایی، ۲ و ۳- مقادیر بر حسب واحد زمینه (۲- از ۶ تا ۲۰، ۳- بیش از ۲۰).

نسبت پارآورهای خطی $\frac{Ba + Ag + Pb}{Cu + Bi + Co}$	گستره
۰/۴	آثار معدنی آکیت
۱/۱	قزلتاش (مقطع عرضی استاندارد)

از این دانسته‌ها چنین نتیجه می‌شود، که پارامترهای ناهنجاریهای مورد بحث، همانند پارامترهای زون‌های پراکنده کانی‌سازی می‌باشد، این مطلب بوسیله همانندی پارامترهای ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در ناحیه مورد بررسی و نیز در زون کانی‌سازی پراکنده در ناحیه قزلتاش نشان داده شده است. بر پایه این دانسته‌ها، توان معدنی این ناحیه منفی ارزیابی شده و توصیه شد از اکتشاف تفصیلی بیشتر در این ناحیه خودداری گردد. با اینهمه پس از آن در این ناحیه سه گمانه در محلهایی که بارزترین کانی‌سازی را نشان می‌داد، حفر گردید. که نشان داد همه گمانه‌ها در ژرفاهای مختلف، یک زون فلزدار بدون کانی اقتصادی را قطع کرده‌اند. این بطور کامل، مؤید ارزیابی مبتنی بر نتایج تفسیر دانسته‌های حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی است. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از مغزه‌هایی که از گمانه‌ها برداشته شده، هیچگونه تغییری را در پارامترهای ناهنجاری، با ژرفا نشان نداد است (شکل ۵۱). بنابراین سرشت پراکندگی کانی‌سازی چند عنصری (پلی‌متالیک) در ناحیه، تأیید می‌گردد.

تکنیکهایی که برازی تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بکار می‌رود، اساساً بستگی به چگونگی پیدایش کانسارها (ذخایر معدنی) دارد. به این علت، در زیر مسئله تفسیر ناهنجاریها برای دو مورد بسیار متفاوت، بررسی می‌شود:

الف: هنگامی که توده‌های معدنی دارای شیب تند باشند،

ب: توده معدنی تقریباً بطور افقی باشد.

به منظور دست‌یابی به شیوه‌های رخداد (جایگیری) کانسارهای فرضی در ژرفا مهم‌ترین عامل، آگاهی بر ساختار زمین‌شناسی گستره مورد بررسی است. بویژه داشتن آگاهی در مورد وضعیت ساختار زمین‌شناسی کانسارها در ناحیه، حائز اهمیت است. نتایج حاصل از بررسیهای ژئوفیزیکی نیز ضروری است. معیارهای ژئوشیمیایی، بویژه نموده‌های ویژه هاله‌های نخستین، نیز ممکن است در برخی از موارد مفید باشد. در مورد توده‌های معدنی با شیب تند، مدلی ایده‌آل از هاله‌های نخستین (شکل ۵۲)، نشان می‌دهد که بایستی انتظار داشته باشیم هاله‌هایی که در صفحه (نقشه) هم‌پوشانی نزدیکی داشته و به نحو چشمگیری در راستای ساختمان درونگیر معدنی امتداد می‌یابند در سطح بازتاب داشته باشند (در طول گسله‌ها و شکستگیها و زون‌های درزه شده ژرفا). همچنانکه از ساختمان درونگیر معدنی دور می‌شویم این هاله‌ها به سرعت ضعیف و نازک می‌شوند. در مورد توده‌های معدنی با شیب ملایم (به شکل‌های ۳۳ و ۳۴ و ۵۲ مراجعه شود)، اثر هاله‌های نخستین در سطح کاملاً متفاوت است. این هاله‌ها بسیار گسترده‌ترند ولی کمتر مشخص بوده و از گسله‌ها (که گمان می‌رود مجاری عبور محلولهای معدنی باشند) جدا و مستقلند. افزون بر این بیشتر اوقات این هاله‌ها، یک زون پدیده‌ای افقی را نشان می‌دهند، که می‌توان بر اساس ردیف کلی زون‌بندی هاله دلالت بر جداسدگی بخشهای بزرگتر هاله‌های شامل عناصر شاخصی که تیبیک مقطعی عرضی فوق‌کانه‌ای حاصل از ساختمانهای تغذیه‌کننده (مثل گسل) هستند، داشته باشد.

جستجو برای کانی سازی، ناپیدا در ساختمانهای با شیب تند

تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در جستجو برای کانی‌سازی ناپیدا، دارای دو مرحله اصلی است:

الف - تعیین نوع کانی‌سازی عهده‌دار تشکیل ناهنجاری معین،

ب - تعیین موقعیت نسبی تراز ناهنجاری نسبت به کانی‌سازی (بویژه هنگامیکه ناهنجاری در سطح یافت شده باشد، تراز سطح فرسایش می‌بایستی با توجه به کانی‌سازی برآورد شود).

نوع کانی‌سازی ریخته‌شده، با روشهای زیر تعیین می‌گردد.

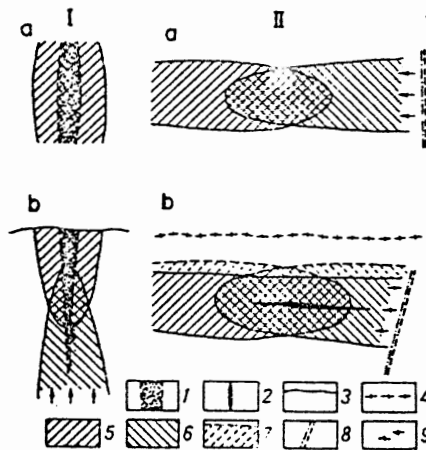
- ۱- بر پایه شرایط زمین‌شناسی در گستره مورد بررسی (بوسیله مقایسه با کانسارهای شناخته شده در ناحیه)،
- ۲- با بکار بردن دانش‌هایی در باره طبیعت دگرسانیهای سنگ در مجاورت توده‌های معدنی،
- ۳- بر مبنای هم‌راستی (اجتماع) تیومرفیک کانیها که بوسیله بررسیهای تفصیلی ناهنجاریهای موضعی تعیین

شده است.

از معیارهای ژئوشیمیایی نظیر زون‌بندی عرضی، نیز می‌توان برای این منظور استفاده کرد (به جدول ۳۱ مراجعه شود).

در برخی موارد، مقادیر مطلق میانگین فراوانی عناصر شاخص در ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، ممکن است برای تعیین نوع کانی‌سازی، معیاری کافی و معتبر تلقی شود. برای مثال، مقدار میانگین سرب (که یک عنصر شاخص و تقریباً در همه انواع کانسارهای اندوژنیک است)، در هیچیک از مقطعیهای عرضی که از هاله‌های نخستین کانسارهای جیوه بدست آمده، از ۰/۰۱ تجاوز نمی‌کند.

در برآورد مشابهی از هاله‌هایی که بوسیله کانسارهای سولفیدی پلی‌متالیک تشکیل شده، مقدار سرب به چند صدم و یا چند دهم درصد نیز می‌رسد. جیوه یکی دیگر از چنین عناصری است. مقدار میانگین این عنصر در هاله‌های کانسارهای پلی‌متالیک به بیش از ۴-۱۰×۱ درصد نمی‌رسد، در حالیکه در کانسارهای جیوه و آنتیموان، این مقدار به چند هزارم و یا چند صدم درصد هم می‌رسد. مثال بالا نشان می‌دهد، این عناصر که اجزاء اصلی سازنده کانسنگ است بهترین شاخص نوع کانی‌سازی است.

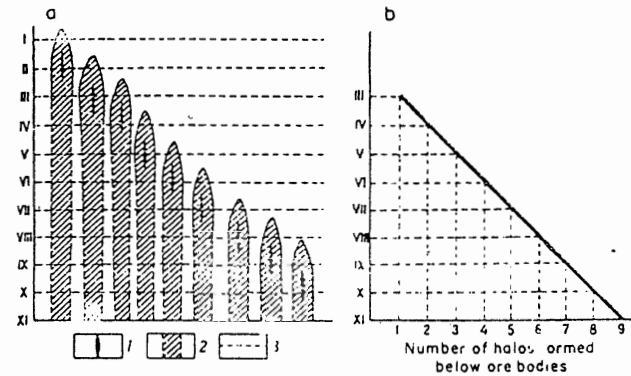


شکل ۵۲- الگوهای کلی هاله‌های نخستین تشکیل شده پیرامون توده‌های معدنی با شیب تند (I) و توده‌های معدنی با شیب ملایم (II)، در سطح افقی (a) و در مقطع عرضی (b).  
 ۱- زونهای فلزدار، ۲- توده معدنی، ۳- مرزبندی سطح فرسایش کنونی، ۴- موقعیت سطح فرسایش در زمان تشکیل کانسار، ۵- هاله روی توده معدنی، ۶- هاله زیر توده معدنی، ۷- هاله‌های از بین رفته در اثر فرسایش، ۸- شکستگیها، ۹- جهت حرکت محلولهای کانه‌دار.



تعیین تراز یک ناهنجاری ژئوشیمیایی نسبت به کانی‌سازی فرضی - در اکتشاف کانی‌سازی ناپیدا، مسئله اساسی تشخیص امیدبخش‌ترین ناهنجاریهای ژئوشیمیایی از میان ناهنجاریهای بیشماری است که بوسیله هاله‌های ژئوشیمیایی فوق‌کانساری بدست می‌آید. در مواردی که یک ناهنجاری ژئوشیمیایی در سطح کشف و تعیین حدود شده باشد، مسئله باقیمانده تعیین تراز سطح فرسایش خواهد بود.

در اکتشاف کانی‌سازی ناپیدا، حل مسئله تعیین تراز سطح فرسایش، اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا در ناحیه‌های معدنی که بدست فرسایش یافته است، شمار ناهنجاریهای معرفی شده بوسیله هاله‌های واقع در زیر توده‌های معدنی، بسیار زیاد است. بنابراین در اکتشاف موفقیت‌آمیز کانی‌سازی، انتخاب درست و دقیق ناهنجاریها، ضروری است. شکل ۵۳، ترتیب قرارگیری توده‌های معدنی را در یک فاصله کانه‌دار (مقطع عرضی) به شکل ستونهای پلکانی (اسمیرنوف ۱۹۵۵) و نیز شمار هاله‌های نخستینی را نشان می‌دهد که پیرامون هر توده معدنی قرار دارد. هاله کلی مجاور یک توده معدنی، شامل همه هاله‌هایی است که بوسیله تمام عناصر شاخص آن انواع کانی‌سازی مورد بررسی، تشکیل شده است. در تعیین میزان گستردگی قائم هاله‌های بالایی و پایینی توده‌های معدنی، نتایج بدست آمده از بررسی هاله‌های نخستین کانسارها، که از نظر ترکیب و محیط پیدایش متفاوتند، بحساب آورده شده است. اثبات شده است، که در برخی موارد، امکان دارد هاله‌های فوق‌کانساری را تا نازک و محو شدن کامل در نوک قله (چکاد) تعیین حدود کرد. در حال حاضر، با توجه به هاله‌های زیر توده‌های معدنی، هیچگونه اطلاعاتی از گستردگی قائم این هاله‌ها در دست نیست، زیرا نمی‌توان آنها را تا جائیکه کاملاً نازک می‌شوند ردیابی نمود. البته در پاره‌ای موارد، ردیابی نازک شدن کامل هاله‌هایی که بوسیله یکایک عناصر در زیر توده‌های معدنی، تشکیل می‌شوند، امکان‌پذیر است. (این عناصر معمولاً تیبیک ناحیه فوق‌کانساری است). بهرحال بعلت دگرسانی هاله‌های تشکیل شده بوسیله عناصر مختلف، نازک و محو شدن هاله‌های مرکب تا ژرفای قابل دسترسی، امکان‌پذیر نیست.



شکل ۵۳. نمایش ترمیمی ایده‌آل از پیدایش احتمالی توده‌های معدنی در یک زون فلزدار (از اسمیرنوف ۱۹۵۵). (a) - هاله‌های نخستین، (b) - نمودار افزایش شمار هاله‌هایی که در زیر توده‌های معدنی با افزایش ژرفا، تشکیل شده. ۱- توده معدنی، ۲- هاله، ۳- تراز سطح فرسایش.

این مسئله نشان می‌دهد، هاله‌هایی که در زیر توده‌های معدنی تشکیل می‌شوند، به طور محسوس، گسترش بیشتری در راستای قائم دارند (در مقایسه با هاله‌هایی که در بالای توده‌های معدنی تشکیل می‌شوند). هاله‌هایی که زیر توده‌های معدنی تشکیل می‌شوند به عنوان مشخص‌کننده مسیر حرکت محلولهای کانه‌دار شناخته شده است، از این رو تا ژرفای در خور توجهی قابل ردیابی است.

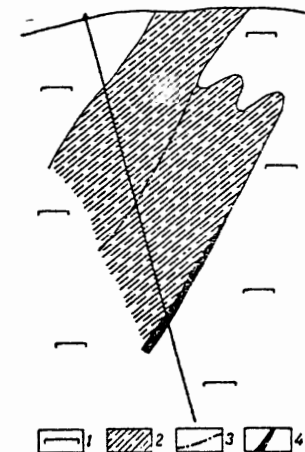
گسترش قائم بسیار زیاد هاله‌هایی که زیر توده‌های معدنی تشکیل می‌شوند، در مقایسه با هاله‌های فوق‌کانساری (در مورد ترتیب قرارگیری شبه پلکانی توده‌های معدنی) همچنانکه ژرفای سطح فرسایش افزایش می‌یابد، منجر به افزایش تصاعدی شمار هاله‌های زیر کانسار می‌شود. این مطلب بوسیله نموداری در شکل ۵۳ نشان داده شده است. اگر سطح فرسایش کم ژرفا باشد، هاله‌های فوق‌کانساری تنها معرف توده‌های معدنی است که در بالاترین تراز فرسایش قرار دارند. در مورد فرسایش کامل فاصله فلزدار، همه توده‌های معدنی فرسایش یافته، بوسیله هاله‌هایی معرفی می‌گردند که زیر توده معدنی تشکیل می‌شوند. شمار ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در مورد اخیر، ممکن است تا چندین برابر افزایش یابد، با اینهمه این ناهنجاریها عملاً مورد توجه نیستند. در نتیجه، شرط بنیادی در تعیین محل کانی‌سازی نهفته، گسترش و تکمیل معیارهای موثر در تمایز میان هاله‌های تشکیل شده در زیر و روی توده معدنی، در عملیات اکتشافی است. مسئله تمایز میان هاله‌ها به کمک زون‌بندی قائم هاله‌های نخستین که در بالا مورد بررسی قرار گرفته، قابل حل است. ناهنجاریهای ژئوشیمیایی فوق‌کانساری معمولاً بوسیله استفاده از نسبتهای مقادیر میانگین و بارآوری خطی هاله‌هایی که از جفتهای عناصر خاص تشکیل شده‌اند، نیز با استفاده از نسبت پارامترهای یکایک هاله‌های مرکب (جمع‌ی و ضربی) عناصر فوق‌کانساری به پارامترهای ویژه هاله‌هایی که در زیر توده‌های معدنی تشکیل می‌شوند، قابل تشخیص‌اند. در برخی موارد عناصر سازنده اصلی کانی با ارزش اقتصادی، نیز در مخرج بکار می‌رود. عناصر موجود در بالا و پایین توده‌های معدنی بر پایه نتایج حاصل از بررسی زون‌بندی هاله‌های نخستین در کانسارهای شناخته شده (استاندارد) انتخاب می‌گردد. عناصر شاخص زون‌بندی قائم مورد توجه ویژه‌ای است.

تراز سطح فرسایش ناهنجاریها، بوسیله مقایسه مقدار پارامترهای یاد شده با مقدار همان پارامترها در هاله‌های تشکیل شده پیرامون توده‌های معدنی شناخته‌شده‌ای از همان گونه، ارزیابی می‌شود. همچنانکه در بالا اشاره شد استفاده از پارامترهای هاله‌های مرکب برای ارزیابی تراز سطح فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، معتبرتر است، البته این به آن معنی نیست که نسبتهای مربوط به یک جفت عنصر نیابستی در نظر گرفته شود. این نسبتها ممکن است، با موفقیت برای کانسارهایی بکار رود، که هاله‌های نخستین آنها قوی و گسترده بوده و با زون‌بندیهای قائم بارزی، مشخص می‌شوند.

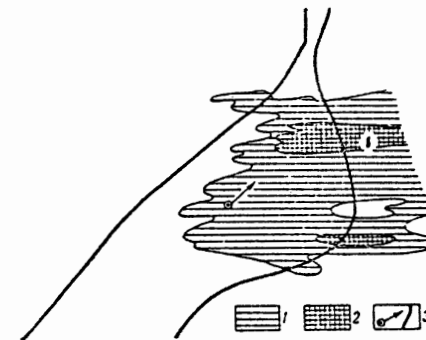
در زیر نتایج پژوهشهای انجام شده در گستره‌ای از میدان معدنی کانسکی (آسیای مرکزی) به عنوان مثالی از روش پیش‌بینی کانی‌سازی ناپیدا بر پایه زون‌بندی قائم هاله‌های نخستین، ارائه شده است.

با بکار بردن نتایج حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر در سطح و پیرامون کانسار سرب-روی کانسکی، ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بیشماری کشف گردید. نسبت بارآوری یکایک هاله‌های ضربی (چندبارگی) که بوسیله عناصر شاخص کانی‌سازی چندعنصری، در بالا (باریم، تهره و سرب) و پایین (روی،

مس و کبالت) تود معدنی تشکیل شده‌اند، محاسبه شده است. مقایسه این مقادیر با دانسته‌های حاصل از بررسی هاله‌های پیمون، توده‌های معدنی شناخته شده، این نتیجه گیری را ممکن می‌سازد که پاره‌ای از ناهنجاریها، هاله‌های فوق کانساری بوده و کانی‌سازی ناپیدا در آن امیدبخش است. شکل ۵۴ توزیع سرب را در ناهنجاری فوق انساری نشان می‌دهد. نسبت شاخص برای این ناهنجاری ۵ است (نسبت شاخص بر پایه مقطعی عرضی ۱ سانتا. ارد برای هاله‌های فوق کانساری بیش از ۰/۵ و برای هاله‌های زیر کانساری کمتر از ۰/۰۲ می‌باشد). حفاری بعدی ثابت نمود که یک کانی‌سازی ناپیدا با ارزش اقتصادی، در ژرفا وجود دارد، بدین ترتیب ارزیابی مبتنی بر نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر تایید گشت (شکل ۵۵).



شکل ۵۴. هاله‌های نخستین تشکیل شده بوسیله سرب (در سطح).  
۱-۲ مقدار سرب. ۳-۱۰ تا ۳۰، ۲-۱۰، ۳-۱۰، ۳-گمانه و پروفیل‌های نمونه برداری.



شکل ۵۵. مقطع عرضی کانی‌سازی ناپیدا که در نتیجه بررسی یک ناهنجاری ژئوشیمیایی کشف شده است.  
۱- سربانتینیت، ۲- آگولیت، Xenolite کانه دار (سنگهای شیلی آهکی)، ۳- شکستگیها، ۴- توده معدنی ناپیدا.

تفسیر کمی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که بالای توده‌های معدنی تشکیل شده، پیچیده‌ترین مسئله است. انتظار می‌رود تفسیر کمی، امکان ارزیابی دامنه گسترش کانی‌سازی ناپیدا را فراهم نماید. با اینهمه، هنوز روش معتبری برای حل این مسئله (تفسیر کمی) در دست نیست. گسترش چنین روشهایی هدف بررسیهای آینده خواهد بود. در موارد مناسب ویژه‌ای، ممکن است بطور کم و بیش مطمئن با استفاده از همبستگی موجود میان پارامترهای توده‌های معدنی و هاله‌هایی که در مجاورت آنها تشکیل شده، نسبت به گستره کانی‌سازی ناپیدا داوری نمود.

بررسیها نشان داده است که هاله‌های بهتر و قویتر معمولاً پیرامون توده‌های معدنی ضخیم، تشکیل می‌شوند. معمولاً، میان وسعت هاله‌ها و ضخامت توده‌های معدنی که از محیطهای کانی‌سازی یکسانی نتیجه می‌شوند وابستگی و رابطه معینی وجود دارد.

برای مثال شکل ۵۶ نمودار تغییر مقادیر بارآوری خطی هاله‌های تشکیل شده، پیرامون توده‌های معدنی یک کانسار اورانیم، در گرانتیت‌ها، با افزایش ژرفا را نشان می‌دهد. این کانسار پیش از این توصیف شده بود. در نمودارها هر یک از نقاط، معرف مقدار بارآوری خطی محاسبه شده برای یک مقطع افقی از هاله است. در محور X ها مقدار بارآوری خطی هاله‌هایی که بوسیله اورانیم و سرب تشکیل شده، درج شده است. در محور Y ها مقدار فاصله (بر حسب متر) هاله‌ها از توده معدنی در جهت‌های رو به بالا و رو به پایین، نشان داده شده است. نمودار بالایی به صورت مجموعه‌ای از نقاطی است که بطور تصادفی پراکنده شده‌اند. اگر روی محور X ها (محور افقی) بجای مقادیر مطلق، مقادیر نسبی بارآوری خطی رسم شود، الگویی کاملاً متفاوت بدست می‌آید. مقادیر نسبی، نسبتهایی است که بوسیله تقسیم بارآوری مطلق به حداکثر ستبرای توده‌های معدنی مربوطه، محاسبه شده است (این بارآوری را بارآوری ویژه می‌نامند).

بر خلاف اورانیم، نقاط مربوط به سرب بر روی نمودار، بوسیله پراکندگی بیشتر و تغییر مکان تند و بالارونده، مشخص می‌شود، که این خود بازتابی از زون‌بندی قائم است (وجود هاله‌های قوی سرب در بالای توده‌های معدنی).

ممکن است معیار فوق برای تفسیر کمی ناهنجاریهای موجود در نواحی مجاور یک کانسار استاندارد (شناخته شده) بکار رود. با وجود وابستگی مدلل بارآوری‌ها به ابعاد توده معدنی، ارزیابی گستره کانی‌سازی ناپیدا بر پایه پارامترهای هاله‌ها، بسیار دشوار است، به این سبب که علاوه بر گستره کانی‌سازی ناپیدا، عوامل دیگری نظیر محیط زمین‌شناسی- ساختاری کانی‌سازی، خواص فیزیکی- مکانیکی سنگهای درونگیر و جز اینها، نیز اثر درخور توجهی بر روی هاله‌های نخستین دارد. با وجود این در انتخاب امیدبخش‌ترین ناهنجاریها از میان ناهنجاریهای یکسان، در ناحیه‌هایی که وابستگی میان پارامترهای هاله‌ها و توده‌های معدنی با توجه به کانسارهای شناخته شده به اثبات رسیده است، اولویت با ناهنجاریهایی است، که بوسیله بارآوری حداکثر مشخص می‌شود. هنگامی ناهنجاریها از یک گونه ناهنجاری یکسان بشمار می‌آیند که:

الف: بوسیله کانی‌سازی یکسان بوجود آمده باشند،

ب: با محیط زمین‌شناسی- ساختاری یکسان و تراز فرسایش همانندی مشخص شوند،

ج: در سنگهای یکسانی گسترش یابند.

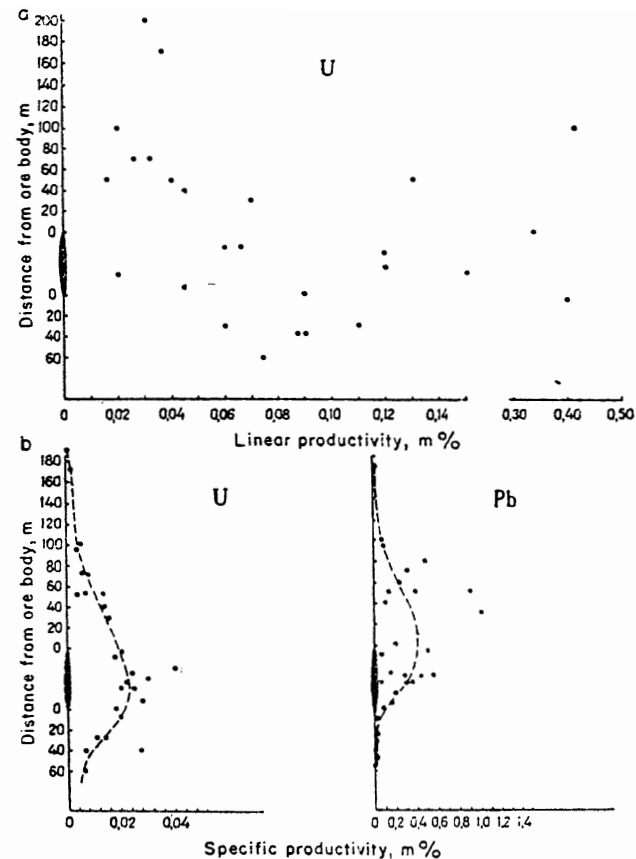
«دامنه ژرفا»یی که ممکن است هاله‌های نخستین در کشف و جستجو برای کانی‌سازی ناپیدا مورد استفاده واقع شوند. تا اینجا به بررسی مسائلی پرداخته‌ایم، که در کشف کانی‌سازی ناپیدا به آنها برخورد شده و شامل مواردی است که هاله‌های نخستینی که کانی‌سازی ناپیدا را احاطه می‌کنند، در فرسایش کنونی قابل ردیابی، و بوسیله نمونه‌برداری ژئوشیمیایی قابل شناسایی باشند. طبیعتاً این تنها مورد ممکن نیست. گاهی اوقات، هنگامیکه توده‌های معدنی در ژرفای زیاد مستقرند، ممکن است هاله‌هایشان در سطح قابل تشخیص و ردیابی نباشد. باین ترتیب می‌توان گفت، در مواردیکه هاله‌های نخستین در سطح آشکار نشده‌اند ارزیابی منفی از ناحیه تنها تا ژرفای معینی عملی است. در کشف کانی‌سازی ناپیدا، بر مبنای هاله‌های نخستین به «دامنه ژرفا» استناد می‌شود. در مورد توده‌های معدنی با شیب تند، این «دامنه ژرفا» با گسترش قائم هاله‌هایی اندازه‌گیری می‌شود، که روی توده‌های معدنی تشکیل می‌شوند.

جدول ۳۴- گسترش هاله‌هایی که روی توده‌های معدنی (چنانکه دیده شده) تشکیل می‌شوند.

ذخیره	گسترش بر حسب متر
تنگستین - مولیبدن (چوروخ - ویرون)	۲۰۰
بیسموت (چوخ آدم بلاغ)	۲۰۰
مس - طلا (پارکویه)	۳۴۰
سرب - روی در اسکارنها (کوروسایی)	۴۵۰
سرب - روی - اسکارنها (نیکلافرنسکوی)	۸۵۰
کانسار قلع (ورخینه)	۲۷۰
رگه پلی‌متالیک (آرخون)	۱۳۰
اورانیم (درگرانیت‌ها)	۲۰۰
فلوریت (میشیکول)	۱۰۰

بررسیها نشان داده است، که گسترش قائم هاله‌های نخستین ممکن است بسیار زیاد باشد. در همه موارد یاد شده در جدول ۳۴، هاله‌هایی به اندازه کافی قوی و گسترده در فاصله زیادی از مرز بالایی توده‌های معدنی ناپیدا، ثبت شده است. این امر نشان می‌دهد، ارقام گزارش شده (در جدول) به‌چوچه نمی‌تواند حد نهایی هاله‌ها را مشخص کند، در واقع هاله‌های تشکیل شده در بالای توده‌های معدنی ممکن است بسیار بزرگتر باشند.

جدول ۳۴ اندازه هاله‌های تک عنصری را ارائه می‌دهد. در صورت لزوم، دامنه ژرفایی که برای کشف کانی‌سازی ناپیدا، بر اساس هاله‌های نخستین می‌تواند در نظر گرفته شود، با بکار بردن روش هاله‌های مرکب (جمععی و ضریبی)، ممکن است بمقدار درخور ملاحظه‌ای افزایش یابد. در باره مسئله رخداد کانسارها، ناحیه‌هایی که هیچگونه ناهنجاری ژئوشیمیایی در آنها ثبت نشده است، بایستی مورد رسیدگی ویژه



شکل ۵۶- نمودارهای تغییرات قائم بارآوریهای خطی (a) و بارآوری ویژه هاله‌ها (b).

شرط آخری اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا شدت و اندازه یک هاله تا اندازه زیادی به نوع سنگهای درونگیر بستگی دارد، و پیش از هر چیز خواص فیزیکی- مکانیکی آنها حائز اهمیت است. هاله‌های قویتر و بزرگتر در سنگهایی با تخلخل و درزه‌های بیشتر گسترش می‌یابد، که این عوامل هنگام تفسیر کمی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بایستی در نظر گرفته شود. چنین معیاری برای تفسیر کمی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که بر اساس همبستگی میان پارامترهای توده‌های معدنی و پارامترهای هاله‌ها بنا می‌شود، معیاری نسبی است نه مطلق. از اینرو ممکن است، این معیار بیشتر در تفسیر گروههایی از ناهنجاریهای همانند بارزش باشد تا ناهنجاریهای مجزا. هنگامیکه این روش بکار رود، می‌توان امیدبخش‌ترین ناهنجاریها را از میان گروه یکسانی از ناهنجاریهایی انتخاب نمود، که تصور می‌رود بالای توده معدنی تشکیل شده باشند.

قرار گیرند. ارزیابی نهایی، وجود کانی‌سازی ناپیدای ممکن در چنین زون‌هایی، بایستی بر پایه «دامنه ژرفا» روشن گردد، یعنی لازم است کافی بودن «دامنه ژرفا» برای گونه خاصی از کانی‌سازی مشخص گردد. چنین ناحیه‌هایی ممکن است بعنوان نواحی غیر امیدبخش ارزیابی شوند. البته هنگامی که دامنه ژرفا ناکافی است، این ارزیابی معین است تنها تا ژرفای محدودی که هم‌ارز با گسترش قائم هاله‌های فوق کانساری است، کاربرد داشته باشد. این مسئله تنها با توجه به نوع خاصی از کانسار و محیط ویژه تشکیل، می‌تواند حل‌شدنی باشد.

**اکتشاف توده‌های معدنی نیمه افقی ناپیدا** - روشهای مورد استفاده برای توده‌های معدنی نیمه افقی با شیب ملایم (بر خلاف توده‌های معدنی با شیب تند) به اندازه کافی مورد بررسی قرار نگرفته است. در نتیجه تکنیک‌هایی که در زیر مورد توجه قرار می‌گیرد، نیازمند بررسی بیشتری است.

معیارهای ژئوشیمیایی برای کشف توده‌های معدنی با رخداد افقی، بر پایه نمونه‌های گسترشی هاله‌های نخستین پیرامون چنین توده‌هایی (معدنی)، قرار دارد. این نمونها نیز به نوبه خود بوسیله محیط زمین‌شناسی - ساختاری کانی، ازی، با ویژگیهای ریخت‌شناسی توده‌های معدنی کنترل می‌شود. به این دلیل، بکار بردن هاله‌های نخستین، در کشف این گونه کانسارها ممکن نیست، مگر آنکه همه ویژگیهای زمین‌شناسی - ساختاری گستر مورد بررسی، در نظر گرفته شود.

ویژگیهای هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین پیرامون توده‌های معدنی تقریباً افقی فوق را با مثالهایی از کانسارهای سارن پللی متالیک ناحیه توتلی I (میدان معدنی کوروسای نیکلاوسکوی (ناحیه مری تایم) و مس پرفیری مس چکن (در آسیای مرکزی) مورد بحث قرار گرفته است.

پیش از این اشاره شد، که هاله‌های نخستین در صفحه توده معدنی گسترش می‌یابند، با اینهمه، گسترش قائم آنها محدود است. این امر اشاره بر آن دارد که «دامنه ژرفا»هایی که می‌تواند در کشف توده‌های معدنی ناپیدای تقریباً افقی، بکار رود (اگر هاله‌های نخستین بکار برده شود)، بسیار کوچکتر از دامنه‌هایی خواهد بود، که در توده‌های معدنی با شیب تند بکار می‌رود. در نتیجه ممکن است در مواردی به علت جایگیری نسبتاً ژرف توده‌های معدنی، هاله‌ها نیز ناپیدا باشند. در تفسیر نتایج حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در ناحیه‌هایی که از نظر توده‌های معدنی هموار، بالقوه امیدبخش است، بایستی این امکان مورد توجه و رسیدگی قرار گیرد.

هنگامیکه هاله‌های ژئوشیمیایی مربوط به توده‌های معدنی نیمه افقی (با شیب ملایم) تعبیر و تفسیر می‌شود، مسئله مایز میان هاله‌هایی که بالا و پایین کانسارها تشکیل می‌شوند، بسادگی قابل حل است، بشرط آنکه در محل آنی سازی کنترل چینه‌شناسی موجود باشد. کنترل چینه‌شناسی ممکن است هنگامی فراهم باشد که توده‌های معدنی، در افق لیتولوژیکی مساعد ویژه‌ای (برای مثال کانسار توتلی در کنگلومراهای اسکارنی)، یا در هدربری سنگهای مختلف قرار گرفته باشد (برای مثال ذخیره نیکلاوسکوی در ناحیه مری‌تایم، که در هم‌مری سنگهای کربناته و آذرین قرار گرفته است).

در مواردی که در توزیع کانی‌سازی، کنترل چینه‌شناسی وجود ندارد، ممکن است زون‌بندی قائم هاله‌هایی که در مجاورت توده‌های معدنی نیمه افقی تشکیل شده، برای تمایز میان ناهنجاریهایی که در بالا و پایین

توده‌های معدنی تشکیل می‌شود، بکار رود. این زون‌بندی بعنوان پرمایگی نسبی هاله‌های روی کانساری برخی عناصر بیان می‌شود. این عناصر در ذخیره (کانسار) توتلی I آنتیموان و آرسنیک، و در کانسارهای ساریچکو، نقره و سرب است. با اینهمه در بیشتر موارد زون‌بندی قائم در هاله‌های پیرامون توده‌های هموار بسیار نامشخص است، در نتیجه، در حال حاضر می‌توان گفت، که بنا بقاعده ممکن است این زون‌بندی مورد استفاده قرار گیرد. ولی کارآیی آن نیاز به بررسی بیشتر، از آنجمله تایید موقعیت توده معدنی دارد.

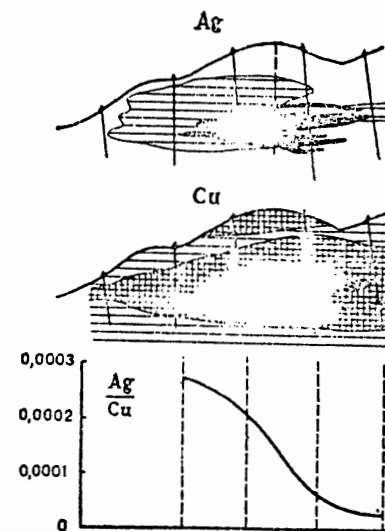
در شکل‌های ۳۳ و ۳۵ دیده می‌شود، هاله‌های نخستینی که بوسیله اجزاء سازنده اصلی کانسنگها تشکیل شده است، با توده‌های معدنی، وابستگی فضایی نزدیک و ویژه دارد. اجزاء سازنده اصلی معدنی در کانسارهای پلی‌متالیک، سرب و روی است (مس و مولیبدن در ذخیره‌های مس پرفیری). بویژه این عناصر قویترین هاله‌ها را در فواصل توده‌های معدنی تشکیل می‌دهند. از اینرو، توصیه می‌شود در خلال عملیات اکتشافی در نواحی امیدبخش، حفاری در محدوده مرکزی (اپی سنتر) ناهنجاریهای عناصر یاد شده، انجام گیرد. به دلیل آن که ممکن است هاله‌های دیگر نسبت به توده‌های معدنی و زون‌بندی توزیع آنها، تغییر مکان یابند. چنین تغییر مکان آشکاری در کانسار نقره ساریچکو (شکل ۳۶) و نیز برای آرسنیک و آنتیموان در کانسار توتلی I (شکل ۳۴)، ثابت شده است.

در جستجو برای توده‌های معدنی نیمه افقی بر مبنای هاله‌های نخستین، دامنه ژرفای محدود، استفاده از روشهای ویژه گوناگونی را برای گسترش دامنه ژرفا، برای کشف هاله‌های ناپیدا، مساعد می‌سازد (برای مثال تجزیه اجزاء سنگین، ترسیم هاله‌های جمعی و ضربی). در این موارد می‌توان اطلاعات باارزشی از بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی گسله‌های با شیب تند، بدست آورد، که اغلب بعنوان «کانالهای» ارتباطی میان توده‌های معدنی ژرف و سطح عمل می‌کند. در کانسار نیکلاوسکوی کانی‌سازی ناپیدا در ژرفای حدود ۹۰۰ متر تشکیل شده، که به کمک دانسته‌های حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر در سطح، کشف شده است (شکل ۳۷).

در این کانسار گسله‌های با شیب تند که به احتمال، محلولهای کانه‌دار در امتداد آنها جریان دارند، مستقیماً از میان توده معدنی می‌گذرند. باین ترتیب با بکارگیری نتایج حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی، امکان تعیین محل دقیق کانسار فراهم می‌گردد. البته در بسیاری موارد شکستگیهای با شیب تند که گذرگاه کانه تلقی می‌گردند، در بیرون توده‌های معدنی قرار دارند (شکل ۳۶). این امر نیز بایستی در تفسیر نتایج حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی، مورد توجه قرار گیرد.

هاله‌های نخستین در عملیات حفاری، طی اکتشاف توده‌های معدنی نیمه افقی، کارائی چشمگیری دارد. گسترش تقریباً پیرامنه هاله‌ها در امتداد صفحه (در صفحه توده معدنی) شرایط مناسبی را برای شناسایی نواحی امیدبخش کانی‌سازی ناپیدا، فراهم می‌کند. و این امر بویژه به کمک حفاری در شبکه وسیعی از گمانه‌ها امکان‌پذیر می‌شود. در این مورد، نه تنها بایستی ناحیه‌هایی را که توده‌های معدنی در آنها یافت می‌شود، نواحی امیدبخش دانست، بلکه زون‌هایی که ناهنجاریهای ژئوشیمیایی حاصل از عناصر شاخصی که معرّف نوع کانی‌سازی معینی بوده، و در خلال نمونه‌برداری از مغزه‌ها، بدست آمده است، نیز بایستی امیدبخش بشمار آیند. نواحی امیدبخشی که با این روش مشخص می‌گردند، می‌بایستی متعاقباً در امتداد یک

شبکه متراکمتر به منظور ثبت و کشف توده‌های معدنی، حفاری شوند. در این مرحله و نیز در مرحله پیش، نمونه برداری ژئوشیمیایی از مغزه‌ها و تفسیر نتایج حاصل از آنها، ضروری است، زیرا ممکن است این دانسته‌ها در تعیین موقعیت درست گمانه‌ها و نیز برای ایجاد تغییراتی در مسیر حفاری، بسیار مفید باشد. در مورد دوم توصیه می‌شود، برای تعیین مسیر حرکت محلولهای کانه‌دار، از زون‌بندی هاله‌ای استفاده شود. برای نشان دادن این منظور یک مقطع عرضی در کانسار ساریچکو<sup>۱</sup> مورد توجه و بررسی قرار خواهد گرفت (شکل ۵۷).



شکل ۵۷. هاله‌های نخستین و نمودار تغییرات نسبت بارآوری خطی هاله‌های در امتداد مقطع عرضی کانسار ساریچکو، (برای علائم بکار رفته به شکل ۳۵ مراجعه شود).

شکل ۵۷ یک توده معدنی کشف شده بوسیله حفر گمانه‌هایی تا ژرفای ۲۰۰ متری را نشان می‌دهد. در اولین مرحله اکتشاف به واسطه ابعاد قابل ملاحظه هاله‌های نخستین در صفحه توده‌های معدنی، شبکه گمانه‌ها می‌تواند گسترده‌تر انتخاب شود. در شکل ۵۷ می‌توان دید، دو گمانه‌ای که در مقطع عرضی به فاصله ۶۰۰ متری یکدیگر قرار دارند، هیچ معدنی را آشکار نمی‌کنند (این نامساعدترین حالت است). در چنین مواردی (که اغلب در حفاریهای اکتشافی به آنها برخورد می‌شود)، ممکن است هاله‌های نخستین، بسیار باارزش باشند. در چنین حالتی، این واقعیت که هاله‌های نخستین قوی تشکیل شده بوسیله عناصر شاخصی که تیومورف کانی‌سازی معینی است، در ناحیه وجود دارند، و بوسیله نمونه برداری ژئوشیمیایی از مغزه‌های برداشته شده از گمانه‌ها، می‌توان آنها را کشف نمود و امکان می‌دهد تا در مورد توان معدنی گستره مورد

1- Sarycheku

بررسی از ارزیابی منفی و اشتباه جلوگیری نمود. افزون بر این، محتمل‌ترین مکانها برای رخداد توده‌های معدنی، ممکن است با استفاده از نتایج حاصل از بررسی الگوهای توزیع عناصر شاخص درون این هاله‌ها تعیین شود. در مورد خاصی که بررسی شد، زون‌های میان گمانه‌ها، درست چنین مکان امیدبخشی بشمار می‌آیند، زیرا گمانه‌ها، بالاترین (قله) و پایین‌ترین بخش (ریشه) هاله‌ها را آشکار نموده است. این مطلب بوسیله کاهش شدیدی در نسبت بارآوری خطی هاله‌های تشکیل شده بوسیله جفت عنصر نقره-مس (شکل ۵۷)، مشخص شده است.

### ارزیابی آثار معدنی

بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین بیشتر در راستای گسترش روشهایی برای جستجو و کشف توده‌های معدنی ناپیدا، هدایت شده است. بنابراین، این امر که هاله‌های نخستین همیشه به شکل ویژه‌ای تنها برای کشف کانی‌سازی ناپیدا، مورد بررسی قرار می‌گیرند، تصادفی نیست. با اینهمه، بررسیها نشان داده است، زون‌بندی قائم مشخصی در توزیع عناصر شاخص، نه تنها ممکن است از مقایسه هاله‌های بالا و پایین توده‌های معدنی آشکار شود، بلکه از مقایسه مقطعی عرضی هاله‌هایی که در ترازهای مختلف توده‌های معدنی تشکیل شده، نیز چنین برداشتی امکان‌پذیر است. بنابراین زون‌بندی قائم هاله‌های نخستین، هم در تمایز میان هاله‌هایی که پایین و بالای توده‌های معدنی (برای کشف کانی‌سازی ناپیدا) تشکیل شده و هم در ارزیابی تراز فرسایش توده‌های معدنی بروتزه، بکار می‌رود. مورد دوم جزء اصلی و عمده در ارزیابی ذخایر معدنی در ژرفا است.

بررسی جداگانه روشهای تعبیر و تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی برای کشف کانی‌سازی ناپیدا و ارزیابی منابع معدنی به این معنی نیست که این بررسیها مستقلاً انجام می‌شود، بلکه، این دسته‌بندی بیشتر برای سهولت کار اعمال می‌گردد. در عمل معمولاً این بررسیها با هم انجام می‌شود زیرا هر یک از آثار معدنی ممکن است توده‌های معدنی ناپیدا را در ژرفا و یا در کناره‌ها مشخص کند. این دلالت بر آن دارد که ارزیابی آثار معدنی نمونه برداری ژئوشیمیایی بایستی در خارج از مرزهای کانی‌سازی، در گستره‌های امیدبخش از نظر کانی‌سازی ناپیدا، نیز انجام گیرد. بدفعات مواردی دیده شده، که آثار معدنی شناخته شده با توجه به تراز فرسایش ژرف، امیدبخش به نظر نمی‌رسد، در حالیکه ممکن است، هاله‌های فوق کانساری توده‌های معدنی ناپیدا درست در مجاورت آنها یافت شود.

کاربرد مهم و بسیار زیاد هاله‌های نخستین در ارزیابی توان معدنی در ژرفا، هنگامی آشکار می‌شود که به این واقعیت توجه شود که عملاً در همه نواحی فلزدار، آثار معدنی بیشماری وجود دارد، و این آثار بایستی مورد ارزیابی قرار گیرد، تا امیدبخش‌ترین آنها انتخاب گردد.

تجربه‌های اخیر اهمیت کاربرد معیار زون‌بندی ژئوشیمیایی نخستین را هم در ارزیابی تراز سطح فرسایش آثار معدنی بروتزه و هم در رد آثار معدنی غیر امیدبخش (شدیداً فرسایش یافته)، تایید می‌کند. برای درک بهتر این مطلب نتایج حاصل از بررسیهای ژئوشیمیایی انجام شده در آثار معدنی

به منظور ارزیابی ذخایر معدنی قابل اکتشاف در افقهای ژرف که بوسیله این آثار معدنی ارائه شده، نمونه برداری ژئوشیمیایی از سنگ بستر در امتداد پروفیل های عمود بر جهت زون گسلی اصلی (شکل ۵۸) انجام شده است. در نتیجه ناهنجاریهای حاصله بوسیله عناصر بیشمار، آشکار شده است. پارامترهای مربوطه در جدول ۳۵ درج شده است. (به استثنای باریم که عملاً هاله های آن دیده نمی شود).

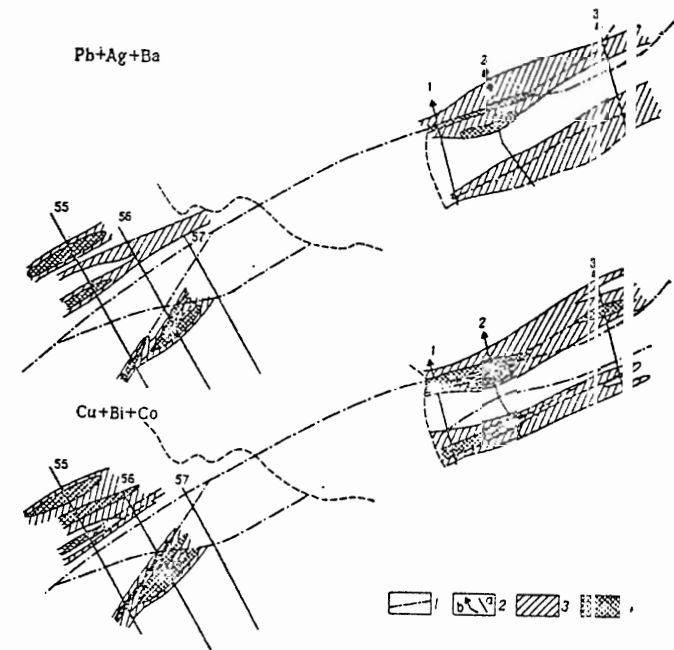
جدول ۳۵- نسبتهای بارآوری خطی هاله ها

ناحیه	شماره ناهنجاری	شماره پروفیل	Ag/Cu	Pb/Cu
کاماژاک بولاغ	I	۵۶-۵۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
		۵۷-۵۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
	II	۵۵-۵۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
مرض بولاغ		۵۶-۵۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	III	۱-۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
		۲-۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
	IV	۲-۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۶
استاندارد	بخش های بالایی		۰/۰۲-۰/۰۴	۰/۰۳-۰/۰۵
	کانی سازی			
مقطع عرضی	ریشه های کانی سازی		۰/۰۰۲	۰/۰۰۹

مقایسه میان پارامترهای ناهنجاریهای کشف شده و دانسته های حاصل از بررسی هاله های تشکیل شده در مجاورت ذخیره های شناخته شده که نشان داده است، نسبت بارآوری خطی هاله های تولید شده بوسیله عناصر شاخص اصلی در امتداد همه پروفیل ها، مربوط به بخشهای ریشه ای کانی سازی مس-بیسیموت (جدول ۳۵) است. با وجودی که عملیات در مقیاس وسیعی طرح ریزی شده بود، ولی این دانسته ها زمینه های کافی برای متوقف کردن عملیات حفاری در این گستره ها را فراهم کرد. البته با وجود ارزیابی منفی، گروه اکتشافی، پنج گمانه در این ناحیه حفر نمود، زیرا آثار معدنی بوسیله محیط زمین شناسی- ساختاری مطلوب مشخص شده بود و افزون بر آن، برونزدهای اقتصادی در سطح دیده شد. گمانه ها در ژرفاهای ۱۰۰ تا ۳۰۰ متری به یک زون گسلی دربرگیرنده ماده معدنی برخورد نمودند، ولی اثری از کانی سازی سولفوری دیده نشد. از اینرو ارزیابی منفی مبتنی بر نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیایی، تایید گردید. نمونه برداری بعدی از مغزه های بدست آمده از گمانه ها، این ارزیابی را بطور کامل تایید کرد. همچنانکه شکل ۵۹ نشان می دهد کانی سازی و هاله ها هر دو با افزایش ژرفا کاملاً نازک می شوند.

کاماژاک بولاغ<sup>۱</sup> و مرض بولاغ<sup>۲</sup> (گریکوریان و همکاران ۱۹۷۰) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. این آثار معدنی مس-بیسیموت، در کرم زار مرکزی واقع شده و به گسل کرم زار و درزه های پرماتند، محدود شده است. سنگهای درونگیر در این ناحیه را سنگهای خروجی پالئوزوئیک بالایی تشکیل می دهد (پرفیرلیت از سرور آب سایی).

گسل کاماژاک بولاغ-مرض بولاغ، اصلی ترین پدیده ساختاری سنگهای درونگیر معدنی در این میدان معدنی است. این گسل را در جهت شمال خاوری تا مسافت ۵/۵ کیلومتری می توان ردیابی نمود، که آثار معدنی کاماژاک بولاغ-مرض بولاغ را قطع می کند. این گسل، در خاور، به گسل ژلنی آرون<sup>۳</sup> منتهی می شود. توده های معدنی مس و بیسموت دارای ارزش اقتصادی، در ناحیه های توصیف شده و در سطح یافت شده است.



شکل ۵۸. هاله ها، افزایش (جمع) نخستین در سطح، در نواحی کاماژاک بولاغ و مرض بولاغ.  
 ۱- افقهای تکتونیکی، ۲- پروفیل های ژئوشیمیایی (a)، و گمانه های اکتشافی (b)، ۳ و ۴- مقادیر عناصر بر حسب واحد زمینه (۱.۳ تا ۲.۰، ۴- بیش از ۲.۰).

1- Kamazakbulak

2- Marazbulak

3- Zheleznyy

برای تعیین تراز سطح فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیائی نسبت به فاصله کانه‌دار (محل استقرار کانسنگ) میزان نسبت بارآوری خطی برای تک‌تک هاله‌های جمعی که بوسیله عناصر شاخص کانی‌سازی مس- بیسموت، بالا و پایین توده معدنی تشکیل شده، محاسبه شد (جدول ۳۶).

جدول ۳۶- نسبت‌های شاخص (گستره میدان تل)

ناهنجاری	پروفیل	نسبت
I	I-II	۳/۸
	II-II	۸/۹
	VII-VII	۴/۳
II	III-III	۱۰/۲
	IV-IV	۸/۶
III	V-V	۱۲/۶
مقطع استاندارد	بخش بالایی کانی‌سازی	۱/۰

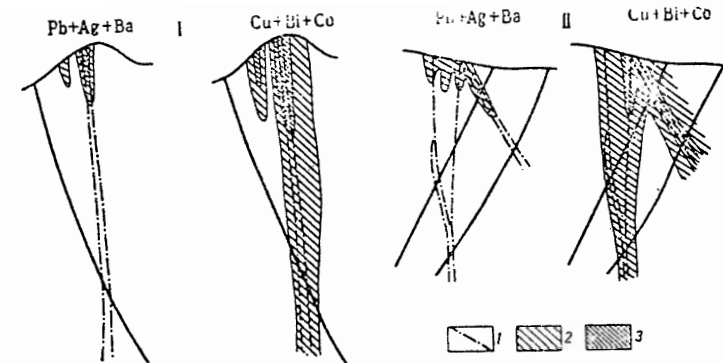
مقایسه میان این ناهنجاریها و مقطع استاندارد از کانی‌سازی شناخته شده، نشان می‌دهد، که در این گستره ناهنجاریهای فوق‌کانساری موجود است. تا بدینجا تنها یکی از ناهنجاریهایی که بر مبنای نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیائی امیدبخش تصور شده بود، بوسیله حفاری مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۳۶ ناهنجاری II). این حفاری ذخایر معدنی با ارزش اقتصادی را در ژرفا آشکار نمود.

از مقایسه گستره میدان تل با آثار معدنی یاد شده مربوط به کامازاک بولاغ و مرض بولاغ، روشن شد، که اگر بدون در نظر گرفتن تراز سطح فرسایش (تنها بر پایه بررسیها در سطح) توان معدنی آنها با هم مقایسه می‌شد، در آنصورت بیگمان به اشتباه، اولویت به گستره کامازاک بولاغ و مرض بولاغ، داده می‌شد. زیرا این گستره‌ها با برونزد کانه اقتصادی مشخص می‌شوند.

در بسیاری موارد، می‌توان تفاوت تراز سطح فرسایش را در گستره‌های مختلف، با مقایسه ساده چشمی میان ناهنجاریهای ژئوشیمیائی، آشکار نمود. این امر بویژه در مورد همه ناهنجاریهای مرکبی صدق می‌کند، که برای گروههایی از عناصر فوق‌کانساری ساخته شده است. محاسبات مربوطه، برآوردهای کلی را تأیید می‌کند. شکل ۶۰ نشان می‌دهد که گستره میدان تل از آثار معدنی کامازاک بولاغ- مرض بولاغ، به سبب داشتن هاله‌های افزایشی (جمعی) عناصر فوق‌کانساری (سرب، تهره و باریم) آشکارا متفاوت است.

آنچه در بالا یاد شد و نیز تجربه‌هایی از این گونه که در بررسیهای بسیاری از نواحی دیگر کشور\* بدست

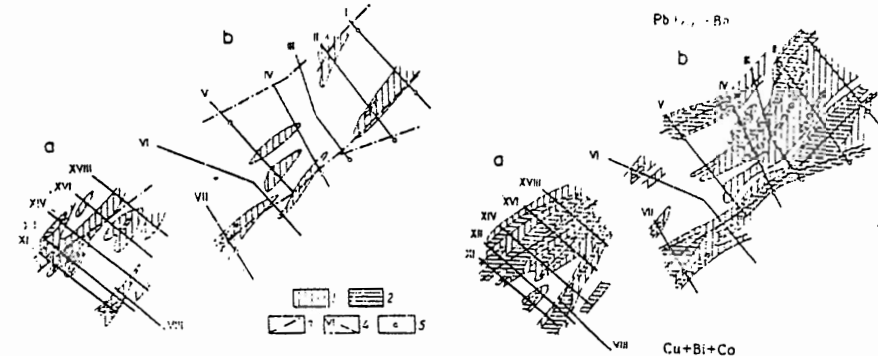
\* - منظور اتحاد جماهیر شوروی، طبق نقشه جغرافیایی پیش از تقسیم است.



شکل ۵۹- هاله‌های افزایشی نخستین در مقطع عرضی در آثار معدنی (I) مرض بولاغ و (II) کامازاک بولاغ. ۱- زونهای گسلی، ۲- هاله‌های افزایشی (جمعی)، ۳- میدانهای با مقادیر حداکثر، بیش از ۲۰ واحد زمینه.

ناحیه میدان تل، در حاشیه خاوری کانسار تاریکان واقع شده و از سنگهای خروجی پالئوزوئیک بالای با ترکیب اسیدی و متوسط تشکیل شده است. این سنگها شامل پرفیرهای فلسیت و اسفرولیت، ماسه سنگهای توفی و آندزیت پرفیری است، که بوسیله دایکهای مجزایی از پرفیریت‌های دیابازی و پرفیر فلسیت، با روند شمال و شمال خاوری قطع شده است.

این ناحیه بطور عمده بوسیله یک سری از گسله‌ها، در راستای شمال و شمال خاوری شکسته شده است. شکستگی و دگرسانی سنگها را می‌توان ملاحظه نمود. نمونه برداری ژئوشیمیائی از سنگ بستر در امتداد پروفیل‌های عمود بر گسله‌های اصلی به منظور ارزیابی توان معدنی در ناحیه، بعمل آمد. پردازش و بررسی داده‌های حاصل از نمونه برداری در ناحیه، ناهنجاریهای ژئوشیمیائی زیادی را آشکار ساخت، سه ناهنجاری مربوط به کانی‌سازی ناپیدا و کم فرسایش یافته، امیدبخش تشخیص داده شد (شکل ۶۰).



شکل ۶۰- هاله‌های افزایشی (جمعی) نخستین در سطح کانسارهای تاریکان (a) و میدان تل (b). ۱ و ۲- مقادیر عناصر بر حسب واحد زمینه (۰.۱ تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، بیش از ۴۰)، ۳- زونهای گسلی، ۴- پروفیل‌های ژئوشیمیائی، ۵- گمانه اکتشافی.

آمده است، دلالت بر این دارد که تعیین تراز سطح فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، بر اساس زون بندی قائم هاله های نخ تین با یک نوع کانی سازی همانند، بایستی همیشه مقدم بر ارزیابی توان معدنی در هر ناحیه ای که از نظر کانی سازی اندوژنیک امیدبخش است، قرار گیرد.

### تعبیر و تفسیر ناهنجاریهای چند سازندی

تا اینجا تنها بیارهای بکار رفته در تعبیر و تفسیر ناهنجاریهای حاصل از کانی سازیهای تکی (منفرد) مورد بررسی قرار گرفته است. بهر صورت چنانکه می دانیم، در برخی موارد بر نهاد (انطباق) فضایی رخنمایی کانی سازیهای گوناگون، ممکن است منجر به ایجاد هاله آمیخته گردد، هاله های به اصطلاح چند سازندی که قبلاً مورد بررسی رار گرفت (وچنکوف و گریگوریان ۱۹۷۰). در تفسیر نتایج بررسیهای ژئوشیمیایی بایستی این مسئله را در نظر داشت. در بسیاری موارد، امکان برخورد به ناهنجاریهای ژئوشیمیایی از نوع چند سازندی در بخش عملیات اکتشافی، در درجه اول به نمودهای متالوژنیک نواحی مورد بررسی، بستگی دارد. به احتمال زیاد، چنین ناهنجاریهایی در زون هایی با کانی سازیهای مختلف یافت می شود، بویژه در همبرهای میدانی که از کانسارهایی با ترکیبات مختلف تشکیل شده است.

در برخی موارد ممکن است ویژگی چند سازندی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، در نتیجه مشاهدات ساختاری-کانی شناسی تفصیلی، شناسائی شود. این بررسیها امکان آشکارسازی رخنمایی های سازندهای معدنی مختلف بود. هاله های معدنی تیپومورف آنها را در سطح، فراهم می سازد. با وجود این در مواردی که توده های معدنی، در یکی از این سازندها ناپیدا است، تعبیر و تفسیر معتبر ناهنجاریها نیاز به معیارهای اضافی دارد. زیرا ممکن است نشانه های کانی شناسی کانی سازی ناپیدا در سطح نمایان نشود. چنین معیارهایی، بر پایه ویژگیهای هاله های چند سازندی بررسی شده در بالا، ممکن است معیارهای ژئوشیمیایی نیز باشند.

همچنانکه پیش از این گفته شد، هاله های پیرامون توده های معدنی هر سازند معدنی، با ترکیب کانستگ تطبیق می کند و بوسیله ترکیبهای ویژه ای از عناصر شاخص متمایز می شود، به این معنی که کشف ناهنجاریهای برخی از عناصر، که نمونه وار سازند معدنی شناخته شده نیستند، بایستی به عنوان نشانه ای از تجلی ممکن سازند معنی دیگری در نظر گرفته شوند. برای مثال ناهنجاریهای اورانیم در توده های معدنی پلی متالیک طلا و سایر کانسارها، ممکن است وجود سازند معدنی جدیدی (اورانیم) را مشخص نماید، زیرا اورانیم بطور کلی مشخص هاله هایی که در این ذخیره ها تشکیل شده، نیست.

عناصر شاخص هاله های معنی عناصری که تیپومورف (مشخص کننده) چندین سازند معدنی است، ممکن است در تعیین رشت چند سازندی ناهنجاریها، مورد استفاده قرار گیرد. در چنین موردی، نسبتهای ابعاد (عرضهای) هاله های تشکیل شده بوسیله این عناصر، مورد استفاده قرار می گیرد. این ابعاد با ترکیب کانسار تغییر می کند. برای مثال هاله های اورانیم در کانسارهای اورانیم، گسترده ترین هاله هاست (اورانیم عنصری پویا است. در نرون هاله های اورانیم هاله هایی که بوسیله سایر عناصر تشکیل شده اند جای دارند.

وجود رابطه معکوس میان ابعاد هاله هایی که بوسیله این عناصر شاخص تشکیل شده، بایستی بعنوان نشانه احتمالی ناهنجاریهای چند سازندی تلقی شود. در این مورد نسبت بارآوری خطی هاله ها که در مقطعی عمود بر روند هاله ها محاسبه شده، بویژه آگاهیهای زیادی را ارائه می دهد. در مواردی که به علت کوتاه بودن پروفیل ها، تعیین عرض هاله ها امکان پذیر نباشد، می توان نسبت میانگین مقادیر ناهنجار عناصر را بکار برد، زیرا چنانکه پیش از این اشاره شد، سری عناصر شاخص بر اساس نسبت بارآوری خطی و بر مبنای نسبت میانگین مقادیر ناهنجاری، در عمل یکی است. طبیعی است که در تعیین ارتباط و پیوستگی سازندی ناهنجاریها، به کمک سری زون بندی عرضی هاله، بایستی تنها نتایجی مورد استفاده قرار گیرد، که حساسیت تجزیه ای یکسانی دارند.

در برخی موارد، در یک ناهنجاری ژئوشیمیایی چند سازندی منفرد، امکان دارد نقاط مرکزی (اپی ساتر) محدوده را که دارای حداکثر تمرکز عناصر می باشد، برای هر سازند شناسائی نمود. چنانکه تجربه نشان داده است، در چنین مواردی مفیدترین روش، روش ایجاد هاله های مرکب است. این مطلب قبلاً، بوسیله نقشه های توزیع عناصر شاخص (به شکل ۴۱ مراجعه شود) در ناهنجاریهای چند سازندی، که در نتیجه انطباق فضایی هاله های همراه کانی سازی مس - بیسموت و کانی سازی اورانیم، حاصل گردیده، نشان داده شده است. نقطه مرکزی (اپی ساتر) هاله های افزایشی (جمععی)، زون کانی سازی مس - بیسموت را به روشنی نشان می دهد، در حالیکه هاله هایی که بوسیله اورانیم و مولیبدن تشکیل شده، بر شکستگی آریبی که از زون اصلی منشعب می شود، انطباق می یابد (شکل ۴۱).

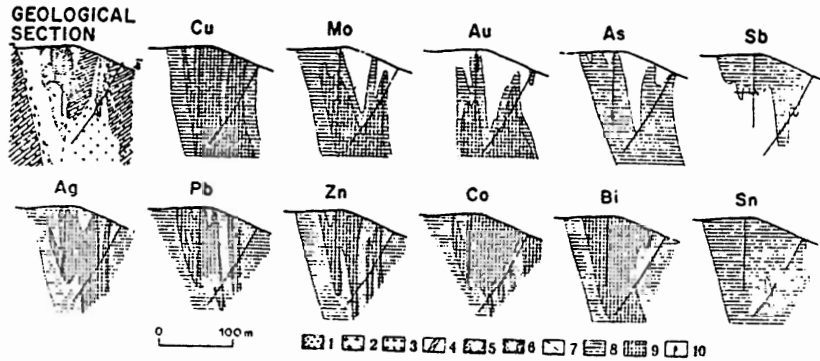
در تفسیر ناهنجاریهای چند سازندی ممکن است، از تحلیل همبستگی نیز استفاده شود همانطور که پیش از این یاد شد، معمولاً در یک ناهنجاری منفرد، همبستگی مثبت درخور ملاحظه ای میان مقادیر عناصر شاخص در هاله های نخستین، وجود دارد. در مورد ناهنجاریهای چند سازندی این همبستگی، عموماً منفی است.

دستورالعمل تعبیر و تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی چند سازندی با مثالی از ناحیه اورلینایا گورکای<sup>۱</sup> مرکزی که در حاشیه خاوری میدان معدنی کوروسای واقع است، مورد بررسی قرار می گیرد. پیش از بررسیهای ژئوشیمیایی، تنها کانسارها و برونزدهای معدنی با ترکیب پلی متالیک، در این ناحیه شناسائی شده بود. پژوهشهای ژئوشیمیایی (گریگوریان و همکاران ۱۹۶۹)، ناهنجاریهایی را آشکار نمود، که تفاوت شایان توجهی با هاله های تشکیل شده پیرامون توده های معدنی پلی متالیک دارد. افزون بر عناصر شاخص اصلی کانستگهای پلی متالیک، این ناهنجاریها بوسیله طلا نیز مشخص می شوند. این هاله ها مطلب دیگری را نیز نمایان می سازد که عبارت از مقدار افزوده مولیبدن، آرسنیک و آنتیموان نسبت به هاله هایی است که بوسیله کانسارهای پلی متالیک تشکیل شده اند. در جدول ۳۷ که مقادیر میانگین عناصر شیمیایی در ناهنجاری ناحیه اولینایا گورکای مرکزی، ارائه شده این مطلب را نشان می دهد. برای مقایسه، مقادیر عناصر در هاله های تشکیل شده پیرامون توده های معدنی سازند اسکارن - پلی متالیک نیز منعکس شده است.



جدول ۳۷- مقادیر میانگین عناصر شاخص در هاله‌های نخستین

کانسار				
عناصر شاخص	هاله‌های فوق‌کانساری	هاله‌های ترازهای بالایی توده‌های معدنی	اولین یا گورکای مرکزی	اکچکو
Cu(%)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱	۰/۰۷
Mo(%)	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷
As(%)	—	دیده نشده است	—	—
Ag(%)	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱۳
As/Cu	—	—	۰/۰۶	۰/۰۳
As/Mo	—	—	۱	۰/۳
Cu/Mo	۵۰	۶۷	۲۵	۱۰



شکل ۶۱. هاله‌های نخستین عناصر شیمیایی در مقطع II-II.

۱- سنگ آهک، ۲- گرانودیوریت- پرفیری، ۳- گرانودیوریت- پرفیری اسکارنی، ۴- پرفیریت دیابازی، ۵- اسکارن گارنت- پیروکسن، ۶- توده‌های معدنی سرب- روی، ۷- گسلها، مقدار عناصر بر حسب درصد، ۸- مس ۰/۰۱ تا ۰/۱، ۹- Mo ۰/۰۰۰۶ تا ۰/۰۰۵، Au ۱×۱۰<sup>-۶</sup> تا ۱×۱۰<sup>-۵</sup>، Sb, As کمتر از ۰/۰۰۵، Ag ۱×۱۰<sup>-۵</sup> تا ۱×۱۰<sup>-۳</sup>، ۱۰- Sn ۳×۱۰<sup>-۴</sup> تا ۰/۱، Cu ۰/۱ تا ۰/۰۰۵، Mo ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۰۱، Au ۱×۱۰<sup>-۵</sup> تا ۱×۱۰<sup>-۳</sup>، Ag ۱×۱۰<sup>-۳</sup> تا ۰/۰۵، Zn بیشتر از ۰/۰۵، Co ۰/۰۱ تا ۱×۱۰<sup>-۳</sup>، Bi ۱×۱۰<sup>-۳</sup> تا ۰/۰۱، چاههای حفر شده.

توسط یک سازند معدنی جدید ایجاد شده است، زیرا طلا شاخص کانی‌سازی سرب- روی نوع کوروسای نیست. نشانه دیگری از سازند معدنی جدید، وجود ناهنجاریهای وسیع و مشخص است که بوسیله آتیموان تشکیل شده است. هاله‌های تشکیل شده بوسیله این عنصر پیرامون توده‌های معدنی سرب- روی، بسیار نازک و در برخی موارد یافتن آنها بسیار دشوار است. آرسنیک نیز همانند آتیموان است.

شکل ۶۱ نشان می‌دهد که الگوهای ناهنجاری تشکیل شده بوسیله طلا و مولیبدن، با افزایش ژرفا به میزان تقریباً درخور توجهی گسترش پیدا می‌کند. مولیبدن را نیز نظیر طلا، نمی‌توان شاخص کانی‌سازی سرب- روی دانست، زیرا در چنین کانسارهایی هاله‌های نازک و وضعیفی را با مقادیر کمتر از ۰/۰۰۱ درصد تشکیل می‌دهد (جدول ۳۷). پهنای ناهنجاری مولیبدن با عیار بیشتر از ۰/۰۰۵ درصد در ناحیه مورد بحث، بیش از ۴۰ تا ۵۰ متر است.

مس، عنصر دیگری است که در مقایسه با هاله‌های مشخص‌کننده کانی‌سازی سرب- روی، رفتار ناهنجاری دارد. مس، گسترده‌ترین و قویترین ناهنجاریها را در ناحیه، تشکیل می‌دهد. مقدار آن در همه نمونه‌های برداشته شده از مقطعهای عرضی، بیشتر از مقدار ناهنجاری حداقل (آستانه) است. عرض محدوده ناهنجاری مس، با عیار بیش از ۰/۱، بیشتر از ۸۰ متر است. هاله‌های مس در ژرفا قویتر است.

بر مبنای الگوهای توزیع عناصر شاخص، در مقطع قائم، می‌توان دو گروه را به روشنی شناسایی نمود: ۱- عناصری که هاله‌هایشان گرایش مشخصی به نازک شدن در ژرفا نشان می‌دهد (آتیموان، سرب، روی، نقره و کبالت)،

تعبیر و تفسیر نتایج ناهنجاریهای ژئوشیمیایی عموماً حل مسائل زیر را دربردارد:

۱- تعیین گونه سازند معدنی (در مورد ناهنجاریهای چند سازندی تعیین گونه سازندهای معدنی) که باعث ناهنجاری شده است،

۲- ارزیابی توان معدنی گونه ویژه‌ای از کانی‌سازی.

آمیختن دانسته‌های ژئوشیمیایی سرشت چندسازندی ناهنجاریها، در ناحیه مورد بررسی، را می‌رساند. پیدایش این ناهنجاریها، در نتیجه انطباق فضایی هاله‌هایی است، که بوسیله سازند معدنی پلی‌متالیک، یا گونه‌های ناشناخته دیگری از سازندهای معدنی، تشکیل شده است (مشخص شده است که توده‌های معدنی با ترکیب پلی‌متالیک در ناحیه وجود دارد).

سرشت چندسازندی هاله‌های توصیف شده، بطور مشخصی در مقطع عرضی نشان داده شده است. شکل ۶۱ هاله‌های چند عنصر را نشان می‌دهد که بر پایه نتایج نمونه‌برداری از سنگ بستر در سطح، و نیز تونلهای مادر و مغزه‌های بدست آمده از گمانه‌هایی که به منظور بررسی کانی‌سازی پلی‌متالیک حفر گردیده، ترسیم شده است. سنگهای آهکی در ژرفا نازک می‌شوند. به نظر می‌رسد، این امر به دلیل محدودیت امکان کانی‌سازی اسکارن - پلی‌متالیک در ناحیه باشد. مؤید این نتیجه‌گیری، نازک شدن آشکار هاله‌های عناصر شاخص تیومورف این گونه کانی‌سازی (سرب، روی، نقره، شکل ۶۱)، با ژرفاست.

برای تعیین نوع یک سازند معدنی که اخیراً در این ناحیه کشف شده است، ترکیب عنصری ناهنجاریها و نیز الگوهای توزیع عناصر، هم در صفحه افقی و هم در مقطع عرضی، مورد بررسی قرار گرفته است. در این ناحیه از نظر وجود طلا، ناهنجاریهایی کشف شده، که از توجه ویژه‌ای برخوردارند. شدت و پهنای ناهنجاریها با زیاد شدن ژرفا افزایش زیادی می‌یابد (شکل ۶۱). ناهنجاریهای تولید شده بوسیله این عنصر، بیگمان

۲- عناصری که ماله‌های آنها با ژرفا گسترش یافته و قویتر می‌شود (طلا، مس و مولیبدن).

مقایسه میان ناهنجاری‌های کشف شده و هاله‌های مربوط به کانسارهایی با سازندهای معدنی دیگر، امکان دارد این هاله‌ها را همانند، الهه‌های نخستین کانسارهای مس پرفیری (با طلا) از نوع آتالیک بشمار آورد (شکل ۲۶). این نتیجه گیری بوسیله همانندی مقادیر میانگین مولیبدن و مس (عناصر شاخص اصلی کانی سازی مس پرفیری) در ناهنجاری نایب اورلینا یا گورکای مرکزی و هاله‌های فوق کانساری ذخیره مس پرفیری آکچکو<sup>۱</sup> (جدول ۳۷) تایید شده است.

پس از آنکه نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیایی، شواهدی را برای کانی سازی مس پرفیری در ناحیه ارائه داد، کارگه‌های قدیمی معدن دوباره مورد بررسی قرار گرفت، که شامل نمونه‌های شیاری نیز بود. بررسی‌های بعمل آمده مزید این نتیجه گیری است که فاصله‌های کانی سازی که قبلاً به آنها توجهی نشده بود، حاوی کانیهای پارازیتیک توده‌های مس پرفیری با مقدار اقتصادی مس، می‌باشد.

پس از آنکه مشخص شد چندسازندی ناهنجاریها ثابت شد، ارزیابی توان معدنی برای هر سازند ضرورت یافت. اکتشاف قبلی نشان می‌داد، که کانی سازی پلی متالیک با ارزش اقتصادی، در ناحیه وجود ندارد، زیرا توده‌های معدنی شناخته شده در سطح، با ژرفا نازک می‌شود. نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیایی نیز این نتیجه گیری را تایید نمود، که هاله‌های تشکیل شده بوسیله عناصر شاخص که تیپومورف کانی سازی پلی متالیک است، اسرب، روی و نقره، با ژرفا نازک می‌شود (شکل ۶۱). در صورتیکه توده‌های معدنی ناپیدا با ترکیب پلی متالیک در ژرفا وجود می‌داشت، نازک شدن هاله‌ها در ژرفا پیش نمی‌آمد. اگر بر نهاد هاله‌های کانی سازی مس پرفیری بر هاله‌های پلی متالیک موجود نبود، نازک و محو شدن هاله‌های کانی سازی پلی متالیک، با ژرفا بیشتر جلوه می‌نمود، زیرا کانی سازی مس پرفیری نیز بوسیله هاله‌های تشکیل شده از سرب و نقره، مشخص می‌شود. در هر حال، به علت بیشتر بودن تمرکز این عناصر در هاله‌های کانی سازی پلی متالیک، این هاله‌ها، هاله‌های همراه سازند مس پرفیری را نیز تحت الشعاع قرار می‌دهد، که این امر نازک شدن آشکار کانی سازی پلی متالیک، با ژرفا را نشان می‌دهد.

به سبب فراوانی هاله‌های قوی در ناحیه که بوسیله سرب، روی و نقره تشکیل شده است، از این عناصر در ارزیابی توان معدنی کانی سازی مس پرفیری در ناحیه نمی‌توان استفاده نمود. بنابراین، برای حل این مسئله، ویژگیهای توزیع عناصری که عمدتاً با کانی سازی مس پرفیری همراه است، مورد توجه و بررسی قرار گرفت. این عناصر عبارتند از: مس، مولیبدن، طلا و به مقدار جزئی آرسنیک. از مقایسه میان نسبتهای مقادیر میانگین این عناصر و پارامترهای هاله‌های فوق کانساری کانسار استاندارد مس پرفیری (شناخته شده) (جدول ۳۷)، چنین نتیجه گیری می‌شود، که ناهنجاریهای کشف شده، سرشت فوق کانساری دارد. این نتیجه گیری با رفتار هاله‌های تشکیل شده بوسیله عناصر شاخص اصلی کانی سازی مس پرفیری، بخوبی مطابقت دارد. در شکل ۶۱ می‌توان دید، که هاله‌های مس و مولیبدن با ژرفا گسترش می‌یابد. در این زمینه، نمایانگر ویژه رفتار طلاست، که هاله‌های اساساً آنها در ژرفا آشکار می‌شود. این امر بیگمان، سرشت

1- Akcheku

فوق کانساری ناهنجاریها را نشان می‌دهد زیرا قویترین هاله‌های این فلز، در کانسارهای مس پرفیری شناخته شده در سطح توده معدنی، گسترش می‌یابد.

دانسته‌های بالا، و بویژه ابعاد گسترده ناهنجاریها و گسترش مشخص آنها در ژرفا، این نتیجه گیری را ممکن می‌سازد، که ناحیه اورلینا یا گورکای مرکزی، از دیدگاه کانی سازی ناپیدا، امیدبخش است. انجام عملیات اکتشافی توصیه گردیده، همچنین توصیه شده است که به منظور ارزیابی توان کانی سازی مس پرفیری در سرتاسر ناحیه، بررسی‌های ویژه‌ای، از جمله بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام گیرد و مناسبترین گستره‌ها برای این نوع کانسارها شناسایی شود.

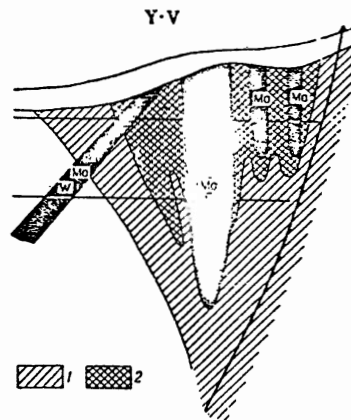
تعبیر و تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی چندسازندی مسئله‌ای بسیار دشوار است، که حل آن تنها در صورت داشتن اطلاعات جامع، و برخورد جدی امکان پذیر است. این دانسته‌ها شامل: همه داده‌های زمین شناسی و در درجه اول نمودهای زمین شناختی- ساختاری است که گستره‌های ویژه‌ای را در بر می‌گیرد. پژوهش بیشتر در باره هاله‌های ژئوشیمیایی چندسازندی و گسترش معیارهای معتبرتر برای تفسیر هاله‌ها، مسئله‌ای بسیار ضروری است، زیرا چنانکه تجربه‌های اخیر نشان داده است، چنین هاله‌هایی بسیار گسترده‌تر از آنست که پیش از این می‌پنداشتند. بررسی‌های بر عوامل تاثیرگذار بر این پدیده نیز اهمیت دارد، زیرا آگاهیهای قطعی تری را در باره زون بندی‌های نخستین فراهم می‌کند، که معیارهای اصلی و عمده در تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی است. در بسیاری موارد، تغییرات در زون بندی هاله‌ها، در کانسارهای گرمایی و پیدایش زون بندی «معکوس» ممکن است ناشی از هاله‌های چندسازندی باشد.

چنین زون بندی ژئوشیمیایی «معکوس» ممکن است بوسیله کانسار شورال، که پیش از این توصیف شده، نشان داده شود. عناصر شاخص کانی سازی فلز کمیاب با دمای زیاد (تنگستن، مولیبدن، جز اینها)، که در آنجا رخ می‌دهند، بوسیله هاله‌های تشکیل شده از سرب، روی و نقره، که شاخصهای نمونه‌وار کانی سازی پلی متالیک است در ژرفا، جایگزین می‌شوند (شکل ۴۳). بررسی‌های ژئوشیمیایی تفصیلی در این کانسار و همچنین در چندین کانسار دیگر، نشان داده است، که در این مورد با هاله‌های چندسازندی سروکار داریم، که در نتیجه انطباق فضایی کانی سازی اسکارن- شیلیت و پلی متالیک، تشکیل شده است. این هاله‌ها محصول دو مرحله کاملاً مستقل کانی سازی است، که ممکن است بطور جداگانه (هاله‌های تک سازندی با زون بندی مستقیم) و یا به صورت آمیخته (هاله‌های چندسازندی) بیان شود. در مورد دوم، وابستگی فضایی میان فرآورده‌های این مراحل کانی سازی، ممکن است تغییرات گسترده‌ای یابد. سرشت زون بندی هاله، به یقین، به این تغییر بستگی خواهد داشت. زون بندی معکوس در کانسار شورال دیده می‌شود. در حالیکه در کانسار تولی III این الگو متفاوت است (میدان معدنی کوروسای)، یعنی کانی سازی اسکارن- پلی متالیک، در ژرفا بوسیله کانی سازی اسکارن- شیلیت جایگزین می‌شود، بطوریکه زون بندی «مستقیم» در هاله‌ها نمایان می‌گردد.

کانسار تنگستن- مولیبدن تاین یا اوژ<sup>۱</sup> مثال مشخص کننده دیگری، از زون بندی ژئوشیمیایی بسیار پیچیده است. بررسی زون بندی ژئوشیمیایی توده‌های معدنی و هاله‌های نخستین پیرامون آنها (آبرامسون<sup>۲</sup> و

1- Tyrnyaus

2- Abramson



شکل ۶۳. هاله‌های ضربی (چندبارگی) ایتریم و وانادیم در مقطع عرضی. ۱ و ۲ - ضرایب مقادیر عنصر، % (۱-۱ تا ۱۰-۶، ۲-۱۰ تا ۵-۱۰) برای علامت دیگر به شکل ۶۲ مراجعه شود.

است که در صورت همراه بودن با توده‌های معدنی کوارتز و مولیدنیت، هاله‌های فوق کانساری مشخصی را تشکیل می‌دهند (شکل ۶۳). این گسترش انتخابی، هاله‌های این عناصر را بعنوان شاخصهای معتبری برای کانی‌سازی مربوطه، معرفی می‌نماید.

مطالب یاد شده دال بر آنست که در بسیاری از موارد، علل تغییر در زون‌بندی هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، می‌بایستی در موارد زیر جستجو گردد:

۱- گسترش هاله‌های چندسازندی،

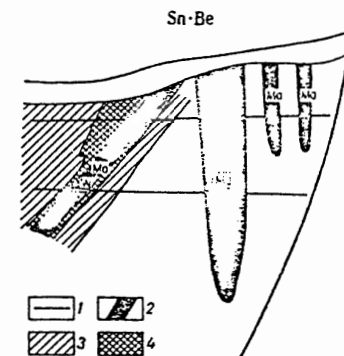
۲- انطباق فضایی توده‌های معدنی و کانسارها (ذخایر)، که از نظر ترکیب و محیط تشکیل تفاوت دارند، و در مراحل مختلف کانی‌سازی تشکیل شده‌اند.

گریکوریان (۱۹۷۲) نشان داده است که هاله‌های چندساختی نیز در این کانسار فراوان است. تشکیل هاله‌های چندسازندی در نتیجه انطباق فضایی هاله‌های نخستینی است که بوسیله کانی‌سازهای کوارتز - مولیدن و اسکارن - شیلیت، تشکیل می‌شوند.

بررسی تفصیلی ویژگیهای گسترش هاله‌های ژئوشیمیایی، پیرامون کانسارهای کم‌ویش مجزا، با ترکیب اسکارن - شیلیت و کوارتز - مولیدنیت، نشان داده است، که زون‌بندی هاله‌های آنها با سری تیپومورف زون‌بندیهای عنصری فوق، مطابقت کامل دارد. بویژه کانی‌سازی اسکارن - شیلیت بوسیله هاله‌های مولیدن مشخص می‌شود، قلع و باریم نسبت به هاله‌های تنگستن به طرف بالا تغییر مکان پیدا می‌کند. از سوی دیگر برای توده‌های مولیدنیت، تنگستن شاخص بخشی از هاله می‌باشد، که زیر توده‌های معدنی قرار می‌گیرد. در هاله‌های چندسازندی که در ناحیه‌هایی از توده‌های معدنی که نزدیک به هم بوده و دارای هر نوع سازند معدنی است، قرار گرفته‌اند، این الگو بشدت مورد اغتشاش قرار می‌گیرد. در چنین مواردی، سرشت زون‌بندی بطور عمده، به وابستگی فضایی میان توده‌های معدنی و ترکیبات مختلف بستگی دارد.

بررسیهای انجام شده در کانسار تاین یا اوز نشان داده، که در تعبیر و تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی چندسازندی، استفاده از عناصری که تنها شاخص یک نوع کانی‌سازی هستند، معتبرتر است.

یک بررسی مقایسه‌ای از نمودهای نمایش داده شده بوسیله هاله‌های نخستین کانسار یاد شده، بویژه، امکان قبول این واقعیت را فراهم ساخت که بریلیم و قلع چنین شاخصهای ویژه‌ای برای کانی‌سازی اسکارن - شیلیت می‌باشند. هاله‌های این عناصر همیشه بطور انحصاری، همراه با کانی‌سازی اسکارن - شیلیت است، و توده‌های معدنی کوارتز - مولیدنیت را قطع می‌کند (شکل ۶۲). این ذخیره‌ها بوسیله عناصر شاخص ویژه‌ای نیز مشخص می‌گردد که مشخص‌کننده کانی‌سازی اسکارن - شیلیت نمی‌باشند. این عناصر ایتریم و وانادیم



شکل ۶۲. هاله‌های چندبارگی (ضربی) بریلیم و قلع در مقطع عرضی. ۱- کارگاههای معدنی، ۲- توده‌های معدنی: اسکارن شیلیت (Mo, W) و کوارتز-مولیدنیت (Mo)، ۳ و ۴- حاصل ضرب مقادیر عناصر بر حسب درصد (۳-۷ تا ۱۰-۱، ۴- بیش از ۱۰-۷).

## فصل ۶

### هاله‌های لیتوژئوشیمیایی دومین سوپرژن (برین‌زاد) ورشته‌های پراکندگی کانسارها

#### مقدمه

تاکنون اکتشاف ژئوشیمیایی با استفاده از هاله‌های دومین ورشته‌های پراکندگی، برای کشف توده‌های معدنی، از مهمترین روشهای اکتشافی بوده است. این روشها، بر پایه هاله‌های پراکندگی دومین قرار دارد که در طول هوازدگی سوپرژن (برین‌زاد) کانسارها در مواد سطحی (خاک، آبرفت (الوویال)، شیرفت و جزاینها) بوجود می‌آید. در نتیجه هاله پراکندگی دومین، عبارت از زون موضعی (محلی) عناصر معینی است که تمرکز آنها، به شکل غیرعادی زیاد و شاخص کانی‌سازی می‌باشد. این زون در مواد سخت نشده‌ای تشکیل می‌شود که بر روی بروزدهای توده‌های معدنی و هاله‌های نخستین آنها در تراز سطح فرسایش کنونی قرار گرفته و آنها را دربر می‌گیرد.

رشته‌های پراکندگی نوع خاصی از هاله‌های دومین می‌باشد. این رشته‌ها معمولاً دارای شکلی از هاله‌های دومین است، که بطور خطی ۱- در ذخیره‌های آبرفتی دره‌های رودخانه‌ای، و ۲- از چشمه‌ها، امتداد یافته است. وجود این رشته‌ها مرهون تخریب برین‌زاد (سوپرژن) کانسارها، نیز تخریب هاله‌های نخستین و دومین آنها، در حوضه زهاب معینی می‌باشد.

نزدیک به چهل سال است، تکنیک‌های مبتنی بر هاله‌های پراکندگی دومین مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روشها برای اولین بار در سال ۱۹۳۰ در اتحاد جماهیر شوروی و هنگامی بکار رفت که سافرونوف، سولوووف و دیگران، مفاهیم اصلی را فرموله کرده، و دامنه مسائلی از زمین‌شناسی را مشخص نمودند، که با استفاده از الگوهای هاله‌های پراکندگی دومین حاصل از کانسارها، قابل حل است.

ارقام زیر ممکن است اهمیت هاله‌های دومین را نشان دهد. بر طبق داده‌های بکزژانوف<sup>۱</sup> و همکارانش

1- Bekzhanov

(۱۹۷۲)، تنها در قزاقستان در طول سالهای بین ۱۹۴۷ تا ۱۹۶۹ بیش از ۶۰ میلیون نمونه ژئوشیمیایی گردآوری و بررسی گردیده و بیست کانسار جدید و ۱۵۰ آثار معدنی کشف شده است. داده‌های همانندی برای زون‌های دیگری در اتحاد جماهیر شوروی در دسترس است. خارج از اتحاد جماهیر شوروی، بر طبق داده‌های بدست آمده بوسیله انجمن ژئوشیمی‌دانهای اکتشافی، حدود پنج میلیون نمونه ژئوشیمیایی (در دنیای غرب) از ژوئن ۱۹۷۲ برداشته و تجزیه شده است.

همچنانکه تجارب بدست آمده از ژئوشیمیایی بزرگ - مقیاس افزایش می‌یافت، روشهای نمونه‌برداری و تجزیه، مرتب بهسازی و اصلاح شده و جنبه‌های تئوری مسائل مربوطه، مورد پژوهش قرار می‌گرفت.

بررسیهای انجام شده توسط سولووف، سهم بسزائی در گسترش تکنیک‌های اکتشافی با استفاده از هاله‌های دومین و رشته‌های پراکندگی عناصر شاخص داشته است. نویسنده این کتاب هاله‌های پراکندگی دومین عناصر شیمیایی را طبقه‌بندی نموده، مفاهیم اصلی را برای تفسیر و ارزیابی کمی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی سرپرژن، به فرمول درآورده است.

مسائل مربوط به اکتشافات و پی‌گردی ژئوشیمیایی تئوری و عملی کانسارها، مبتنی بر هاله‌های دومین و رشته‌های پراکندگی بر اساس بررسیهای ارمیوف<sup>۱</sup> و کفیا تکوفسکی<sup>۲</sup> و پولیکاروپوشکین<sup>۳</sup> و دیگران گسترش و پیشرفت بیشتری یافته است. ژئوشیمی‌دانهای خارجی مانند ب<sup>۴</sup>، هواکز<sup>۵</sup>، تومز<sup>۶</sup> و دیگران نیز در این زمینه سهم بسزائی داشته‌اند.

پرلمان<sup>۷</sup>، گلایزوفسکایا<sup>۸</sup>، دوبروفولسکی<sup>۹</sup> و دیگران، تلاش زیادی در تحقق و تثبیت روشهای تئوری نمودند. این دانشمندان به بررسی تاثیر منظر محیطهای ژئوشیمیایی ویژه بر مهاجرت عناصر شیمیایی و تشکیل هاله‌های پراکندگی دومین پرداختند.

مسائل مربوط به شیوه کار در اکتشاف لیتوژئوشیمیایی کانسارها، با استفاده از هاله‌های دومین و رشته‌های پراکندگی، توسط پژوهندگان نامبرده و دیگر همکارانشان، در نشریات بیشمارى به تفصیل مورد بحث قرار گرفته است. بنابراین در باره این مسائل، تنها تا آنجائی که برای کاربرد عملی لازم است و نیز برای استفاده از هاله‌های دومین و رشته‌های پراکندگی همراه با روشهای اکتشافی دیگر، بررسی خواهد شد.

همچنانکه پیش از این گفته شد، هاله‌های پراکندگی دومین که از فرسایش کانسارها نتیجه می‌شوند، در محیطهای طبیعی مختلفی تشکیل می‌گردند. عوامل اصلی عمل‌کننده در این شرایط، فرآیندهای آب و هوازدگی فیزیکی و شیمیایی است، که بر سنگها و کانه‌های ابتدایی، دوباره اثر نموده و مواد سنگی سخت‌نشده‌ای را تشکیل می‌دهد.

فرآورده‌های دگرسانی سوپرژن کانسارها، در اثر فرآیندهای مکانیکی، فیزیکی، فیزیکی - شیمیایی و بیوشیمیایی به داخل مواد سخت نشده مهاجرت نموده و در آنجا به یکی از سه شیوه زیر ثابت (ناپویا) می‌شود:

1- Eremeev	2- Kvyatkovskii	3- Polikarpochkin
4- Webb	5- Hawkes	6- Tooms
7- Perel'man	8- Glazovskaya	9- Dobrovol'skii

۱- به شکل انباشتهای معدنی اصلی خود، ۲- به صورت ترکیبهای مختلفی که به طور شیمیایی تلفیق شده‌اند و ۳- جذب بوسیله مواد سنگی سخت نشده‌ای که هاله‌های دومین را دربر گرفته‌اند، صورت می‌گیرد.

### طبقه‌بندی هاله‌های دومین

هاله‌های پراکندگی دومین، معمولاً بر حسب حالت فیزیکی خود، به هاله‌های مکانیکی (پاره‌ای) و آبگونه (نمک) طبقه‌بندی می‌گردند. هاله‌های مکانیکی هاله‌های دومینی است، که اجزای کانه‌ای در آنها بصورت کانه‌های نخستین و یا دومین در زون سوپرژن پایدار بوده و بطور مکانیکی مهاجرت می‌کنند. هاله‌های آبگونه، هاله‌هایی است، که در نتیجه مهاجرت عناصر، به صورت ترکیبات محلول در آبهای طبیعی (به انگلیسی اینها را بیشتر «شیمیایی» می‌خوانند) تشکیل می‌شود. هاله‌های پراکندگی دومین بیشتر ترکیبی از هر دو نوع هاله یعنی مکانیکی - آبگونه می‌باشند.

هاله‌های پراکندگی دومین، بسته به ویژگی سنگهای درونگیر و محیط رسوبی، به دو دسته تقسیم می‌شود:

۱- هاله‌های جامانده (که بوسیله فرآورده‌های هوازدگی بر روی توده معدنی موجود پیشین یا هاله‌های نخستین آن تشکیل شده است) و ۲- هاله‌های برنهادی (که در محدوده آنها اثری از کانی‌سازی نخستین مقدم بر گسترش هاله، وجود ندارد).

با توجه به سطح کنونی، هاله‌ها، به هاله‌های نمایان (باز) که در سطح کنونی پدیدار می‌شود و هاله‌های دفن شده (بسته) که در ژرفایی زیر سطح تشکیل می‌شوند (و یا هم‌اکنون در آنجا یافت می‌شوند)، طبقه‌بندی می‌گردند. هاله‌های نمایان ممکن است، بوسیله نمونه‌برداری از افقهای خاکی بالایی کشف و بررسی گردند، در حالیکه هاله‌های دفن شده بوسیله نمونه‌برداری از ژرفا کشف می‌شوند.

در عملیات اکتشافات ژئوشیمیایی، ترازى از هاله دومین که مشخصترین و مطلوبترین سطح برای نمونه‌گیری است، «افق نمونه‌برداری نماینده یا معرف» نامیده شده است. معمولاً این افق یک افق ژنتیکی مشخص در خاک و یا در نهشته‌های سخت نشده است، و موقعیت آن نسبت به سطح، ژرفای نمونه‌برداری ژئوشیمیایی را معین می‌کند.

بر پایه تجارب بدست آمده از اکتشافات ژئوشیمیایی، شامل هاله‌های پراکندگی دومین در منطقه‌های طبیعی گوناگون، سولووف توانست کل این هاله‌ها را به نمونه‌وارترین گروههایی که در عمل، احتمال برخورد با آنها وجود دارد، طبقه‌بندی نماید که هفت گروه از آنها (که گونه‌ها نامیده می‌شوند) مشخص گردیده و در زیر شرح داده می‌شود.

گروه اول - هاله‌های نمایان جامانده، که در زون‌هایی که فرسایش آنها فعالانه صورت می‌گیرد، در رسوبهای آبرفتی - سیلابی تازه رخ داده، تشکیل می‌گردند (شکل ۶۴).

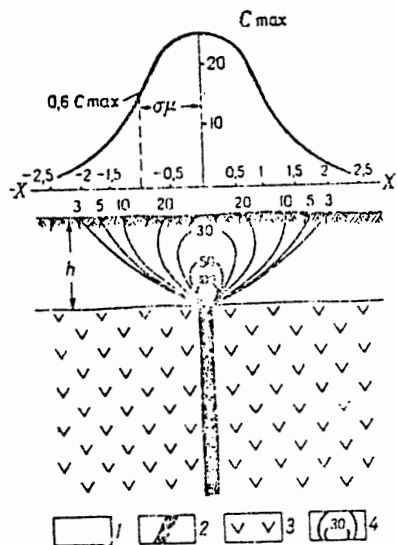
هاله‌های پراکندگی جامانده همیشه شامل فرآورده‌های فروپاشی آواری کانسارها و هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین آنها است. در شرایط آب و هوایی خشک ویژه مناطق کویری، که آب و هوازدگی فیزیکی بطور شایان توجهی بر آب و هوازدگی شیمیایی چیره است، جزء سازنده مکانیکی هاله جامانده،

پدیده مهاجرت مکانیکی در فرآیند تشکیل هاله‌های پراکندگی جامانده، غالب است. این امر در مورد عناصری که دارای پویایی زیاد بوده و بوسیله ذرات پراکنده بسیار ریز موجود در ناهنجاری جذب می‌شوند، نیز صدق می‌کند. معمولاً رابطه نسبی معکوسی میان پویایی یک عنصر شاخص و انباشت آن در این گونه هاله‌ها وجود دارد. هر چه عنصر پویاتر باشد، آسانتر می‌تواند به ماورأ هاله‌ها حرکت کند. در نتیجه هاله‌های جامانده، از عناصری که در محیطهای گوناگون به آسانی مهاجرت می‌کنند، بطور نسبی تهی یا رقیق می‌شود.

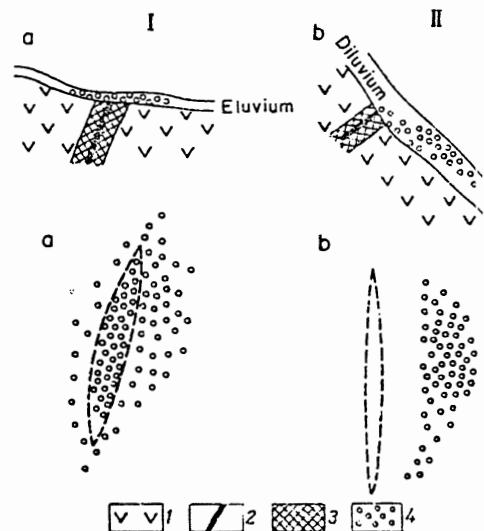
سولووف یک مدل نظری برای هاله‌های نمایان جامانده طرح نمود. این مدل امکان تشریح کمی فرآیندهایی را، که میان این هاله‌ها رخ می‌دهد، فراهم می‌کند. سولووف همچنین فرمولهای زیادی را برای مقایسه کمی و تفسیر چنین هاله‌هایی پیشنهاد نموده است.

بنابراین، در مورد یک هاله دومین ایده‌آل، که روی یک توده معدنی فرسایش یافته قرار گرفته، اگر فرض شود، ذخیره فلزی اصلی در خود توده معدنی متمرکز شده (بدون توجه به هاله نخستین)، نمودار تغییرات عیار عناصر کانه‌ای (C<sub>x</sub>)، همانطور که در شکل ۶۵ نشان داده شده است، در امتداد پروفیل عمود بر جهت توده معدنی خواهد بود و از فرمول زیر پیروی می‌کند:

$$C_x = \frac{M}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} + C_\phi$$



شکل ۶۵. مقطع قائم یک هاله پراکندگی نمایان جامانده ایده‌آل، همچنین نمودار توزیع عناصر کانه‌ای مربوطه (از سولووف).  
۱. آلومینوم، ۲. توده معدنی، ۳. سنگ درونگیر، ۴. خطوط ارتباط دهنده نقاط هم غلظت فلزی.

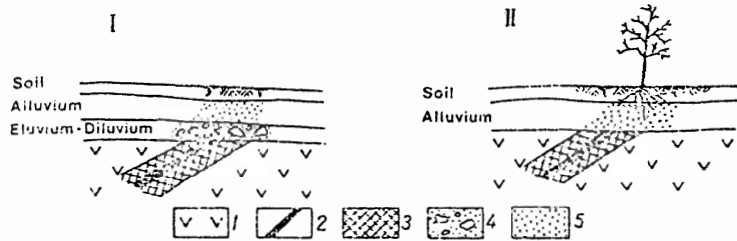


شکل ۶۴. هاله‌های پراکندگی دومین نمایان جامانده I. بدون تغییر مکان، II. تغییر مکان یافته: (a) در مقطع عرضی، (b) در صافه.  
۱. سنگ درونگیر، ۲. توده کانساری، ۳. هاله ژئوشیمیائی درونزاد (اندوژنیک) ۴. هاله پراکندگی جامانده.

ممکن است بطور محسوسی بیشتر باشد. هاله‌های پراکندگی جامانده بر اثر عملکرد باد نیز بوجود می‌آیند، که تقریباً بطور اخته اصل شامل فرآورده‌های هوازدگی آواری کانسارهای معدنی است. در نواحی معتدل مرطوب هاله‌های جامانده معمولاً آمیخته‌ای از گونه مکانیکی - آبگونه است. جزء مکانیکی بوسیله ذراتی از کانیهای معدنی، در برابر هوازدگی مقاوم است، و نیز بوسیله فرآورده‌های نامحلول و کم‌محلول دگرسانی کانه‌ها و کانیهای فرسایش آنها که شامل عناصر شاخص نمونه‌وار (تیبیک) کانی‌سازی معینی است، تامین می‌گردد.

جزء آبگونه بین هاله‌ها، تا اندازه زیادی، به جذب یونهای فلزی محلول مربوط می‌گردد، که بوسیله ذرات رس و نیز اکسیدهای آهن و منگنز، که ممکن است در هاله وجود داشته باشد، وابسته است. در طرحهای اکتشافاتی که مارج آنها توسط برنامه عمرانی سازمان ملل (UNDP) تامین گردیده، بر پایه دانسته‌های ژئوشیمیایی حاصله از اکتشافات بعمل آمده در زون‌هایی با شرایط اقلیمی متفاوت جامانده، همچنانکه از اجزاء با دانه‌بندی ۳۵۰:۱۰۰ مش به اجزاء رس نزدیک می‌شویم، مقدار ضرایب متمرکز (غلظت) عناصر در هاله‌های جامانده از ۲۰ تا ۴۰ برای مس و از ۵ تا ۱۰ برای مولیبدن، روی و سرب، تغییر می‌کند. این رابطه، برای عناصر، تانگیم، نیوبوم و بریلیم و یا تنگستن صادق نیست، زیرا این عناصر بطور عمده در اجزاء سازنده مکانیکی هاله‌ها حضور می‌یابند.

خاک وجود داشته باشد، فرآیندهای انباشت بیژنیکی نیز ممکن است در تشکیل هاله‌های پراکندگی برنهادی نمایان، سهم باشند (شکل ۶۶).



شکل ۶۶- هاله‌های پراکندگی دومین نفوذی (برنهادی) نمایان I- تشکیل شده بر روی هاله جامانده، II. با یک جزء سازنده بیژنیکی در بخش بالایی).  
 ۱- سنگهای درونگیر، ۲- توده معدنی، ۳- هاله ژئوشیمیایی اندوژنیک (درونزاد)، ۴ و ۵- هاله‌های پراکندگی [۴- جامانده، ۵- نفوذی (نشتی)].

پخش عناصر شاخص در هاله‌های نفوذی برنهادی در خاکها، تا حد زیادی بستگی به خصلت پروفیل خاک دارد (شکل ۶۷). در خاکهای مرطوب با زهکشی کم، انباشت فلزات در افق A که از مواد آلی پرمايه است، رخ می‌دهد. در خاکهایی که تفریق بیشتری یافته و بخوبی زهکشی شده‌اند، حداکثر انباشت عناصر شاخص در افق B که به نظر می‌رسد برخی از اجزای سازنده از افق بالایی A در آنها نفوذ کرده باشد، صورت می‌گیرد. تمرکز فلزات در افق B ویژگی دامنه وسیعی از انواع مختلف خاکها می‌باشد که از خاکهای لومی<sup>۱</sup> و چرنوزم<sup>۲</sup> در مناطق با آب و هوای معتدل گرفته تا خاکهای لاتریتی<sup>۳</sup>، تیبیک مناطق گرم و مرطوب (جداول ۳۸ و ۳۹) را می‌پوشاند. بنابراین، به استثنای خاکهای با زهکشی کم، و نیز برخی انواع خاکهای زون‌های خشک و نیمه خشک که در آنجا هیچگونه تفاوت محسوسی در بخش عناصر شاخص در امتداد پروفیل خاک وجود ندارد، افق B بهترین افق معرف برای نمونه برداری از هاله‌های پراکندگی برنهادی نمایان با خاستگاه نفوذی است.

برای تخمین نرخ انباشت یک عنصر شاخص در پروفیلی از خاک، نسبت به سنگی که خاک مورد نظر در آن تشکیل شده، در برخی موارد استفاده از ضرایب انباشت خاک  $C_{ac}$  مفید است. این ضرایب عبارتند از نسبت  $C_{soil}$  به  $C_{pr}$  که  $C_{soil}$  مقدار عنصر شاخص در خاک و  $C_{pr}$  مقدار همان عنصر در سنگ مادر است. بیشتر از یک بودن ضرایب انباشت خاک، نشاندهنده انباشت عنصر در افق خاک است. از سوی دیگر، کمتر بودن این ضرایب از یک، ویژه عناصری است که از پروفیل خاک خارج شده‌اند. جدول ۴۰ ضرایب انباشت خاک در افقهای ژنتیکی خاکهای همیشه منجمد نواحی جنگلی و کوهستانی در آتسوی بایکال خاوری را نشان می‌دهد.

1- Loamy	2- Chernozem	3- Laterite
----------	--------------	-------------

که در آن  $C_x$  تمرکز فلز در نقطه‌ای از هاله به فاصله  $x$  از رگه کانه است.  $M$  مقدار کمی فلز در هاله است.  $\sigma$  عبارتست از ضریب پراکندگی، که پیچیدگی‌های محیطهای موضعی را بحساب می‌آورد.  $C_\phi$  مقدار زمینه عنصر است.

ارتباط پارامترهای  $M$  و  $C_{max}$  هاله دومین مطابق فرمول زیر می‌باشد:

$$M = C_{max} \sqrt{2\pi}$$

که  $C_{max}$  مقدار حداکثر یک عنصر در نقطه مرکزی هاله است.

مقدار یک فلز در یک هاله، معمولاً با استفاده از فرمولهای متداول زیر تعیین می‌شود (سولووف ۱۹۵۹):

$$P = \Delta x \left( \sum_n C_x - n C_\phi \right)$$

$$P = \frac{\Delta x}{S} \left( \sum_n C_x - n C_\phi \right)$$

که  $\Delta x$  فاصله میان نقاط نمونه برداری در امتداد پروفیل است.

$S$  فاصله میان پروفیل هاست.

$\sum_n$  جمع حسابی همه غلظت‌های غیر عادی عنصر است.

$C_\phi$  مقدار زمینه ژئوشیمیایی موضعی است.

$n$  تعداد نقاط بکار رفته در محاسبات است.

شکل و اندازه هاله‌های پراکندگی جامانده، به سیمای توپوگرافی محل و شرایط اقلیمی که سرشت تخریب سوپرژن کانسارها را تعیین می‌کند، بستگی دارد. در حالت کلی هرچه فرآیند هوازدگی سریعتر باشد، گستره هاله جامانده بیشتر خواهد بود. این گستره معمولاً بزرگتر از توده معدنی تخریب شده و هاله نخستین پیرامون آن است. هنگامیکه کانساری که روی یک سطح شیب‌دار قرار گرفته تخریب می‌شود، این تخریب سبب بهم خوردگی شکل هاله می‌گردد (شکل ۶۴). هاله‌های جامانده جدا شده، ممکن است در شیپهای تند تشکیل شوند.

گونه دوم. هاله‌های برنهادی نمایان از نوع نفوذی (نشتی) که در محیطهای پوشیده نشده «انباشت-برهنگی» در زون‌های خشک، نیمه مرطوب و مرطوب، تشکیل می‌شوند (شکل ۶۶).

این نوع هاله‌های پراکندگی برنهادی در ارتباط با پدیده نشت محلولها به داخل سنگهای سخت آبرفتی (نابرجا) و خاکهای روی کانسارهای فرسایش یافته و هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین آنها تشکیل می‌شود. در برخی موارد، هاله‌های نشتی (نفوذی) آبگونه (نمک) برنهادی در ژرفا، به هاله‌های مکانیکی-آبگونه جامانده، درجه بندی می‌شوند. میزان نشت در نهشته‌ها و خاکهای سخت نشده که ممکن است بوسیله یک ستون نفوذی (نشتی) مورد تهاجم قرار گیرند، معمولاً ۲ تا ۴ متر است. با اینهمه در کانسارهای بزرگ، هاله‌های نفوذی (نشتی) ممکن است تا مسافتی به طول ۸ تا ۱۰ متر نفوذ یابند. اگر لایه بندی مشخصی در





جدول ۴۰- ضرایب انباشت خاک برای افق‌های ژنتیکی مختلف خاک‌های همیشه منجمد نواحی کوهستانی سرد و جنگلی در ناهنجاریهای ژئوشیمیایی (از برنجیلوا).

گروه عنصر	افق خاکی			ویژگی رفتاری عنصر
	BC-C	B	A	
Pb I	۱/۴-۱/۶	۱/۲	۱/۰	انباشت عنصر در امتداد پروفیل خاک
Ta II	۱/۴-۱/۵	۱/۰	۰/۷	مقدار میانگین عنصر در پروفیل خاک
Nb	۱/۲-۱/۴	۱/۰	۰/۷	برابر با مقدار آن در سنگ مادر است.
Sn	۱/۰-۱/۲	۱/۱	۰/۶	
Zn III	۱/۰-۱/۲	۰/۸	۰/۴	عنصر از پروفیل خاک خارج شده است
Rb	۱/۱-۱/۲	۰/۸	۰/۶	
Be	۰/۹-۱/۱	۰/۸	۰/۴	

اگر رفتار عناصر شاخص در یک پروفیل خاک، شناخته شود، ارزیابی هاله‌های پراکندگی‌ای که ممکن است کشف شوند، بسیار آسانتر است. پدیده جذب در تشکیل این گونه هاله‌ها نقش بسزایی را ایفا می‌کند. بنابراین، نسبت مقدار فلزی که می‌تواند بوسیله معرف‌های شیمیایی ضعیف در دمای پائین شسته شود، به کل مقدار فلز در هاله‌های برنهادی، غالباً بسیار بالاتر از مقدار آن در هاله‌های جامانده می‌باشد، گاهی اوقات این نسبت به ۴۰ تا ۵۰ و یا حتی ۸۰٪ از کل مقدار فلز می‌رسد (۱۹۶۲ هواکس و وب). هاله‌های پراکندگی برنهادی که خاستگاه نفوذی دارند، اغلب شاخص آن گروه از عناصری است که دارای قدرت مهاجرت بیشتری هستند. بهرجهت، عناصر شیمیایی که در محلول‌های سوپرژن نسبتاً ناپویا هستند (قلع، تنگستن، برلیوم و غیره)، در صورتیکه فرآیندهای بیوژنتیکی در تشکیل آنها سهیم باشند، ممکنست در هاله‌هایی از این نوع نیز انباشته شوند.

### گروه III - هاله‌های فوق کانساری برنهادی نمایان از نوع انباشتی (شکل ۶۸، III).

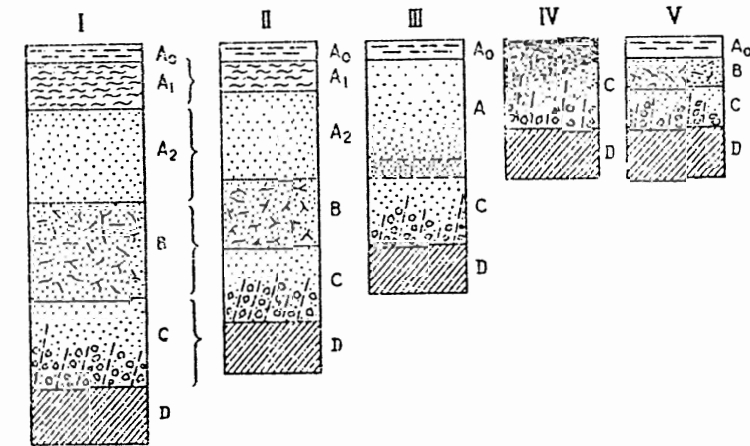
این گونه هاله با هاله‌های یاد شده از این نظر متفاوتست که هاله‌های اخیر بوسیله افقی از مواد سخت نشده نابرجا، که غلظت عناصر شاخص آن تقریباً برابر با مقدار زمینه است، از توده معدنی که در ژرفا قرار گرفته، جدا شده‌اند. این هاله‌ها عموماً در نتیجه انباشت عناصر شاخص در لایه‌ای از خاک که به سبب انباشت بیوژنتیکی بوسیله گیاهان بوجود آمده است، تشکیل می‌شوند. ریشه چنین گیاهانی از میان یک زون بدون هاله به توده معدنی یا به هاله پراکندگی جامانده (یا نفوذی) دفن شده آن نشت می‌کند. در برخی موارد، هاله‌های فوق کانساری در نواحی خشک به علت حضور یک سد تبخیری فعال در سطح نهشته‌های سخت نشده، بوجود می‌آیند. این امر در این گستره‌ها به تمرکز نمک‌هایی می‌انجامد که بوسیله مهاجرت موئینه‌ای آب‌های زیرزمینی آورده می‌شوند. تعبیر و تفسیر هاله‌های برنهادی فوق کانساری، به علت شباهتشان به هاله‌های «دروغین» (در زیر بحث شده است)، که هیچ ارتباطی به تمرکز کانساری ندارد، ممکن است دشوار باشد.

### نوع VI - هاله‌های برنهادی منفصل نمایان (شکل‌های ۶۸ و ۶۹).

این هاله‌ها شامل هاله‌های جامانده نخستین، مکانیکی - آبگونه یا هاله‌های برنهادی نفوذی نخستین می‌باشند. این هاله‌ها به سوی روان - آب‌های کنونی، تغییر مکان یافته و بوسیله زونی از سنگ سترون که هاله در آن گسترش نیافته است، از خاستگاه اصلی، جدا می‌شوند. این نوع هاله‌های آبگونه (شیمیایی) گاهی با آب‌هایی همراه می‌گردند که به سطح تراوش می‌یابند و ذخیره‌ای نهفته یا هاله نخستین یا هاله دفن شده جامانده آن را بیرون می‌رانند. (شکل ۶۸ III). نوع ویژه‌ای از هاله منفصل نمایان که تعبیر و تفسیر آن دشوار است در شکل ۶۸ (IV) نشان داده شده است.

### نوع V - هاله‌های شسته و بسیار رقیق شده.

این نوع هاله‌ها هنگامی تشکیل می‌شوند که شرایط مساعد برای خروج عناصر شاخص پویا از افق‌های سطحی فراهم گردد. بنابراین، تفاوت توزیع این عناصر در هاله و در زمینه ژئوشیمیایی، تقریباً نامحسوس است، چنین شرایطی گاهی اوقات در زون‌های مرطوبی که در آنها شستشوی شدید در افق‌های بالایی خاک صورت می‌گیرد، بوجود می‌آید. تمرکز عناصر شاخص، معمولاً در ژرفای معین در زیر سطح زمین بشدت

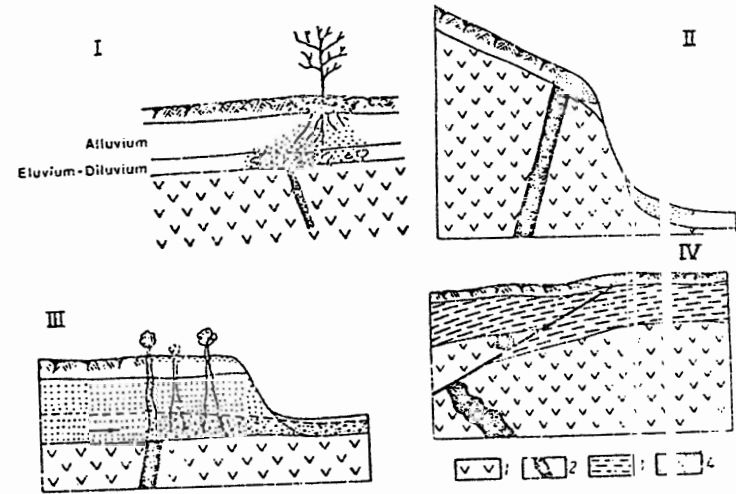


شکل ۶۷- مقطعی عرضی تیبیک پروفیل‌های خاک (از اندروز - جونز ۱۹۶۸).

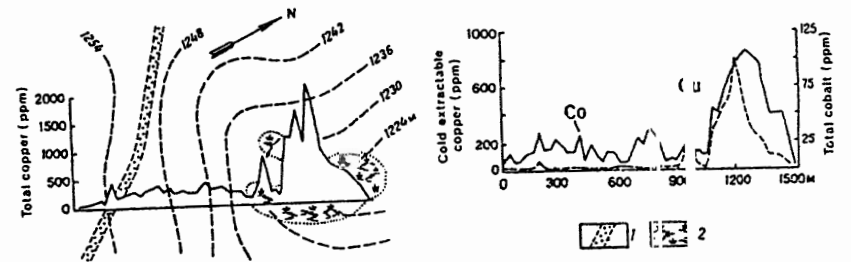
I - مقطع عرضی کلی، II - خاک پدزولیک، III - چرنوزم (نیمه کویری)، IV - خاک کویری، V - خاک کوهستانی تازه تشکیل شده.

A<sub>0</sub>A<sub>1</sub> - بقایای آلی که تا حدی تجزیه شده است، هوموس (افق تیره‌رنگ با انباشت مواد آلی)، A<sub>2</sub> - زون روشن با خروج ترجیحی عناصر اندک، B - افق دامن‌رفتی (معمولاً بوسیله انباشت عناصر اندک مشخص می‌شود)، C - افق سنگ بستر تجزیه شده، D - سنگ بستر.

افزایش می‌یابد. این ژرانا، که موقعیت افق نمونه‌برداری نماینده را تعیین می‌کند، به شرایط موضعی منظر اقلیمی بستگی دارد و ممکن است از یک تا دو متر تغییر یابد. این نوع هاله‌های پراکندگی از نظر نمونه‌برداری و تفسیر، همانند هاله‌های دفن شده می‌باشند.



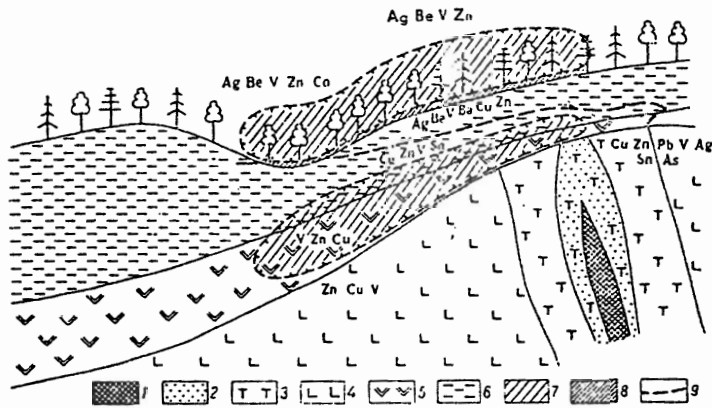
شکل ۶۸. هاله‌های پراکندگی دومین منفصل (جدا شده) I. هاله فوق کاناری تولید شده بوسیله انباشت بیورژنتیکی در خاکهایی که روه هاله جامانده دفن شده قرار گرفته‌اند. II. هاله منفصل در باتلاقی که در نتیجه پستی و بلندی موضعی بوجود آمده است. (از آندروز - جونز ۱۹۶۸)، III و IV هاله‌های منفصل که در نتیجه انباشت بیورژنتیکی و مهاجرت اجزاء سازنده آبهای زیرزمینی تشکیل شده‌اند (از آندروز - جونز ۱۹۶۸).  
۱- سنگهای درونگیر ۲- توده معدنی، ۳- سنگهای بخش بالایی کانی‌سازی، ۴- هاله پراکندگی.



شکل ۶۹. هاله مس باجدا شده بداخل یک زمین پست باتلاقی در امتداد شیبی در زامبیا (از تومز و وب ۱۹۶۱)  
۱- افق کانه‌ای، ۲- باتلاق.

#### نوع IV - هاله‌های برجای دفن شده (شکل ۷۰).

این هاله‌ها نظیر هاله‌های جامانده نوع اول می‌باشند که بوسیله نهشته‌های نابرجا (آلوکتونی) پوشیده شده‌اند، ولی ستریای آنها آنقدر زیاد است که اجازه نمی‌دهد هاله‌های نفوذی (نشئی) در سطح در دسترس قرار گیرد. هاله‌های جامانده دفن شده، معمولاً در ناحیه پوشیده‌ای که بوسیله یک تکامل دومرحله‌ای مشخص می‌شود، گسترش می‌یابند. از این دیدگاه، آن ناحیه‌هایی دارای اهمیت ویژه‌اند، که یک دوره طولانی فرسایش قاره‌ای را گذرانیده باشند، این فرسایش قبل از تنشین شدن رسوبات نابرجا (آلوکتونی) که بر روی هاله‌های پراکندگی جامانده‌ای که در اثر فرسایش (رسیدن به سطح فرسایش) نمایان شده‌اند، بوقوع می‌پیوندد.



شکل ۷۰. هاله پراکندگی لیئوژنوشیمیایی جامانده دفن شده با یک هاله بیورژنوشیمیایی در گیاه (از گلزوفسکا یا).  
۱- کانسنگ مس-پیریت، ۲- هاله ژئوشیمیایی اندوژنیک توده معدنی، ۳- شیل‌های دارای سریستی، ۴- دیاباز پورفیری، ۵- قشر آب و هوازه، ۶- لومهای کوتاه‌تر، ۷- هاله پراکندگی، جامانده دفن شده، ۸- هاله پراکندگی بیورژنوشیمیایی مجزا، ۹- سفره آبی بر روی طبقه نفوذناپذیر قرار دارد.

#### نوع IIIV - هاله‌های برنهادی دفن شده.

این هاله‌ها بیشتر با هاله‌های جامانده همراهند و تشکیل کلاهکهای نفوذی ناپیدایی را بر روی هاله‌های جامانده می‌دهند. این هاله‌ها معمولاً مشابه‌های (analog) هاله‌های نفوذی برنهادی هستند. البته هاله‌های شسته و تهی شده در سطح نیز همانند این گروه از هاله‌های پراکندگی هستند. تفسیر و ارزیابی این نوع هاله‌های پراکندگی دومین بسیار دشوار است.

#### استانهای منظر ژئوشیمیایی در اتحاد جماهیر شوروی\*

از طبقه‌بندی هاله‌های پراکندگی دومین یاد شده در بالا، چنین برمی‌آید که تشکیل این هاله‌ها کاملاً

\* طبق تقسیم‌بندی جغرافیایی پیشین

بستگی به محیطهای طبیعی که در آنها تخریب سوپرژنی کانسارها صورت می‌گیرد، دارد. این محیطها، به نوبه خود بستگی به آب و هوا، ژئومورفولوژی و ساختمان زمین‌شناختی ناحیه خاص دارد. این امر دلالت بر آن دارد که در انتخاب و تائید تکنیک‌های اکتشافات ژئوشیمیایی و نمونه‌برداری، که برای هاله‌های پراکندگی دومین بکار می‌رود، عاملهای بیرونی ناحیه‌ای و موضعی، مسئول ویژگیهای مهاجرت سوپرژنی و تمرکز عناصر منظری معین، بایستی همیشه بحساب آورده شوند.

تئوری منظر ژئوشیمیایی که در ابتدا توسط پولینوف<sup>۱</sup> عضو فرهنگستان، طرح و پس از آن توسط پرلمن<sup>۲</sup> گسترش یافته است، ممکن است در اکتشافات ژئوشیمیایی هاله‌های پراکندگی سوپرژن، به عنوان پایه‌ای در تحلیل اثرات محیطی بر مهاجرت عناصر شیمیایی در افق سوپرژن (برین‌زاد)، عمل نماید. هنگامیکه پولینوف اصطلاح منظر ژئوشیمیایی را بکار برد، به گستره‌ای از سطح زمین توجه داشت که بوسیله نوع ویژه‌ای از مهاجرت سوپرژنی عناصر شیمیایی مشخص می‌شد. آمیخته‌ای از عوامل زیست - اقلیمی ناحیه‌ای و زمین‌شناختی - ژئومورفولوژیک، عهده‌دار تشکیل «منظر» ژئوشیمیایی ویژه‌ای است که به زون‌ها یا استانهایی که جلوه ژئوشیمیایی معینی دارند محدود می‌شوند. برای مثال، در یک زون منظری چرنوزم-استپ، گستره‌ای تشکیل شده از گرانیب متعلق به یک نوع منظر ژئوشیمیایی است، در حالیکه گستره‌ای دیگر در همین جلگه با سنگهای آهنکی، به نوع دیگری تعلق دارد. افزون بر این، در هر یک از این گستره‌ها، به علت تغییر در پستی و بلندیهایی موضعی ممکن است آمیخته‌های گوناگونی از «منظرهای ژئوشیمیایی» ویژه، تشکیل شود. همه این موارد بایستی در طول اکتشافات ژئوشیمیایی و نمونه‌برداری از هاله‌های پراکندگی دومین در نظر گرفته شود.

خواص قلیایی - اسیدی (PH) و اکسیدکنندگی - احیاکنندگی (Eh) خاکها و آبهای طبیعی، و نیز سرشت مهاجرت کلونیدی عناصر، مهمترین شرایط ژئوشیمیایی برای مهاجرت و تمرکز عناصر اندک در زون سوپرژن می‌باشند. با در نظر داشتن این مطلب، پرلمن و شارکوف (۱۹۵۷) سعی در زون‌بندی اتحاد جماهیر شوروی بر مبنای محیطهای مهاجرت سوپرژن عناصر شیمیایی نمودند. آنها چهار استان منظر ژئوشیمیایی اصلی را در داخل مرزهای شوروی شناسایی کردند. این استانها، تقسیم‌بندیهای فرعی کوچکتری را در برمی‌گیرند، که بطور خاص می‌توان از استانهای فرعی و ناحیه‌ها نام برد.

اولین استان که در آن خاکها و آبهای که دارای واکنش‌های قلیایی و یا خنثی هستند در اکثریت می‌باشند، مشتمل است بر یک ایالت فرعی شامل: جلگه‌های خشک و کویرهای آنسوی قفقاز آسیای مرکزی و سبیری جنوبی، و نیز جلگه‌های چرنوزم و جلگه‌های (استپ‌های) جنگلی اوکراین، اورال، قفقاز و سبیری جنوبی.

استان، در کل، معمولاً بوسیله مهاجرت ضعیف اکثر عناصر اندک، پویایی کمتر کلونیدها، حضور مقادیر کم مواد آلی در آبهای سطحی و زیرزمینی مشخص می‌شود. استپ (جلگه) خشک و استان فرعی کویری، بوسیله مهاجرت ضعیف ویژه‌ای مشخص می‌شوند. عملاً در مقادیر عناصر اندک موجود در افقهای A و B

خاک، تفریقی صورت نگرفته (افق A در برخی مکانها، اصلاً تشکیل نمی‌شود). در این حالت، نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در سطح ممکن است نتایج معرفی (نماینده) را در اختیار بگذارد، بشرطی که لایه نهشته‌های سخت نشده ضخیم نباشد. جلگه چرنوزم و استان فرعی جلگه‌ای جنگلی، با زیادتر بودن مقدار آب و در نتیجه، بوسیله پویایی بیشتر عناصر اندک، مشخص می‌شوند. هر چه ریزش باران در ناحیه بیشتر باشد گرایش عناصر اندک به انباشت در افق رسوبی B خاک شدیدتر خواهد بود.

استان دوم، شامل ناحیه‌هایی است که در آن خاکهای دارای واکنشهای اسیدی و یا خنثی در اکثریت می‌باشند و شامل استانهای فرعی نواحی «سرد باتلاقی و جنگلی» در شمال اروپایی، اورال، سبیری و خاور دور و همچنین استانهای فرعی شامل کوهستانهای جنگلی در کارپات و در آنسوی قفقاز، می‌باشد. کل استان بوسیله شستشوی شدید افقهای خاکی بالایی و انباشت عناصر اندک در افق B مشخص می‌شود. مهاجرت شدید عناصر اندک در آبهای طبیعی در این استان، بویژه، به علت پویایی افزایش یافته کلونیدهای آلی و معدنی و پدیده وابسته جذب، می‌باشد. پویایی عناصر اندک بویژه در برخی از زون‌های فرعی کوهستانی و جنگلی جنوبی که دارای آب و هوای گرم است، افزایش می‌یابد. کل زون، بویژه نواحی جنوبی آن، همچنین بوسیله تشکیل هاله‌های پراکندگی نفوذی بر روی هاله‌های جامانده و یا مجزا از آنها مشخص می‌گردد.

استان سوم از نظر توسعه گسترده خاکهای همیشه منجمد، با استان دوم تفاوت دارد. بعلاوه این استان دارای انواع قابل توجهی از «ریزمنظرهای» موضعی است. برخی از خاکها در منظرهای نواحی سرد باتلاقی همیشه منجمد با خاکهای سرد و باتلاقی و جنگلی استان دوم تفاوت جزئی دارد.

این خاکها بوسیله انباشت عناصر اندک در افق رسوبی خاکی B مشخص می‌شوند. همچنین، خاکهایی که تمرکز عناصر اندک در آنها، به افق بالایی پرمایه از ماده آلی (افق A)، محدود می‌شود بسیار گسترده‌اند. در بخش شمالی زون (توندرا<sup>۱</sup>)، خاک از ماده آلی غنی شده است و بوسیله گسترش محدود فرآیندهای اکسیداسیون (یعنی محیطهای احیاکننده) و یا پویایی ضعیف عناصر اندک، مشخص می‌شوند. نمونه‌برداری از چنین خاکهایی در سطح، سرخ اطلاعاتی را در باره وجود هاله‌های پراکندگی دومین در اختیار می‌گذارد. در ناحیه‌هایی که پوشش خاک توسعه کمی یافته است، اجزای عمده سازنده هاله‌های جامانده، از نوع مکانیکی است.

استان چهارم شامل کوهستانهای مرتفع قفقاز، آسیای مرکزی، آلتائی<sup>۲</sup> و سایان<sup>۳</sup> است. این استان در واقع مجموعه‌ای از منظرهایی است که بطور قائم جایگزین یکدیگر می‌شوند. این جایگزینی در مسیری از دامنه‌های تپه‌ای رشته کوهها (کویرها در آسیای مرکزی، باتلاقهای جنگلی در سایان و جز اینها)، تا منظرهایی که مشخصه چمنهای آلی و یخرفت‌های یخچالی در کوهستانهای مرتفع می‌باشد، صورت می‌گیرد.

طرحهای دیگری نیز برای تشریح زون‌بندی منظری اتحاد جماهیر شوروی وجود دارد. بهرحال همه آنها بر پایه نمودهای زیست اقلیمی و زمین‌شناختی - مورفولوژیکی همانند «منظرها»، قرار دارند که عهده‌دار

خصلت مهاجره سرب و عناصر شیمیایی و در نتیجه مسئول نمودهای ویژه در تشکیل هاله‌های پراکندگی دومین از کانسار است.

## روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از هاله‌های پراکندگی دومین در خاک و در نهشته‌های سخت نشده

### ارزیابی هاله‌ها

اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از هاله‌های پراکندگی دومین بوسیله نمونه‌برداری سیستماتیک از خاک‌ها یا نهشته‌های سخت نشده در ژرفاهای مطلوب انجام می‌شود. این امر بماندگاری می‌دهد که آگاهی‌های قابل قبولی در مورد توزیع عناصر شاخص بدست می‌آید، و نیروی انسانی و مدت عملیات اکتشافی به حداقل کاهش می‌یابد، ژرفای نمونه‌برداری معرف (نماینده)، در برخی از هاله‌های پراکندگی نمایان شده، بیش از چند ده سانتی‌متر نیست. پیش از شروع عملیات اکتشافی، آفاق معرف بوسیله بررسی‌های لیتولوژیکی مقاطع عرضی در خاک‌ها و نهشته‌های سخت نشده در ناحیه اکتشافی، انتخاب می‌شود (پژوهش‌های ژئوشیمیایی مقطعی عرضی نیز بسیار مورد توجه است گرچه این پژوهش‌ها بعداً هنگام آمایش داده‌ها، در دفتر کار، انجام می‌گیرد). در همان مرحله ابتدائی اکتشاف، به منظور ارزیابی تغییرات زمینه ژئوشیمیایی موضعی، و تعیین مقادیر ناهنجاری (حدستانه) عناصر شاخص با احتمال مورد نظر، تعدادی نمونه جمع‌آوری می‌شود. نمونه‌برداری به کمک وسایل نمونه‌برداری مخصوصی که امکان جمع‌آوری مواد مورد نظر را در ژرفای مناسب فراهم می‌کند، یا بوسیله حفز چاله (روش دوم بسیار پرزحمت‌تر است)، انجام می‌گردد. جزء ماسه - رسی ریزدانه از آفاق معرف مورد نمونه‌برداری قرار می‌گیرد. وزن نمونه در حدود ۵۰ گرم می‌باشد.

شبکه نمونه‌برداری با توجه به اهداف و مقاصد اکتشافی مورد نظر برنامه‌ریزی شده و ساختمان زمین‌شناسی گستره مورد اکتشاف نیز در نظر گرفته می‌شود.

در مرحله ندمتی بررسی‌های ژئوشیمیایی، شبکه نمونه‌برداری در گستره‌ای امیدبخش بر اساس اندازه احتمالی هاله‌ها انتخاب می‌شود، بطوریکه دو یا سه نمونه با احتمالی برابر یا بیشتر از ۰/۹۵، در یک هاله قرار گیرد. در «دستورالعمل‌هایی بر روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی» (۱۹۶۵)، توصیه می‌شود که فاصله میان پروفیل‌های شبانه‌املی، که به روند هاله‌ها عمود می‌باشد، نباید بیش از ۰/۹ طول پیش‌بینی شده هاله‌ها باشد، در حالیکه فاصله نمونه‌برداری در امتداد پروفیل‌ها ممکن است به یک دوم پهنای هاله برسد.

در مرحله اکتشافات تفصیلی (در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ یا بزرگتر)، نمونه‌برداری بر طرح و توصیف نهایی هاله‌ها، و بررسی ساختار داخلی آنها از نقطه نظر توزیع عناصر شاخص، متمرکز می‌شود. به این دلیل است که شبکه نمونه‌برداری در این مرحله از اکتشاف، بمقدار زیادی به ابعاد احتمالی توده‌های معدنی یعنی نوع کانی‌سازی بستگی دارد. در نهشته‌های قابل اکتشاف، شامل کانه‌های افشان (برای مثال در نهشته‌های مس پرفیری)، در کارهای صفحه‌های شکل (لایه‌ای)، و یا در کانسارهای بزرگ نوع استوک ورک، هاله‌های

پراکندگی ممکن است به کمک یک شبکه نسبتاً وسیع (به ابعاد ۴۰ در ۱۰۰ متر یا ۲۰ در ۱۰۰ متر) مورد بررسی و ترسیم قرار گیرد. در کانسارهای کوچک با شکلهای پیچیده و توزیع نامنظم اجزاء سازنده مفید، شبکه نمونه‌برداری بایستی کوچکتر باشد (۵۰×۱۰ متر یا حتی ۲۵×۱۰ متر).

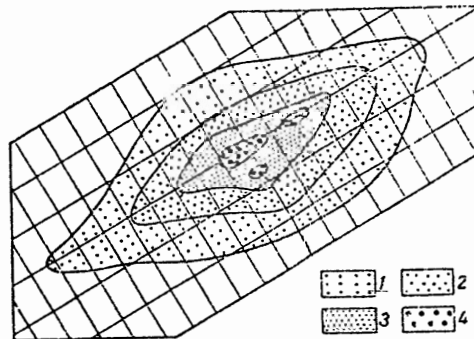
بررسی جامع محیط‌های زمین‌شناسی و منظر ژئوشیمیایی در ناحیه مورد اکتشاف ضروری است. اطلاعات بدست آمده ممکن است در تفسیر هاله‌های پراکندگی مفید باشد.

نقشه‌های ژئوشیمیایی هاله‌های پراکندگی دومین روی نقشه زمین‌شناسی (یا اگر نقشه زمین‌شناسی وجود نداشته باشد روی یک نقشه توپوگرافی) بوسیله درج نتایج تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی تهیه می‌شود. متعاقباً گستره‌هایی با مقادیر ناهنجار عناصر شاخص مشخص می‌شوند. این تعیین حدود و مشخص نمودن ممکن است بر اساس مقادیر ناهنجار حداقل (حد آستانه) باشد، که در ترازهای معنی‌دار بودن گوناگون تعیین شده‌اند. بمنظور بدست آوردن ایده‌ای واقعی از سرشت ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی، ارزیابی مقادیر ناهنجاری حداقل و تعیین ناهنجاری‌ها در ترازهای معنی‌دار بودن ۵ و ۱ و ۰/۳ درصد توصیه می‌شود.

مقادیر ناهنجار حداقل قلع و سرب (بر حسب ppm)، محاسبه شده برای ترازهای معنی‌دار بودن، از افق‌های B خاک در منظرهای کوهستانی باتلاقی جنگلی همیشه یخ بسته که در سنگهای رسی - متامورفیک در آنسوی بایکال خاوری تشکیل شده‌اند، در زیر آورده شده است.

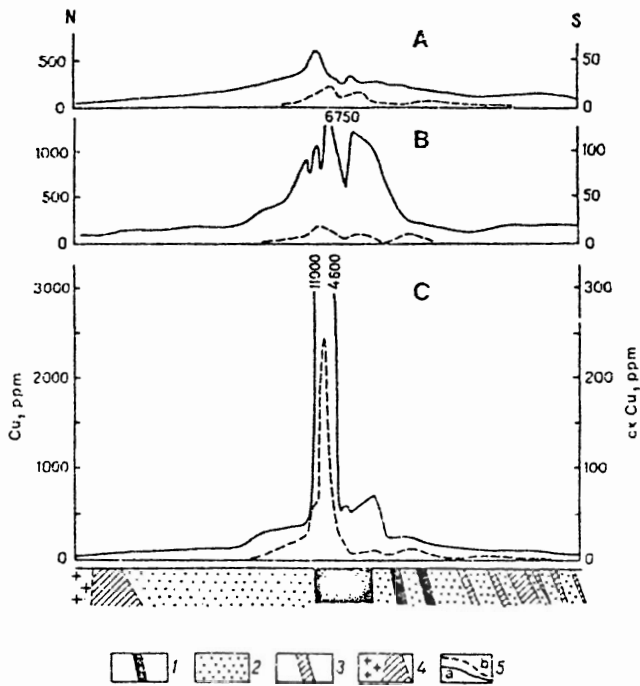
	۰/۳%	۱%	۵%
Sn	۱۹	۱۷	۱۴
Pb	۶۸	۵۶	۴۱

بطوریکه در شکل‌های ۷۱ و ۷۲ نشان داده شده است، ترازهای مختلف تمرکز عناصر شاخص که تیبیک زون معینی می‌باشد، معمولاً در یک ناهنجاری به کمک خطوط (کنورها) هم‌غلظت (تمرکز یکسان) مشخص می‌شوند. مناطقی که توزیع عناصر شاخص را در سرتاسر امتداد ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهند ممکن است مفید باشند (شکل‌های ۷۳ و ۷۴).



شکل ۷۱. هاله پراکندگی دومین در صفحه.

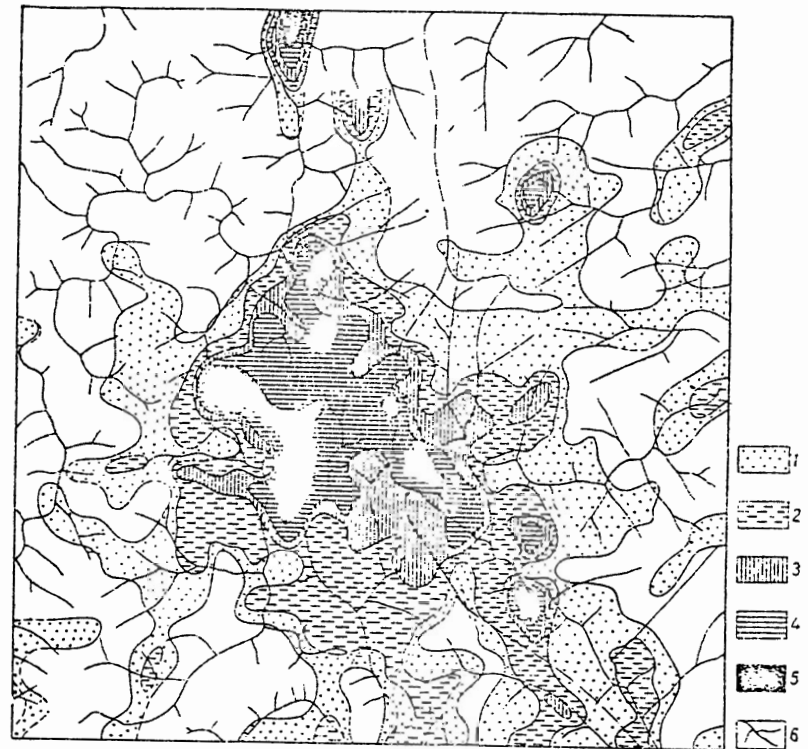
مقادیر بر حسب ppm: ۱-۲۵۰ تا ۲۴۰، ۲-۲۵۰ تا ۳۰۰، ۳-۳۰۰ تا ۴۰۰، ۴-بیش از ۴۰۰.



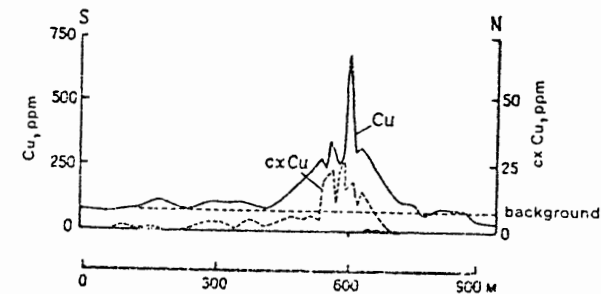
شکل ۷۴. مقطعی عمود بر یک هاله ژئوشیمیایی دومین که روی یک کانسار مس در زامبیا تشکیل شده است. در این منحنی تفاوت توزیع مس در افق‌های A, B, C خاک نشان داده شده است (از تومز و وب ۱۹۶۲).  
 ۱- زون دارای کانسنگ مس، ۲- ماسه سنگ، ۳- شیل ها، ۴- مجموعه پی سنگ، ۵- منحنی‌های توزیع مس، (a) مقدار کل مس (b): قابل استخراج با روش سرد.

تجاری که طی سالها در خلال اکتشافات ژئوشیمیایی در شوروی و کشورهای دیگر بدست آمده، نشان داده است که اکتشافات کانسارها با استفاده از هاله‌های پراکندگی دومین، بویژه در ناحیه‌هایی موثر است، که شرایط زمین شناختی و منظر ژئوشیمیایی برای ایجاد هاله‌های نمایان از نوع I و II (که پیش از این در این بخش توصیف شده است) مطلوب باشد.

سولوف (۱۹۶۵) برای تخمین ذخایر معدنی احتمالی در سنگ بستر، بر اساس پارامترهای هاله‌های پراکندگی دومین، روشی پیشنهاد نمود. او روش خود را بر بارآوری هاله، که با وزن فلز خاصی بر حسب تن در لایه‌ای به ضخامت یک متر بیان می‌شود، بنا نهاد. البته، تخمین ذخیره مورد انتظار، تنها در صورتی که دانسته‌های لازم در باره ژرفای سطح فرسایش کانسار یا توده معدنی مورد بررسی در دست باشد، امکان پذیر می‌گردد. برای توضیح این مطلب در شکل ۷۵، سه حالت مختلف از سطح فرسایش یک توده معدنی [۱] ناپیدا که در آن تنها هاله نخستین نمایان شده، (۲) بمقدار کم فرسایش یافته (۳) بیش از نصف توده



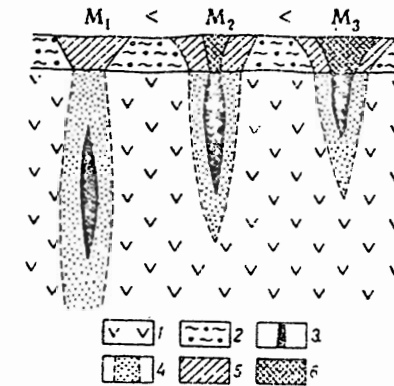
شکل ۷۲. نقشه ژئوشیمیایی هاله پراکندگی دومین کروم در کانسار کرومیتی در ماداگاسکار (از بروتسکی).  
 مقادیر Cr بر حسب ppm: ۱-۲۰۰، ۲-۵۰۰، ۳-۱۰۰۰، ۴-۱۵۰۰، ۵-۴۰۰۰، ۶-نهرها.



شکل ۷۳. مقطع عرضی یک هاله ژئوشیمیایی دومین مس در زامبیا، این هاله روی آثار معدنی مس قرار گرفته است علامت (Cu) میزان کل مس و علامت (cxCu)، مس قابل استخراج با روش سرد را در خاک نشان می‌دهد (از تومز و وب ۱۹۶۲).

معدنی بوسیله فرسایش از بین رفته است [ نشان داده شده است، بارآوری هاله‌های دومین برای این توده‌های معدنی عبارت خواهد بود از:  $M_3 > M_2 > M_1$  .

ناهنجاریهای همراه با توده‌های معدنی دوم و سوم ( $M_2, M_3$  در شکل ۷۵)، و ناهنجاریهایی که دارای بارآوری بیشتری است، ممکن است به اشتباه امیدبخش‌تر از ناهنجاریهایی تصور شوند، که معرف توده اولی ( $M_1$ ) است، احتیاط از این اشتباه از طریق ارزیابی سطح فرسایش امکان‌پذیر است. به این سبب است که ارزیابی ذخایر احصالی که بر پایه قدرت تولید ناهنجاریهای سوپرژن قرار دارد، ممکن است تنها در صورتی مورد استفاده قرار گیرد، که هاله‌های پراکندگی توده‌های معدنی مورد مقایسه، دارای ترازهای سطح فرسایش تقریباً یکسانی باشند. در این رابطه، ضروریست که برای ارزیابی تراز سطح فرسایش توده‌های معدنی و هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین پیرامون آنها، معیارهایی ایجاد شود که مستقیماً بر اساس ویژگیهای توزیع عناصر شاخص د هاله‌های پراکندگی سوپرژن استوار باشد.



شکل ۷۵. تغییرات مقدار فلز در هاله‌های پراکندگی دومین در ارتباط با تراز سطح فرسایش زونهای کانه‌دار.  
 ۱- سنگ بستر، ۲- ازنده‌های دامن‌رفتی یخرفتی، ۳- توده معدنی، ۴- هاله‌های نخستین، ۵ و ۶- هاله‌های دومین،  
 (۵) با مقدار فلز کم (۱) مقدار زیاد آن، M - ذخیره فلزی در هاله دومین.

اثبات امکان چنین ارزیابی بوسیله سوچوانف<sup>۱</sup> و همکارانش (به کلابلاکوف و سوچوانف و دیگران ۱۹۶۴، مراجعه شد)، اعمال شد، این دانشمندان به همبستگی نزدیکی میان هاله‌های نخستین و دومین (در یک محیط منظر اوشبیمیایی ویژه)، تشکیل شده در کانسارهای گرمایی اورانیم، پی بردند.  
 برای نشان دادن امکان ارزیابی تراز سطح فرسایش، با استفاده از دانسته‌های حاصل از نمونه‌برداری از نهشته‌های آبرفتی یخرفتی پوششی، نتایج حاصل از بررسی همبستگی میان هاله‌های پراکندگی نخستین و

1- Sochevanov

دومین در گسل کانی منصور آمادون، که یک شکستگی کانه‌دار عمده در کرم‌زار مرکزی است، ارائه خواهد شد (بر پایه داده‌های منتشر نشده گریگوریان و موروزوف<sup>۱</sup>). این ناحیه ویژه در دامنه‌های جنوبی سلسله کورامینسکی<sup>۲</sup> واقع است، و پشته‌ای است که شدیداً خرد شده و بلندیهایی را با ارتفاع ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متر (ارتفاع مطلق) بوجود می‌آورد. قله‌های مجزائی به بلندی ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر در سطوح فرسایش موضعی دیده می‌شود. دامنه کوهستانها معمولاً دارای شیب تند بوده (۱۵° و ۳۰°) و در بخشهای پایینی پهن و مسطح می‌گردند. این ناحیه با نمایان شدن قابل ملاحظه سنگ بستر، مشخص می‌شود. با وجود این، در داخل زون گسل کانی منصور - آمادون، وجود یک پوشش آبرفتی - یخرفتی به ضخامت ۰/۵ تا ۲ متر در همه جا مشهود است. پوشش خاک در این ناحیه بوسیله یک لایه کرناته قهوه‌ای تیره و یک لایه نازک خاک که در گستره‌های پرشیب که بطور شاخصی، قهوه‌ای رنگ و ماسه‌ای هستند، مشخص می‌گردد. گیاهان کمیاب و پراکنده بوده و بطور عمده شامل علفها و بوته‌های کوتاه می‌باشند.

شکل ۷۶، هاله‌های نخستین و دومین تشکیل شده بوسیله عناصر شاخص اصلی را که در سطح نهشته کوپتارخون<sup>۳</sup> ثبت شده است، نشان می‌دهد، میان هاله‌های نخستین و دومین عناصر شاخص اصلی انطباق و همبستگی فضائی نزدیکی را، نه تنها در بخشهای بیرونی، بلکه در گستره‌های با غلظت زیاد نیز می‌توان مشاهده کرد. با وجود شیب تند قابل ملاحظه در دامنه‌ها (۱۵° و ۳۰°)، تغییر مکان محسوسی (به سوی شیب) در هاله‌های پراکندگی دومین بوجود نیامده است. هاله‌های دومین بیشتر عناصر شاخص، قدری بزرگتر از هاله‌های نخستین است و از این نظر که هاله‌های دومین توزیع یکنواخت‌تری از عناصر شاخص را نشان می‌دهند، با هم تفاوت دارند.

به منظور اثبات امکان و اعتبار استفاده از نمودهای پراکندگی عناصر شاخص در میدانهای پراکندگی سوپرژن، برای تعیین تراز سطح فرسایش هاله‌های نخستین، پارامترهای هاله‌های پراکندگی نخستین و دومین با هم مقایسه شدند.

چنانکه پیش از این اشاره شد، تراز سطح فرسایش هاله‌های نخستین معمولاً با استفاده از پارامترهای جفتهایی از عناصر که شاخص زون‌بندی قائم در هاله‌ها هستند، تعیین می‌شود. شکل ۷۷، منحنی تغییرات نسبت بارآوری خطی جفتهایی از عناصر در هاله‌های نخستین و دومین را نسبت به افزایش ژرفای سطح فرسایش نشان می‌دهد. برخی از این جفتها همبستگی بسیار نزدیکی را میان هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین و دومین نشان می‌دهند. با اینهمه، این انطباق میان مقادیر جفتهای نسبتهای شاخص همیشه هم مشاهده نمی‌شود (در موارد بررسی شده، برای جفتهای نقره - مس و آرسنیک - مس، تفاوت زیادی وجود دارد). هاله‌های مرکب با انطباق و وابستگی بیشتر و قابل قبول‌تری مشخص می‌شوند.

از شکل ۷۷ چنین نتیجه می‌شود که نمودارهای تغییرات نسبتهای بارآوری خطی هاله‌های ضریبی (چندبارگی) نخستین و دومین (عناصر تیبیک ترازهای فوق کانساری که عبارتند از Pb, Ag, As, Ba به عنصر تیبیک ترازهای زیر توده معدنی، که عبارتند از W, Co, Bi, Cu)، در جزئیات، همانندند. این نسبتها

1- Morozov

2- Kuraminsky Range

3- Koptarkhon



توان معدنی که بوسیله هاله‌ها مشخص می‌شود، موثر واقع شود. شناخت هاله‌های به اصطلاح «دروغین»<sup>۱</sup> مسأله بسیار مهمی است، که در مرحله ابتدائی اکتشاف پیش می‌آید، و ممکن است سبب رد ناهنجاری (آگزوژنیک) کشف شده گردد. اصطلاح هاله دروغین، (معمولاً در زبان انگلیسی ناهنجاری دروغین خوانده می‌شود) در اکتشافات، به منظور معرفی آن دسته از ناهنجاریهای ژئوشیمیایی سوپرژنی که تشکیلشان با فرآیندهای تخریب سوپرژن، کانسنگی یا تمرکزهای غیرفلزی عناصر شیمیایی همراه نیست، بکار می‌رود. تشکیل این هاله‌ها عمدتاً به سبب پدیده تمرکز عناصر اندک موجود در سنگها یا آبهای طبیعی، در انواع مختلف سدهای ژئوتوماسی می‌باشد، چنین سدهایی بیشتر در محیطهای منظر مردابی که آبهای باتلاقی احیاکننده و آبهای روخانه‌ای یا دریاچه‌های دارای اکسیژن آزاد با هم تلاقی دارند، ایجاد می‌شود. بنابراین ضروریست که ناهنجاریهای ژئوشیمیایی کشف شده در شرایط منظر مردابی را با احتیاط بررسی نمود.

در ناهنجاریهایی از این نوع، معمولاً نسبت عناصر شاخصی که تیبیک کانی‌سازی می‌باشند، بطور شایان توجهی یا نسبت‌های با ست آمده در هاله‌های پراکندگی ذخایر ویژه، تفاوت دارند. این امر امکان شناسایی هاله‌های «دروغین» را در زمین انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی، فراهم می‌سازد\*. این هاله‌ها بیشتر در منظرهای خشک در سبزه‌تپه‌ها تشکیل می‌شوند. در خلال اکتشافات ژئوشیمیایی در مناطق صحرائی، نیمه صحرائی و در جلگه‌ها، تشخیص، این مطلب را بایستی بخاطر داشت. تشکیل ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که مربوط به کانی‌سازی نباشند، در برخی موارد به علت فرآیندهای انباشت بیوژنیک است. ناهنجاریهایی که به این ترتیب بوجود می‌آید، معمولاً ضعیف و نامشخص بوده و بوسیله گرد آمدن عناصر اندک به شکل خاص مشخص می‌شوند. برای مثال، انباشت بیوژنیک عناصر اندک در خاکها در منظر باتلاقی - جنگلی آنسوی بایکال بوسیله مقادیر زوده، سرب، روی و نقره متمایز می‌گردند. در صورتیکه، انباشت مس شاخص این منظر نیست. نمونه برداری از معرفت‌ترین بخش از افق B خاک معمولاً از خط‌هایی که ممکنست به علت انباشت بیوژنیک عناصر راناک پیش‌آید، جلوگیری می‌کند. رسوبات سخت نشده که بوسیله برخی از عناصر اندک پرمایه شده است. نیز ممکن است حضور برخی انواع سنگ بستر را که دارای تمرکزهای ناهنجاری از این عناصرند، در ناحیه ساز دهد. این سنگها ممکن است انواعی از سنگهای آذرین بازی نسبتاً پرمایه شده از برخی از کانسارها یا شیشه‌های کربناتی پرمایه از مواد آلی باشند که اغلب، مقادیر افزوده مس، مولیبدن، کروم، وانادیم و عناصر دیگر را آنها مشاهده می‌شود. تمرکزهای ناهنجار عناصر اندک در نهشته‌های سخت نشده و در این مورد، در خاکها گدازه‌هایی را اشغال می‌کند که بسیار بزرگتر از آنند که بتوانند بوسیله ناهنجاریهای حاصل از فروپاشی کانسارها، ایجاد شوند. این امر معمولاً نتیجه‌گیری‌های درستی را در ارتباط با سرچشمه‌های ناهنجاریها، ممکن می‌سازد. البته تفسیر چنین ناهنجاریهایی همیشه هم کار آسانی نیست. تجزیه و تحلیل اجزاء پاراژنتیک عناصر موجود در ناهنجاری، و نیز بررسی نمونه‌وارترین نسبت‌های شاخص، با در نظر گرفتن داده‌های ژئوشیمیایی سنگهای ناحیه، ممکن است در تفسیر این گونه هاله‌های

1- False

\* - هاله‌های «دروغین» از این نوع، بوسیله حضور توام عناصری با پویایی متفاوت که تیبیک هاله‌های پراکندگی جامانده دومین از کانسارها است، مشخص می‌شوند.

«دروغین» بسیار مفید باشد.

در برخی موارد، بروز خطا در تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، ممکن است به سبب آلودگی‌هایی باشد که بوسیله بشر در اتمسفر، آبهای طبیعی، خاکها و نهشته‌های سخت نشده ایجاد می‌شود. آلودگی خاک بوسیله فلزات از راه وارد شدن ضایعات کارخانجات متالورژی و شیمیایی و نیز از طریق استفاده از کودها، معمولاً تنها بر افق A خاک اثر می‌گذارد. معمولاً چنین آلودگی‌هایی با افزایش ژرفا بسرعت کاهش می‌یابد و این امر بایستی در هنگام نمونه‌برداری در نظر گرفته شود. البته آلودگی‌های ناشی از فعالیتهای معدنکاری در معادن فلزی (بوژه معدنکاریهای باستانی)، ممکن است تا ژرفای درخور ملاحظه‌ای برسد و در خلال اکتشافات بسادگی قابل تشخیص نباشد، امکان دارد این امر به نتیجه‌گیریهای اشتباهی منجر گردد. بحساب آوردن آلودگی‌هایی که ممکن است وابسته به فعالیتهای بشر باشد، در تمام ناحیه‌هایی که دارای فعالیت کشاورزی و صنعتی پیشرفته می‌باشد، بسیار بااهمیت تلقی می‌گردد.

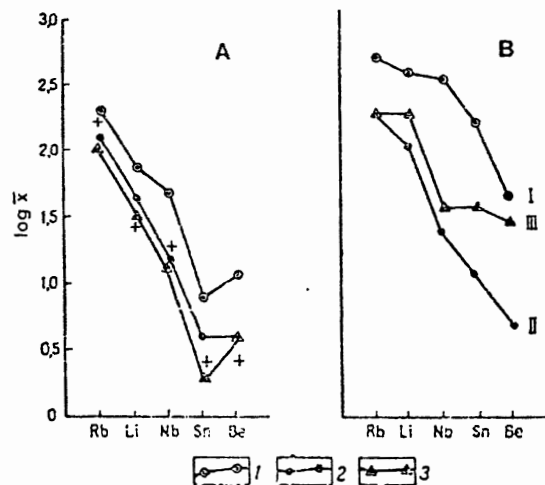
چنانکه پیش از این یاد شد، موثرترین روش برای مقایسه و شناسایی ناهنجاریهای سوپرژن، مقایسه نوع رابطه‌ای است که در ناهنجاریها، میان عناصر شاخص وجود دارد. این امر دلالت بر آن دارد که ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که در شرایط همانندی تشکیل می‌شوند، و دارای سرچشمه‌هایی با ترکیبات نظیر هم می‌باشند، بایستی روابط کمی همانندی را میان نمونه‌وارترین عناصر شاخص، نشان دهند.

جدول ۴۱- همبستگی میان مقادیر عناصر شاخص، که در افتقهای خاکی مختلف حضور می‌یابند (از برنجهیلووا).

جفت عناصر همبسته	خاکهای تایگا		خاکهای جلگه‌ای (استپی)	
	زمینه ژئوشیمیایی	ناهنجاری	زمینه ژئوشیمیایی	ناهنجاری
	r	r	r	r
Li-Rb	+ ۰/۳۶۳	+ ۰/۷۹۹	+ ۰/۶۵۴	WC
Li-Sn	-	+ ۰/۸۴۱	+ ۰/۷۸۳	WC
Be-Sn	+ ۰/۷۲۸	+ ۰/۸۰۳	+ ۰/۵۵۳	WC
Pb-Be	-	+ ۰/۵۸۴		
Rb-Be	-	-	+ ۰/۸۲۶	WC
Rb-Sn	-	-	+ ۰/۸۱۵	WC

یادداشت: r مقدار ضریب همبستگی را نشان می‌دهد.  
 + همبستگی مثبت معنی‌داری را مشخص می‌کند.  
 WC یعنی همبستگی ضعیف (در سطح معنی‌دار بودن ۵٪).  
 - مقادیری را مشخص می‌کند که معنی‌دار نیستند.  
 جای خالی یعنی داده‌ای موجود نیست.





شکل ۷۸. نمودارهای طیف‌های ژئوشیمیایی مشخص‌کننده توزیع عناصر شاخص در کانسارهای فلزات کمیاب با ترکیبات کانسنگی همانند (بر پایه مثالهایی از آنسوی بایکال شرقی) A. زمینه ژئوشیمیایی، B. هاله‌های پراکندگی در خاک، ۱ تا ۳ خاکها (۱. نواحی سرد باتلاقی جنگلی کوهستانی، ۲. جلگه جنگلی، ۳. جلگه)، I، II، III آپلوگراتیتهای فلزات کمیاب III بگماتیت‌های فلزات کمیاب.

که مشخص‌کننده عناصری است که در ناهنجاری هدف، بمقدار کم موجودند.

بمنظور نرمالیزه کردن اندیس ژئوشیمیایی  $C_m$ ، بایستی تعداد عناصر گروه اول و سوم با لا بردن یکی از اعضای کوچکترین گروه به درجه مربوطه، یا با وارد کردن عناصر خنثی گروه دوم به داخل آن، به تساوی رسانده شوند. طیف ژئوشیمیایی جمعیت زمینه، ممکن است به عنوان استاندارد نیز بکار رود و امکان دارد همه ناهنجاریهایی که در ناحیه کشف شده است با توجه به زمینه ژئوشیمیایی، طبقه‌بندی شوند.

در مورد هاله‌های پراکندگی دومین در نهشته‌های فلزات کمیاب در آنسوی بایکال شرقی، از ضریب  $C_m$  استفاده شده است (شکل ۷۸). این اندیس نسبت عناصر شاخص پویا (به صورت محلول) (Li و Rb) به عناصر شاخص غیرپویا (Sn، Nb و Be) را که اکثر آنها بطور مکانیکی در هاله انباشته می‌شوند، بیان می‌کند. شکل ۷۸، منحنی‌هایی را نشان می‌دهد که طیف‌های ژئوشیمیایی عناصر شاخص در کانسارهای فلزات کمیاب در آنسوی بایکال شرقی را مشخص می‌کنند.

سولووف و گارانتین (۱۹۶۸) مثالی از یک ضریب ژئوشیمیایی (همانند  $C_m$ ) ارائه داده‌اند که برای تعیین تفاوت‌های میان هاله‌های دومین همانند، در کانسارهای چندفلزی در ترانسیلی آلاتو، بکار رفته است:

$$V = \frac{As, Ag, Bi, Cd, B}{zn \cdot Pb^4}$$

چگونگی روابط حاکم میان عناصر شاخص در یک جمعیت ژئوشیمیایی که مورد نمونه‌برداری قرار گرفته، ممکن است بوسیله روش‌های گوناگون تعیین گردد. چنین روشی شامل ارزیابی‌های معمولی و تعیین درجه همبستگی میان عناصر است. معمولاً روش‌های فوق با روش‌هایی که برای تعیین ناهنجاریهایی با خاستگاه‌های مختلف و همچنین برای تعیین ناهنجاریها و زمینه ژئوشیمیایی، بکار می‌رود، تفاوت دارد. در جدول ۴۱ داده‌های مربوط به همبستگی میان عناصر شاخصی که مشخصه کانسارهای فلزی کمیاب در انواع مختلف خاکها می‌باشند، (آنسوی بایکال شرقی) منعکس شده است:

چنانکه از جدول ۴۱ برمی‌آید، میان عناصر شاخص در هاله‌های پراکندگی اگزوزونیک، همبستگی جالب توجهی وجود دارد، در حالیکه معمولاً در جمعیت‌های زمینه‌ای، این همبستگی وجود ندارد. ناهنجاریهای سوپرژن ممکن است به کمک نسبت‌های عناصر شاخص که دارای ویژگیهای ژئوشیمیایی متفاوتی هستند، نیز طبقه‌بندی گردند. سولووف و گارانتین (۱۹۶۸) پیشنهاد کردند که نسبت حاصلضرب‌های گروه‌هایی از عناصر با پویایی متفاوت در توده‌ها، با یکدیگر مقایسه شود. به منظور شناسایی این گروه‌ها، لگاریتم مقدار عناصر شاخص در ناهنجاریهایی که بعنوان استاندارد در نظر گرفته می‌شود، در یک دیاگرام با فاصله‌های مساوی رسم می‌گردد.

نمودارهای طیف ژئوشیمیایی (نشان داده شده در شکل ۷۸) ناهنجاریهای مقایسه شده، به روشی یکسان، با استفاده از همان ترتیبی که عناصر شاخص در طیف ژئوشیمیایی ناهنجاری استاندارد (معلوم) دارند، رسم شده‌اند. نمودار استاندارد (رسم شده روی کاغذ شفاف) بر روی نمودار مورد نظر قرار می‌گیرد (منحنی هدف<sup>۱</sup>) و نقاط نشان‌دهنده اولین عنصر شاخص سری استاندارد، بر هم نهاده می‌شوند. اگر نمودارها بطور کامل منطبق شوند، در آنصورت ناهنجاریهای مقایسه شده، ممکن است از دیدگاه ژئوشیمیایی یکسان بحساب آیند، حتی اگر مقادیر مطلق عیار عناصر شاخص تفاوت‌های شایان توجهی را نشان دهد (ممکن است ناهنجاریها دارای تمرکزهای مختلفی از عناصر باشند) اگر تفاوت‌های ژئوشیمیایی میان ناهنجاریهای مقایسه شده آشکار شود در آنصورت عناصر شاخص به سه گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول (e) آن عناصر شاخصی را دربر می‌گیرد که تمرکزشان در ناهنجاری منظور (هدف)، از استاندارد بیشتر است. در بر هم نهادن نمودارها، نمودارهای عناصر این گروه در بالای نمودار استاندارد قرار خواهد گرفت. گروه دوم (n) شامل عناصر «خنثی» است که نمودارشان بر نمودار استاندارد منطبق است. گروه سوم (d) عناصری را دربر می‌گیرد که مقدار آنها در ناهنجاری هدف نسبت به مقدارشان در ناهنجاری استاندارد، کمتر است. منحنی تغییرات این عناصر به زیر نمودار استاندارد تغییر مکان می‌یابد.

هر کدام از این گروه‌ها ممکن است بوسیله یک اندیس ضریبی ( $M_e$  و  $M_n$ ،  $M_d$ ) که مشخص‌کننده نوع طیف ژئوشیمیایی معینی است، توصیف شود. اندیس ضریبی (چندبارگی)، حاصلضرب لگاریتم مقدار میانگین عناصر این گروه و یا ضریب تمرکزشان نسبت به زمینه ژئوشیمیایی است. اندیس ژئوشیمیایی،  $C_m$ ، معیار بهتری است و عبارتست از خارج قسمت اندیس ضریبی  $M_e$  گروه اول عناصر شاخص، بر اندیس  $M_d$ ،

برای طبقه‌بندی بهتر هاله‌های پراکندگی اگروژنیک همانند، این نویسندگان پیشنهاد استفاده از یک تابع متمایزکننده جدید را نمودند. این تابع این امکان را فراهم می‌نماید که همه ویژگی‌های آماری (برآورد مقادیر میانگین پراکندگی، و پراش در مقادیر عنصر شاخص) بطور همزمان، بحساب آورده شوند. تابع خطی متمایزکننده، به کمک کامپیوتر محاسبه می‌شود. از اینرو، استفاده از آن تنها در مواقعی توصیه می‌شود که این موضوعات بار شیبی ساده‌تر قابل تمیز نباشند.

در ناحیه‌ها با سری رسوبی پیچیده، یعنی محل‌هایی که انواع مختلف هاله‌های ناپیدا غالبند بررسی‌های اکتشافات ژئوشیمیایی، استفاده از به اصطلاح «پیمایش‌های لیتوژوشیمیایی ژرف» را میسر ساخت، این اکتشافات ژرف بر اساس حفرت‌های کم‌ژرفا در امتداد پروفیل و نمونه‌گیری از تراز افق معرف (نماینده) بمنظور کشف هاله‌های پراکندگی دومین جامانده‌ای است که از توده‌های کانساری حاصل می‌شوند.

بررسی لیتوژوشیمیایی ژرف، بسیار پرهزینه‌تر از اکتشافات ژئوشیمیایی هاله‌های نمایان است. در نتیجه، تصویب و تأیید نیز عملیاتی به یک پشتوانه زمین‌شناسی محکم نیاز دارد. به این دلیل است که پیمایش‌های لیتوژوشیمیایی ژرف، معمولاً در ناحیه‌هایی انجام می‌شود که بررسی‌های ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی پیشین، وجود انواع ویژه‌ی کانسارها را مشخص کرده باشد. این روش بویژه در گستره‌هایی موثر واقع می‌شود که وجود ساختارها، کنترل‌کننده کانسار دفن شده همراه با کانسار اقتصادی، محرز باشد.

چنانکه یاد شد، مناسبترین شرایط برای تشکیل هاله‌های پراکندگی جامانده دفن شده ناحیه‌هایی است که دوره‌های طولانی هالون‌شدگی را در شرایط قاره‌ای گذرانیده باشند. پوسته عمیقاً هوادیده و دوباره سخت شده در سطح برخورد فرسایش یافته، که مشخص‌کننده چنین محیط‌هایی است، شرایط را برای تشکیل هاله‌های پراکندگی جامانده توسعه یافته‌ای مساعد می‌کند، که متعاقباً بوسیله پوششی از نهشته‌های انتقال یافته از مسافتهای دور و با ضخامت‌های مختلف، پوشانده می‌شوند.

توزیع عناصر شگفت‌انگیز در پروفیل پوسته هوازده، بستگی به ویژگی‌های ترکیب آن دارد، هنگامیکه یک افق کاتولن در بهش بالایی پوسته هوازده بوجود می‌آید، اکثر عناصر اندک بطور جزئی شسته می‌شوند. این عمل همراه با از شدت عناصر اندک در زون مشخص شده با لکه‌های رنگین است که بطور کلی یک پوسته هوازده هیدرومیکال<sup>۲</sup> است. معمولاً افق اخیر بهترین افق نماینده (معرف) برای نمونه‌برداری است. در مواقعی که بدلیا یا عناصر شاخص از سطح افق پوسته‌ای بطور قابل ملاحظه‌ای شسته نشده باشند، هاله‌های نفوذی برنهادهی ممکن است در رسوباتی که بر روی هاله‌های جامانده قرار می‌گیرند بوجود آید. امتداد گسترش قائم این هاله‌های برنهادهی بسته به عوامل بیشمار، از جمله ترکیب و شدت کانی‌سازی نخستین و نیز رژیم آب‌شناختی و خصوصیات ترکیب رسوباتی که هاله‌ها را می‌پوشانند، بطور گسترده‌ای تغییر می‌یابد. نسبت اجزای سازنده مگنیتیک و آبگونه (شیمیایی) در هاله پراکندگی جامانده نیز اهمیت زیادی دارد. اریمیف<sup>۳</sup> (۱۹۶۳)، تغییرات شایان توجهی را در گستره قائم پراکندگی هاله‌های نفوذی برنهادهی، یادآور شده است. این تغییرات بمیزان ۰/۱ تا ۱۵ یا ۱۸ متر است، ولی معمولاً به بیش از یک یا دو متر نمی‌رسد.

اندازه هاله پراکندگی در افق‌های ژرف پوسته هوادیده در نزدیکی سطح سنگ بستر با دگرسانی ضعیف، بطور محسوسی کاهش می‌یابد. از اینرو توصیه می‌شود در مواردی که افق‌های فرسایش نیافته بالایی پوسته هوازده شناخته می‌شوند، از این زون‌ها برای نمونه‌برداری استفاده نشود.

دستورالعمل‌هایی که در بررسی‌های لیتوژوشیمیایی ژرف مورد استفاده قرار می‌گیرد، بیش از هر چیز به ضخامت نهشته‌های انتقال یافته سخت نشده بستگی دارد. وسایل تکنیکی که برای دستیابی به افق نمونه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد، باتوجه به این ضخامت انتخاب می‌شوند (جدول ۴۲).

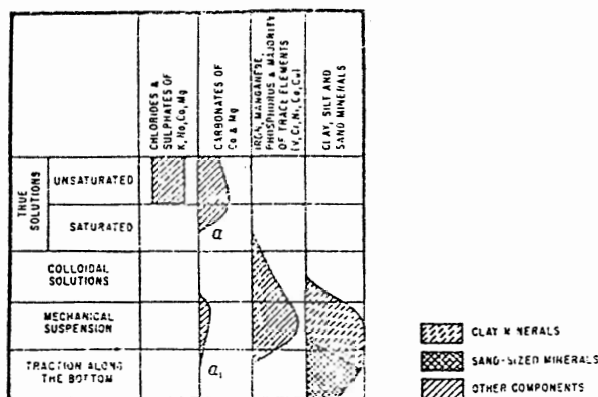
جدول ۴۲- انواع هاله‌های پراکندگی دفن شده سوپرژن کانسارها، بر اساس ژرفای پوششی که شامل مواد سخت نشده انتقال یافته از مسافتهای دور است (از کرانیوف و شارکوف).

طبقه‌بندی دشواریها در اکتشافات	ضخامت نهشته‌های سخت‌نشده انتقال یافته از راه دور بر حسب میلی‌متر	نوع هاله پراکندگی	روشها و وسایل تکنیکی اکتشاف
III	۶-۲	نسبتاً ضعیف در سطح و عمق کم	بررسی‌های لیتوژوشیمیایی ژرف به کمک وسایل هیدروژنیک کابل دار.
IV	۲۵-۶	دفن شده	بررسی‌های لیتوژوشیمیایی ژرف به کمک متدهای مارییچی با لوازم حفاری سبک دیگر.
V	۱۵۰-۲۵	عمیقاً دفن شده	بررسی‌های لیتوژوشیمیایی ژرف به کمک متدهای مارییچی و حفاری مغزه گیر.

بدست آوردن نتایج موفقیت‌آمیز در اکتشافات لیتوژوشیمیایی، مستلزم داشتن آگاهی‌های زیر است:

- ۱- وجود کانه در ناحیه ۲- نموده‌های لیتولوژیکی، چینه‌شناسی و ژئوتکنیکی سازندهای رسوبی در پوشش سخت نشده، و نیز ضخامت آنها، ۳- طبیعت پوسته هوازده سنگ بستر. مرحله مقدماتی اکتشاف بایستی بر بررسی جامعی از همه منابع اطلاعات زمین‌شناختی موجود در ناحیه‌ای که بررسی‌های لیتوژوشیمیایی ژرف در آن مورد نظر است، متمرکز شود. در این مرحله تعیین حدود تجربی گستره‌هایی که ضخامت نهشته‌های انتقال یافته در آنها مختلف است، توصیه شده است. این امر به کمک دانسته‌های حاصل از بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی و نیز با تعمیم نتایج حاصل از حفاری‌های قبلی و بررسی‌های ژئوفیزیکی، امکان‌پذیر است. مورد یاد شده اخیر بویژه بدقت مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و همه ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی که قبلاً در ناحیه کشف شده، روی نقشه عملیاتی مشخص می‌شود.

اطلاعات تجزیه و تحلیل شده که در طی مرحله مقدماتی اکتشاف بدست می‌آید، بعنوان مبنایی برای تعیین ژرفای مطلوب حفاری و ژرفایی که در آن نهشته‌های سخت نشده نمونه‌برداری می‌شوند، بکار می‌رود



شکل ۷۹. شکلهای مختلف انتقال اجزای سازند رسوبات بوسیله رودخانه‌ها (از استراخف).  
 ۱- کانیهای رسی، ۲- کانیهای اندازه‌شن، ۳- اجزای سازنده دیگر: a و a<sub>1</sub> تنها مشخص‌کننده رودخانه‌های کوهستانی و شرایط اقلیمی خشک هستند.

نسبت به مقادیر زیادی از همین کانیها که ممکن است در پلاسرها انباشته شوند، بدست می‌دهد. قدرت ذرات ریز پراکنده در جذب یونهای موجود در محلول بر روی سطوح خود، بر میزان آگاهیایی که از جزء ریز رسوبات کف رودخانه می‌توان بدست آورد، می‌افزاید. این اجزاء ممکن است دو نوع اطلاعات ژئوشیمیایی، دربر داشته باشند. یعنی آگاهیایی در باره ترکیب فرآورده‌های هواپدیده جامد، و دیگر آگاهیایی در مورد ترکیب یونهای که در آنها، بحالت حل شده موجودند. بخشهای بالایی رشته‌های پراکندگی، مجاور هاله‌های پراکندگی دومین قرار دارند زیرا که در نتیجه تخریب این هاله‌ها، تشکیل می‌شوند. در نتیجه، رشته‌های پراکندگی بطور ژنتیکی با هاله‌های پراکندگی دومین همراهند و از طریق این هاله‌ها، به تمرکزهای کانسنگی در سنگ بستر وابسته‌اند. این وابستگی مدت‌هاست که شناخته شده است و برای یافتن سرچشمه‌های اصلی هاله‌هایی با پراکندگی مکانیکی آن کانیهایی که در برابر آب و هوازدگی مقاومت بکار می‌روند. مانند کاسیتريت، سینابر، طلا، پلاتین و غیره (یعنی روش تمرکز سنگین). این روشهای کاملاً شناخته شده، بعدها در ردیف روشهای گوناگون اکتشاف ژئوشیمیایی قرار گرفت.

بهرجهت، چنانکه پیش از این یاد شد، بسیاری از عناصری که در محیطهای آبی، پویا هستند، (Mo, U, Pb, Zn, Cu) و عناصر دیگر) در رشته‌های پراکندگی به شکلهای مختلف: پراکنده ریز، محلول، و یا بحالت جذب شده، موجودند و با روشهای کانی‌شناسی قابل شناسایی نیستند. به این دلیل است که در بررسی رشته‌های پراکندگی کانسارها، روشهای ژئوشیمیایی مبتنی بر نمونه‌برداری و تجزیه رسوبات کف رودخانه برای کشف عناصر شاخص بکار گرفته می‌شود.

(افق نمونه‌برداری معرف، معمولاً بدنبال اولین سری عملیات حفاری، انتخاب می‌شود) تصمیمات فنی نیز با توجه به حفاری، در این مرحله گرفته می‌شود.

الگوی (شیکه) گمانه‌های اکتشافی بر پایه ابعادی که برای هاله‌های پراکندگی دفن شده انتظار می‌رود، برنامه‌ریزی می‌شود، و این الگو تقریباً همان شبکه نمونه‌برداری انتخاب شده در اکتشاف هاله‌های نمایان است. اریمیف (۱۹۶۳)، امور تصمیم‌گیری در باره شبکه حفاریهای اکتشاف را که بایستی در بررسیهای لیتوژئوشیمیایی ژرف اعمال شود، مورد بحث قرار داده است، از جمله ضرورت داشتن گسترده‌ترین شبکه مشاهداتی که راه حلی است برای مسائل اصلی اکتشاف (یعنی برخورد با هدف و قطع آن حداقل در یک نقطه). اریمیف، بر این عقیده است که اگر برای کانسارها، ذخیره معینی تصور شود که هدف از اکتشاف آنها، پی بردن به مقادیر اجزای سازنده مفید در آنها، و مشخص نمودن شکل توده‌های معدنی بوسیله مقایسه با مثالهای معلوم و شناخته شده باشد، در آنصورت تعیین طول و عرض نمایان توده معدنی در سطح پی‌سنگ ممکن است بطور تقریبی امکان‌پذیر گردد. اندازه‌های احتمالی هاله‌های پراکندگی دومین نیز ممکن است بطور تقریبی تعیین شود، و محدوده‌گستره‌های احتمالی هاله‌های عناصر شاخص مشخص‌کننده کانسارها تعیین گردد.

### رشته‌های پراکندگی کانسارها

رشته‌های پراکندگی کانسارهایی که در رسوبات کف یک سیستم رودخانه‌ای بوجود می‌آیند، بوسیله فرآیندهای تخریب سوپرژنی نهشته‌ها و نیز هاله‌های نخستین و دومین آنها تولید می‌شوند. رشته‌های پراکندگی از خروج عناصر شیمیایی ویژه یک نوع نهشته معین، بوسیله آبهای سطحی و زیرزمینی، حاصل می‌شوند. این عناصر پس از انتقال، در آبرفتهای رودخانه‌ای، ته‌نشین می‌شوند. عناصر، هم به شکل محلولهای حقیقی یا کلوئیدی و هم بطور مکانیکی به شکل فرآورده‌های جامد فروپاشی (شکل ۷۹) خارج می‌شوند. ته‌نشست ذرات جامد به علت تغییرات تدریجی یا ناپیوسته در قدرت حمل آنها توسط رودخانه، اتفاق می‌افتد. مسافتی که فرآورده‌های فروپاشی در طول آن انتقال می‌یابند، با اندازه ذره نسبت عکس دارد. بنابراین ریزترین ذرات از طولانی‌ترین فاصله نسبت به سرچشمه، منتقل می‌شوند. در نزدیکی سرچشمه، این ذرات، ممکن است در ناحیه‌هایی از بستر رودخانه که سرعت آب بشدت کم می‌شود، تشکیل گردند. سرعت رودخانه، ممکن است به علت پیچهای تند مسیر آن، موانع یا تخته‌سنگهای بزرگ در بستر رودخانه و یا گودشدگی‌های موضعی کف رودخانه، کاهش یابد.

اکثر کانیهای کانسنگی که دارای عناصر شاخص هستند، نسبتاً شکننده بوده و از نظر شیمیایی ناپایدارند. در نتیجه مهاجرت آنها در آبهای سطحی، بطور عمده، به شکل ذرات ریز معلق پراکنده و نیز به شکل جذبی رخ می‌دهد. تعداد معدودی از کانیها که در پلاسرها انباشته می‌شوند (کاسیتريت، تانتالیم-نیوباتها، سینابر و جزاینها) استثنا می‌باشند. البته قابلیت انباشت کانیها در پلاسرها به این معنی نیست که این کانیها بصورت ریز و پراکنده بوسیله آنها قابل انتقال نیستند، بلکه در این حالت این کانیها در معرض پراکندگی گسترده تری قرار گرفته و به رسوبات کف رودخانه‌ها می‌پیوندند. در این رابطه، شکل ریز و پراکنده انتقال آگاهیایی بیشتری را

توصیف می‌کنند (بوخولیوف<sup>۱</sup>، ۱۹۶۸). با توجه به دشواریهایی که در تعیین ضریب تجربی  $k$  پیش می‌آید، همه این روابط اساساً نظری تلقی می‌گردد و در عمل کاربردی ندارند.

ممکن است مفید باشد که رشته‌های پراکندگی را که از یک محیط ژئوشیمیایی مشابه تشکیل شده‌اند بر حسب بارآوری آنها با هم مقایسه نموده و موارد تمایزشان با توجه به زمینه ژئوشیمیایی آنها با هم سنجیده شود.

طول رشته‌های پراکندگی بطور عمده بستگی به محیطهای منظر-ژئوشیمیایی در ناحیه حوضه فرسایشی، و نیز به ابعاد سرچشمه مورد فرسایش\* دارد. کوتاهترین رشته پراکندگی (محدوده‌ای در حدود تنها یک کیلومتر) مشخصه کانسارهایی است که در نواحی خشک واقع شده‌اند. در شرایطی که آب و هوازدگی فیزیکی شدیدتر باشد، اجزای سازنده مکانیکی، نسبت به اجزای آبگونه بطور بارزی افزایش نشان می‌دهد، در اینصورت طول رشته‌های پراکندگی در رسوبات کف یک سیستم رودخانه‌ای به مقدار شایان توجهی محدود می‌گردد. طبیعت موقتی رودخانه‌های تپیک نواحی خشک، مسئول جورشدگی ضعیف مواد آبرفتی و آلوده شدن با ماسه‌های بادی است. باین ترتیب بطور قابل توجهی تباین ناهنجاریها کاهش می‌یابد. در هر حال با وجود دشواریهای یاد شده، اکتشاف ژئوشیمیایی نهشته‌های کانه‌ای، مبتنی بر کاربرد رشته‌های پراکندگی در رسوبات کف رودخانه، حتی برای نواحی معمولاً خشک نیز موثر است. اکتشافات موفقیت‌آمیزی که با استفاده از رسوبات کف رودخانه‌ها در صحرای خاوری مصر و نواحی کویری سودان، مراکش و غیره (بر پایه داده‌های حاصل از پروژه‌های اکتشافی سازمان ملل متحد) انجام شده است، این امر را ثابت می‌کند. در کویر سودان ناهنجاری مس را تا فاصله ۱ تا ۱/۵ کیلومتری پائین رود، نسبت به کانسارهای رگه‌ای در مسیرهای آبی خشک فصلی می‌توان ردیابی نمود. در نواحی خشک مکزیک رشته‌های پراکندگی کانسارهای سولفوری گاهی اوقات به ۲/۵ کیلومتر می‌رسد. در محیطهای خشک، طول رشته‌های پراکندگی عناصر اندکی که پویایی متفاوتی دارند، همانند است. این امر به سبب سرشت اساساً مکانیکی پدیده پراکندگی است.

بر خلاف نواحی خشک، سرزمینهایی که دارای نواحی جنگلی با آب و خاکهای اسیدی یا خنثی هستند، بوسیله مهاجرت شدید کلئوئیدهای آلی و معدنی در آبهای طبیعی، مشخص می‌شوند و این امر موجب افزایش پویایی اکثر عناصر اندک می‌گردد. شرایط ویژه مناسب برای مهاجرت آبی عناصر اندک، شرایطی است که در نواحی گرمسیری مرطوب حکمفرماست. در این ناحیه‌ها، خروج سوپرژن عناصر شاخص از افقهای سطحی کانسارها و انتقال بعدی آنها به شکل کلئوئیدی یا جذبی، بوسیله آبهای رودخانه‌ای، اهمیت ویژه‌ای دارد. طولترین رشته‌های پراکندگی ثبت شده در نواحی گرمسیری مرطوب به کانسارهایی از مس پرفیری وابسته‌اند، که هاله‌های پراکندگی دومین نسبتاً وسیعی (هزارها مترمربع) را در خاک تشکیل می‌دهند (بنوس و لپتیه<sup>۲</sup>، ۱۹۷۱). برای مثال، در پاناما مقدار مس در رسوبات رودخانه‌ای در فاصله ۱۲ تا ۱۵ کیلومتری یک

\* - مقایسه میان اندازه سرچشمه فرسایشی ابتدایی و وسعت کانسارها، بایستی با احتیاط صورت گیرد. بویژه، حتی کانسارهای وسیع، در مراحل ابتدایی فرسایش، ممکن است بوسیله گستره‌های کوچک فرسایشی، مشخص شوند.

پلی کاربیدین<sup>۱</sup> (۱۹۶۸)، و دیگران، دریافتند که رشته‌های پراکندگی ممکن است دارای ساختار بسیار پیچیده‌ای با: بند. بخشهای بالایی رشته‌ها، که مستقیماً در مجاورت نهشته قرار دارند، معمولاً بوسیله مقادیر بیشتر (از ده صد ها برابر زمینه ژئوشیمیایی) و غیریکنواخت عناصر مشخص می‌شوند. تمرکزهای عنصری به سوی پایه، رود بشدت کاهش می‌یابند (تا جایی که ممکن است تنها به بیش از ۳ تا ۵ برابر زمینه ژئوشیمیایی رسا، ولی، در نتیجه پودر شدن شدید و درآمیختن مواد رودخانه، توزیع عناصر به منظم تر شدن گرایش پیدا می‌کند.

ترکیب عنصر شاخص یافت شده در رشته‌های پراکندگی، بستگی به ترکیب هاله‌های نخستین و کانسنگ اصلی در سر شده و نیز به ویژگیهای مهاجرت سوپرژن عناصر در محیطهای منظر ژئوشیمیایی دارد. پژوهشگران مختلف فرمولهایی را بر مبنای مفهوم بارآوری رشته پراکندگی  $P_x$ ، پیشنهاد نموده‌اند تا بتوان رابطه میان هاله‌های دومین و رشته‌های پراکندگی را بطور کمی بیان نمود.

$$P_x = S_x (C_x - C_\phi)$$

که  $C_x$  مقدار عنصر شاخص در رشته پراکندگی،  $C_\phi$  مقدار میانگین زمینه  $S_x$  مساحت بخش فرسایش یافته (حوض زهاب ظاهری) در محل معینی از بستر رودخانه بر حسب مترمربع ( $m^2$ ) می‌باشد.

سولوو، به این منظور، رابطه ساده‌ای را پیشنهاد نمود:  $P_x = k.P$  که  $P$  عبارتست از بارآوری هاله پراکندگی د. مین، که عنصر شاخص را به سیستم رودخانه می‌رساند و  $k$  ضریبی است که بستگی به شمار شرایط بیرونی دارد (که ممکن است بیشتر و یا کمتر از یک باشد). پلی کارپوشکین (۱۹۶۸) دشواریهایی را که در انداز گیری  $P_x$  بوجود می‌آید، شناسایی نمود و فرمول پیچیده‌تری را پیشنهاد کرد که با تجزیه و تحلیل تئوریک فریند های که منجر به تشکیل هاله‌های پراکندگی مکانیکی در رودخانه‌ها می‌گردد، آغاز می‌شود.

$$P_x = \frac{1}{k_1} \cdot \frac{P}{L_1 - L_2} \cdot \frac{e^{-\delta(x-L_2)} - e^{-\delta(x-L_1)}}{\phi(x)} \cdot f(x)$$

که  $P_x$  و  $\delta$  به ترتیب عبارتند از بارآوریهای رشته پراکندگی و آثار معدنی بر حسب مترمربع در صد  $X$ ،  $(m^2\%)$ ، فاصله از بالای دره به سوی پائین رود است،  $L_1$  و  $L_2$  به ترتیب مقدار مسافت از لبه‌های بالایی و پائینی آثار معدنی می‌باشند، که به روش مشابهی تعیین شده‌اند  $\delta$ ، پارامتری است که وابسته به عوامل دینامیکی شت پراکندگی سازند مربوطه می‌باشد،  $K_1$  عامل تناسب است (که بطور تجربی تعیین می‌شود)،  $\phi(x)$  و  $f(x)$ ، توابعی هستند که چگونگی آنها بستگی به شکل حوضه رودخانه دارد. برای حوضه‌های بیضی شکا  $f(x) = \frac{1}{2}x^2$  و  $\phi(x) = x - 1/\delta \cdot (1 - e^{-\delta x})$  می‌باشد و در حوضه‌های با عرض ثابت  $x = f(x)$  و  $\phi(x) = 1 - e^{-\delta x}$  است. وقتی  $\delta$  به سوی صفر میل می‌کند، فرمول پیشنهادی پولیکار پوشکین (۱۹۶۸) به فرمول سا،  $P_x = k.P$  تبدیل می‌شود.

فرمول ای دیگری نیز موجود است که روابط میان هاله‌های دومین و رشته‌های پراکندگی مکانیکی را

جدول ۴۴- مقادیر مس در دانه‌بندیهای مختلف در رسوبات رودخانه‌ای، در زامبیا (ازوب).

اندازه بر حسب مش (استاندارد انگلیسی)	مقدار مس در دانه‌بندی ۲ میلی متری بر حسب درصد	مقدار کل مس بر حسب ppm	مقدار مس قابل استخراج به روش سرد	زمینه ناهنجاری	زمینه ناهنجاری	زمینه ناهنجاری
۲۰+۳۵	۵/۴	۲۴/۱	۸۰	۱۸۰	۸	۸۰
۳۵+۸۰	۶۴/۴	۴۳/۵	۴۰	۱۶۰	۲	۳۵
۸۰+۱۳۵	۲۱/۱	۲۱/۴	۴۰	۲۱۰	۳	۷۰
۱۳۵+۲۰۰	۵/۴	۴/۶	۸۰	۲۵۰	۱۲	۱۱۰
۲۰۰	۱/۷	۰/۶	۱۱۰	۳۶۰	۲۲	۱۷۰
۸۰			۵۰	۲۲۰	۴	۸۰*

\* دانه‌بندی ۸۰ مشی نتایج قابل قبولی را برای کل مس (تباين معادل ۴/۴)، و مس قابل استخراج سرد (تباين معادل ۲۰) فراهم می‌کند.

سیلتی رسوبات، نمونه برداری شود، زیرا این نوع رسوبات مفیدترین آگاهها را دربر دارند. البته، سرپیچی از این روش مرسوم نیز ممکن است برای مثال، در مورد طلا، پلاتین، در برخی موارد، قلع، و نیز تانتالیم و نیوبوم، بهتر است از اجزائی بدرشتی تا ۱/۰ میلی‌متر نمونه برداری شود. این نمونه‌ها بایستی از محلهایی از بستر رودخانه برداشته شوند که جایجائی کانیهای سنگین را در رسوبات کف رودخانه مساعد می‌سازد.

نمونه‌ها مستقیماً از کف رودخانه، یا مسیلهای خشک آن برداشته می‌شود، یعنی بسته به شرایط موضعی ویژه، از سطح یا از ژرفاهایی بین ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر جمع‌آوری می‌شوند. در نمونه برداری از جزء رسی - سیلتی که اطلاعات مفیدی را دربر دارد، در نواحی کوهستانی که سرعت جریان آب بسیار زیاد است، و نیز در نواحی کویری که نهشته‌های آبرفتی در جویبارهای خشک به مقدار زیاد با ماسه‌های بادی آلوده می‌شوند، دشواریهایی بوجود می‌آید.

در رودخانه‌های کوهستانی، مواد سیلتی و ماسه‌ای - رسی، بایستی میان قله‌سنگها و در پیچهای تند رودخانه‌ها یافت شوند. در طی نمونه برداری در مجراهای خشک کویرها، بخش ریزدانه (مش ۶۰- یا ۲۵/۰) رسوبات کف رودخانه‌ها را می‌توان بوسیله الک کردن از بخش ماسه‌ای جدا کرد. بخش ریزدانه فوق، همچنین ممکن است در نتیجه آلودگیهای بادی بمقدار قابل توجهی از عناصر مورد نظر کم‌مایه و رقیق گردد. با گرووف<sup>۱</sup> (۱۹۷۴) توصیه می‌نماید که در صورت مشکوک بودن به آلودگی، دانه‌بندی ۱ تا ۲۵ میلی‌متری بکار گرفته شود. این توصیه بر پایه تجاربی است که از بررسیهای تجربی در کویر (صحرائی) خاوری مصر، بدست آمده است.

ناهنجاری اصلی، ۲۰۰ گرم در تن اندازه گیری شده است. این ناهنجاری در خاکی است که یک کانسار مس پرفیری را می‌پوشاند. در شرایط اقلیمی همانند، در فیلیپین (جنگل مرطوب)، مقدار ناهنجاری مس در رشته‌های پراکندگی تا مسافت ۱۶ کیلومتر از یک خاک دارای ناهنجاری، ردیابی شده است، این ناهنجاری نیز با کانسار مس پرفیری همراه بوده است.

در نواحی سرد باتلاقی و جنگلی شوروی، نواحی جنگلی کانادا و جاهای دیگری که شامل مناطق معتدله مورد بحث می‌باشد، رشته‌های پراکندگی ممکن است از ۱/۵ تا ۴ کیلومتر امتداد یابند. وسعت رشته‌های پراکندگی در نهشته‌هایی که از مواد فرسایش یافته بوجود آمده‌اند، به شرایط منظر ژئوشیمیایی و ترکیب کانیهای همراه، بستگی دارد. کاملاً طبیعی است که در چنین شرایطی، طویل‌ترین رشته‌های پراکندگی مرکب از عناصر شاخصی خواهد بود که در آبهای اسیدی و خنثی به آسانی به شکل محلولهای حقیقی و کلوئیدی (U, Mo, Cu و غیره) مهاجرت می‌کنند. در مورد این عناصر، اجزاء سازنده قابل حل رشته‌های پراکندگی، معمولاً از اهمیت شایان توجهی برخوردارند و هر چه از سرچشمه فرسایشی عناصر دور شویم، اهمیت آنها چشمگیرتر می‌شود.

داده‌های حاصل از بررسیهای اکتشافاتی که در دهه اخیر در محیطهای منظر اقلیمی انجام شده است نشان می‌دهد که رشته‌های پراکندگی کانسارها با ترکیبات و ابعاد گوناگون، از بزرگ تا متوسط، حتی در شرایطی که برای تشکیل آنها نامساعد است، حداقل ۸/۰ کیلومتر طول دارند. در نتیجه این نمود و بر مبنای شرایط منظر ژئوشیمیایی ویژه، مسافت میان نقاط نمونه برداری را می‌توان انتخاب نمود. از بررسیهای توزیع عناصر اندک در اجزای گوناگون رسوبات بستر رودخانه‌ها (جدولهای ۳ و ۴)، توصیه می‌شود که از ریزترین اجزای رسی

جدول ۴۳- مقدار کل روی و مقدار کل فلزات غیر آهنی که به روش سرد قابل استخراج می‌باشند (Cu, Pb, Zn) در دانه‌بندیهای مختلف رسوبات رودخانه‌ای در کانادا (از هواکز و وب ۱۹۶۲).

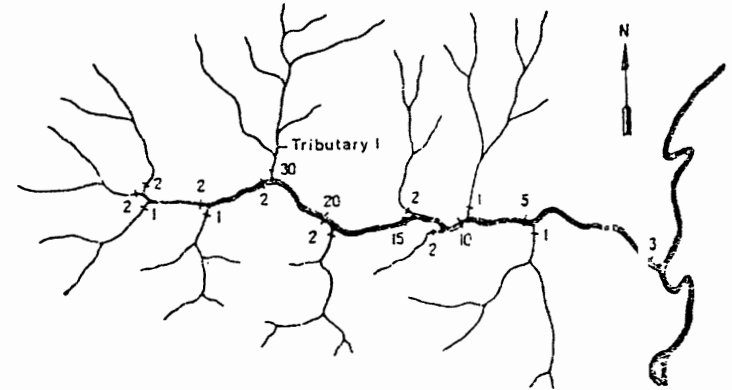
دانه‌بندی بر حسب مش (استاندارد انگلیسی)	مقدار بر حسب درصد	مقدار کل روی بر حسب ppm*	مقدار قابل استخراج به روش سرد کل فلزات غیر آهنی (ppm)
۸+۳۲	۶۵	۵۰۰	۶
۳۲+۸۰	۲۵	۵۰۰	۱۵
۸۰+۱۱۵	۴	۸۰۰	۲۵
۱۱۵+۲۰۰	۳	۸۰۰	۴۵
۲۰۰	۳	۱۰۰۰	۷۵

\* استخراج بوسیله اسید نیتریک انجام شده است.

فواصل میان نقاط نمونه برداری در مسیر رودخانه‌ها، به شرایط منظر ژئوشیمیایی و نیز نموده‌های حوضه رسوبی بستگی دارد. نمونه برداری در مسیری بسمت فراز رودخانه (بالارود)، احتمالاً از دهانه شروع شده و به داخل دهانه‌های هم‌انتهای فرعی رودخانه، ادامه می‌یابد.

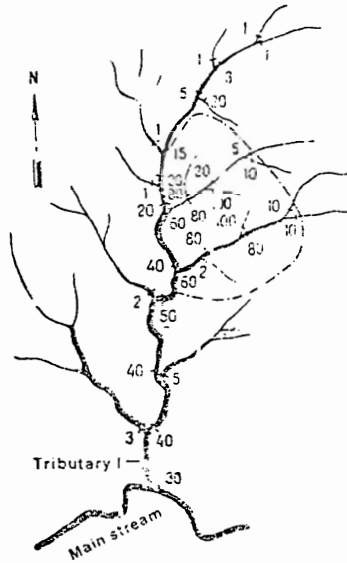
طول رشته‌های پراکندگی، امکان انتخاب فاصله‌های بین نقاط نمونه برداری را بر پایه شرایط موضعی ویژه فراهم می‌نمایند. این فواصل نمونه برداری ممکن است از ۰/۵ کیلومتر (در نواحی با پویایی محدود عناصر اندک) تا یک کیلومتر و حتی ۲ کیلومتر (در نواحی با پویایی افزایش یافته عناصر اندک)، متغیر می‌باشند. با اینهمه گرانشهایی که فاصله دهانه‌هایشان نسبت به هم کمتر از فاصله نمونه برداری انتخابی است، به دره رودخانه ای بریزد که بعنوان مسیر اصلی بکار می‌رود، در آن صورت، همیشه بایستی نمونه برداری از محل دهانه این شاخه‌های فرعی انجام گیرد (شکل‌های ۸۰ و ۸۱).

در خلال بررسی‌های مقدماتی شناسایی، بایستی نمونه برداری به دهانه‌های انشعابهای کم‌ترفا محدود گردد\*. اگر مقادیر آهنگباری تعیین و ثبت شد، در آن صورت به منظور شناسایی سرچشمه ناهنجاری، بخشهای بالایی این انشعابات در مراحل اکتشافات تفصیلی تر، مورد بررسی قرار می‌گیرد. ممکن است مشخص گردد که این ناهنجاری به علت حضور کانسار نمایان و یا هاله ژئوشیمیایی آن (نخستین یا دومین) باشد. تجارب بدست آمده از اکتشافات ژئوشیمیایی در رسوبات بستر رودخانه در دنیا، که بوسیله وب و دیگران خلاصه شده است، پیشنهاد می‌کند که فشردگی نمونه برداری، به میزان یک نمونه در یک کیلومتر مربع، بایستی امکان ردیابی همه ناهنجاریهای رشته‌های پراکندگی مربوط به کانسارهای بزرگ و متوسط را فراهم سازد.



شکل ۸۰ - نقشه نموداری، نشاندهنده نتایج بررسیهای مقدماتی ژئوشیمیایی در رسوبات رودخانه‌ای، در فیلیپین. یک مقدار ناهنجاری از من در دهانه شاخه شماره ۱، در بخش ریزدانه رسوبات بستر، کشف گردید. خط چینها و شماره‌ها به ترتیب آنها، نمونه برداری و مقادیر مس قابل استخراج سرد (بر حسب ppm) را مشخص می‌کنند (از گووت (Govett) و همکاران ۱۹۶۶).

\* - رشته‌های پراکندگی معمولاً در نهشته‌های رودخانه‌ای اصلی، زیر محلی که یک شاخه فرعی به رودخانه می‌پیوندد، شدت رقیق می‌شوند.



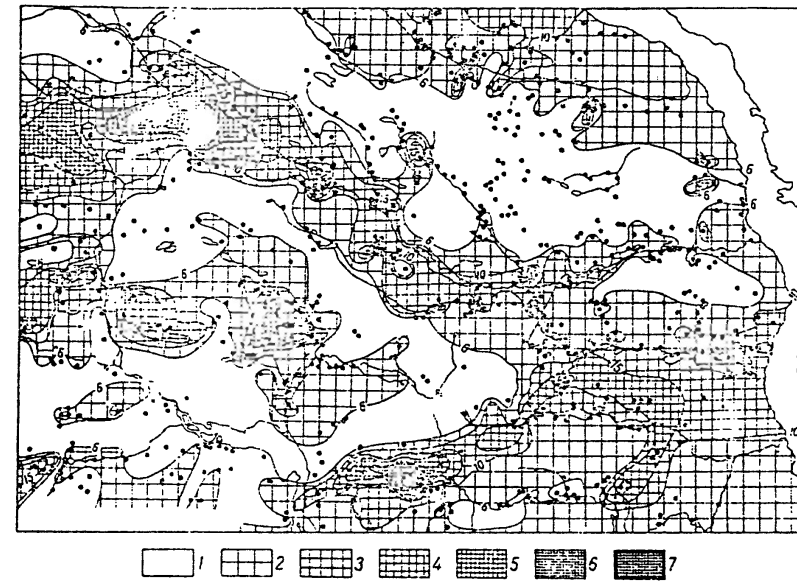
شکل ۸۱ - نمونه برداری تفصیلی از رسوبات کف رودخانه در امتداد شاخه ۱، که به کشف یک هاله پراکندگی دومین در ارتباط با کانی‌سازی مس انجامید (از گووت و همکاران ۱۹۶۶). (هاله دومین در خاکها بوسیله دایره‌ای از نقطه خط - چین‌ها محدود شده است. برای علائم بکار رفته دیگر به شکل ۸۰ مراجعه شود.

هنگامی که از رسوبات بستر رودخانه‌ها نمونه برداری می‌شود، بایستی بیاد داشت که آلودگیهای بوجود آمده در آب رودخانه‌ها بوسیله بشر، می‌تواند سرچشمه‌های احتمالی گوناگونی داشته باشد. آلودگی آبها در رسوبات بستر رودخانه‌ها بوسیله عملیات معدنکاری و کارخانه‌های متالورژی اهمیت ویژه‌ای دارد. حضور آلودگیها در شاخه‌های بالایی حوضه‌های زهاب، گاهی اوقات احتمال بدست آوردن نتایج معتبر با روشهای مورد بحث را، رد می‌کند. به منظور اجتناب از نتایج نادرست حاصل از ناهنجاریهای دروغین، بایستی طبیعت ماده نمونه برداری شده، بویژه اندازه آن، مقدار تقریبی مواد آلی و غیره را در نظر داشت و در دفترچه یادداشت صحرائی منعکس نمود.

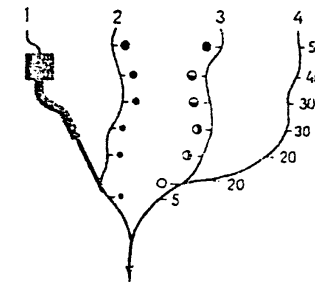
بررسیهای ژئوشیمیایی مبتنی بر رسوبات رودخانه‌ای از حوضه‌های زهاب، در تهیه نقشه‌های رشته‌های پراکندگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و داده‌های مربوط به توزیع عناصر شاخص در نهشته‌های بستر رودخانه‌ها را ارائه می‌دهد. شکل‌های ۸۲ و ۸۳ نتایجی را نشان می‌دهد که از نمونه برداری رسوبات کف سیستم‌های رودخانه‌ای می‌توان بدست آورد.

در طی مرحله اکتشاف شناسائی (مقدماتی)، زمانیکه نمونه‌های فلززایی ناحیه هنوز کاملاً شناخته شده نیست، توصیه می‌شود که نمونه‌های ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای به منظور شناخت شمار بیشتری از عناصر بوسیله روش نیمه کمی اسپکتروگرافی نشری، تجزیه شود. هنگامیکه ناهنجاریهای ژئوشیمیایی شناسائی شده، و انباشت عناصر اندک به اثبات رسید، شمار عناصری که تجزیه آنها ضروری است کاهش می‌یابد. بنابراین برای داشتن دقت کافی برای تفسیر کمی، می‌توان مؤثرترین روش تجزیه‌ای را، با سرعت زیاد و هزینه کم، بکار گرفت.

امروزه روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی با استفاده از رسوبات کف رودخانه‌ها، که ثابت شده است در شرایط مختلف منظر-اقلیمی بسیار مؤثرند، بویژه در طی مراحل نخستین اکتشافی بسیار متداول گشته است. برای مثال، از ژوئن ۱۹۷۰ تا ژوئن ۱۹۷۱، برای اکتشافات ژئوشیمیایی در کشورهای در حال توسعه آسیا و آمریکای لاتین، ۱۷۶،۰۰۰ نمونه از رسوبات رودخانه‌ای (۴/۴٪ از کل) برداشته و تجزیه شده است.



شکل ۸۲. این نقشه خطوط هم غلظت در توزیع مس را در رسوبات کف رودخانه (نورژ جنوبی) نشان می‌دهد. محل‌های نمونه‌برداری بوسیله نقطه‌چین نشان داده شده است (از بولویکن Bolviken) مقدار، بر حسب ppm، ۱-کمتر از ۶، ۲-۶ تا ۱۰، ۳-۱۰ تا ۱۵، ۴-۱۵ تا ۲۵، ۵-۲۵ تا ۴۰، ۶-۴۰ تا ۶۳ و ۷-بیش از ۶۳.



شکل ۸۳. راههای مختلف نشان دادن نتایج بدست آمده از نمونه‌برداری از رسوبات کف رودخانه‌ها در نقشه‌های ژئوشیمیایی (از اندروز- جونز Andrews-Jones، ۱۹۶۸).  
 ۱- ستبرای خطی که در امتداد جویبار ترسیم شده و مقدار یک عنصر شاخص را ارائه می‌دهد. ۲- مقادیر بوسیله اندازه دایره‌ها مشخص می‌شود. ۳- مقادیر بوسیله نوع سایه‌های داخل دایره‌ها ارائه می‌شود. ۴- مقادیر بوسیله شماره‌ها بر حسب ppm نشان داده می‌شود.

## فصل ۷

### هاله‌های هیدروژنوشیمیایی کانسارها

#### اطلاعات کلی

آب به داشتن قابلیت بی‌نظیری در انحلال مقدار معینی از بیشتر عناصر شیمیایی، که اجزاء سازنده ترکیبات طبیعی‌اند و همچنین انتقال آنها به مسافت‌های قابل توجه، معروفست. در نتیجه آبی که در همبری با تمرکزهای کانساری قرار می‌گیرد (کانسارها، رخنمونهای معدنی و نیز هاله‌های ژنوشیمیایی آنها) از عناصر شیمیایی که تیپومورف نوع ویژه‌ای از کانه‌ها می‌باشند پرمایه می‌شود. به این ترتیب زون‌هایی پیرامون تمرکزهای کانساری بوجود می‌آید. در این زون‌ها آبهای زیرزمینی دربر دارنده مقادیر افزوده‌ای از سازنده‌های مختلف کانه می‌باشد. این زون‌ها «هاله‌های پراکندگی آبی عناصر شیمیایی» خوانده می‌شوند. روش اکتشاف هیدروژنوشیمیایی برای کشف کانسارها بر پایه کشف هاله‌های پراکندگی آبی که انباشتهای کانساری را همراهی می‌کنند و نیز بر پایه بررسی معیارهای غیرمستقیم دیگری (هیدروژنولوژی و هیدرووشیمیایی) که فرآیندهای ژنوشیمیایی ویژه‌ای را که در خلال آب و هوازدگی توده‌های معدنی کانسارها و هاله‌های نخستین آنها عهده‌دار است، قرار دارد.

ردیابی هاله‌های پراکندگی آبی عناصر شاخص که همیشه با حضور کانسارها همراه است، امکان مشخص نمودن گستره‌هایی را که از نظر وجود کانسارها امیدبخش هستند، فراهم می‌کند.

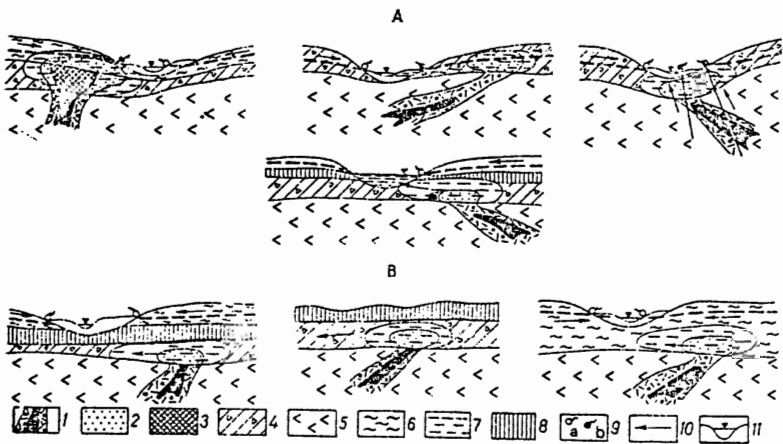
اصول نظری و عملی این روش بوسیله شماری از پژوهشگران روسی و غیر روسی بسط داده شده است. در این میان می‌توان از افراد زیر نام برد: برودسکی<sup>۱</sup>، بلیاکروا<sup>۲</sup>، جرمانوف<sup>۳</sup>، گولوا<sup>۴</sup>، کریئوف<sup>۵</sup>،

1- Brodskii  
4- Goleva

2- Belyakova  
5- Krainov

3- Germanov





شکل ۸۴. انواع هاله‌های پراکندگی آبی پیرامون کانی‌سازی نهفته (A: نمایان، B: نهفته).

۱- توده معدنی و هاله پراکندگی نخستین، ۲- هاله پراکندگی دومین، ۳- کانه‌های اکسید شده (گوسن)، ۴- پوسته هوازده (نفوذپذیر در مقابل آب، سنگ ترک‌دار)، ۵- سنگ بستر کانستگ‌دار، ۶- سنگهای رسوبی آبدار، ۷- هاله پراکندگی آبی، ۸- سنگ غیرقابل نفوذ، ۹- سرچشمه آب زیرزمینی با زمینه (a) و مقادیر ناهنجار (b) عناصر شاخص هیدروژئوشیمیایی، ۱۰- جهت حرکت آب، ۱۱- سطح فرسایش موضعی.

آشکار نشده‌اند و در آبهای سطحی نیز یافت نمی‌شوند.

ابعاد هاله‌های پراکندگی آبی پیرامون کانسارهای شدت اکسیدکننده از ۰/۵ تا ۳ کیلومتر است. در شرایط مساعد تمرکزهای افزایش یافته برخی فلزات ویژه در آب جویبارها ممکن است در مسافت‌های تا ۸-۵ کیلومتر نیز ردیابی شوند.

جدول ۴۵، مهمترین تجمع (مجموعه) هیدروژئوشیمیایی عناصر شاخص را که در هاله‌های آبی انواع مختلف کانسارها یافت می‌شود ارائه می‌دهد (از گلوا ۱۹۶۵).

بررسی هاله‌های پراکندگی آبی در نهشته‌های گوناگون نشان داده است، که این هاله‌ها دارای ساختارهای زونی هستند، یعنی همچنانکه از توده‌های کانساری دور می‌شویم، تمرکز عناصر تغییر می‌کند و مناطقی با غلظت‌های متفاوت (شیب‌های متفاوت) بوجود می‌آید. این عمل بوسیله فرآیندهای رقیق شدن، هیدرولیز، جذب و غیره انجام می‌شود و به تنشست برخی از عناصر از مجموعه یاد شده، در بخش‌های مختلف هاله‌های پراکندگی آبی می‌انجامد.

در عمل همه عناصر هر مجموعه یاد شده در جدول فوق، در منطقه بلافاصل توده معدنی ویژه آن، یافت می‌شوند. زون‌های حد واسط هاله‌های پراکندگی آبی، بیشتر اوقات بوسیله تمرکزهای افزوده مس، سرب، سلنیم و ژرمانیم، مشخص می‌شوند. زون‌های پیرامونی هاله‌های پراکندگی آبی بوسیله تمرکزهای ناهنجار شمار محدودتری از عناصر شاخص مانند مولیبدن، روی، آرسنیک و پاره‌ای اوقات جیوه، مشخص می‌شوند.

اوجینیکوف<sup>۱</sup>، اسمیرنوف<sup>۲</sup>، ساکوف<sup>۳</sup>، آدودوف<sup>۴</sup>، هاوکز<sup>۵</sup>، وب، وایت و دیگران. این اشخاص روشهایی را عرضه نمودند که در بررسی نموده‌های مربوط به تشکیل و کاربرد هاله‌های آبی برای انواع مختلف کانسارها، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

بر پایه درک کنونی ما، این امکان وجود دارد که برای اکتشاف کانسارهای نمایان و نهفته در محیطهای طبیعی مختلفی، از روشهای هیدروژئوشیمیایی استفاده نمود. این روش ممکن است بطور مقدماتی در اکتشاف کانسارهای گوناگون بکار رود زیرا که امروزه روشهای تجزیه‌ای موجود، اندازه‌گیری مقادیر شمار زیادی از عناصر شیمیایی را، که شاخص‌های کانسارها می‌باشند، در آب، امکان‌پذیر می‌سازد. اکنون ثابت شده است که روشهای هیدروژئوشیمیایی برای کشف بسیاری از انواع گوناگون کانسارها (بر، بریلیم، لیتیم، فلوتور، سزیم، تنگستن، اورانیم و غیره) مؤثر و سودمند است. با اینهمه، بهترین نتایج هنگامی بدست می‌آید که این روش در اکتشاف کانسارهای سولفور که در اطراف آنها هاله‌های پراکندگی وسیع آبی عناصر شیمیایی به سبب آب و هوازدگی کانه‌های اکسیدشدنی (سریعاً اکسید شونده) تشکیل می‌شوند، بکار رود.

اندازه و تباین هاله‌های آبگوه بستگی به عاملهای طبیعی گوناگون دارد. مهمترین آنها عبارتست از:

۱- ریخت‌شناسی و ترکیب کانه و نیز هاله‌های نخستین محاط بر آنها،

۲- طبیعت فیزیکی، از جمله نفوذپذیری سنگهای درونگیر و سنگهای پوشاننده،

۳- محیط‌های هیدروژئوشیمیایی و پالئوژئوشیمیایی،

۴- شدت و طول دوره فرآیندهای فرسایشی،

۵- شرایط منظر ژئوشیمیایی و ویژگیهای عناصر شاخص در محیطهای معین.

هاله‌های هیدروژئوشیمیایی بر حسب پایداری‌شان در آبهای طبیعی، به دائمی و موقتی تقسیم‌بندی می‌شوند. نوع اول تبیک سفره‌های زیرزمینی ژرفی هستند که شرایط محیطی آنها ثابت است. نوع دوم، در آبهای کم‌ژرفای زیرزمینی یا در آبهای سطحی تشکیل می‌شود و ممکن است ناهنجاری‌هایشان بطور موقت در خلال دوره‌های تنشست (بارندگیهای) شدید فصلی ناپدید شود.

هاله‌های پراکندگی آبی همیشه در جهت جریان آبهای سطحی و یا زیرزمینی امتداد می‌یابند. ناهنجاریهای هیدروژئوشیمیایی معمولاً بسته به چگونگی جلوه یافتن در سطح به دو دسته نمایان و نهفته طبقه‌بندی می‌شوند.

دسته اول ناهنجاریهایی را دربر می‌گیرد که به صورت انواع گوناگون تراوشهای آبی در سطح زمین پدیدار می‌شوند و ممکن است هاله‌هایی نیز در آنها یافت شود. (چشمه‌ها، باتلاقها، نهرها و غیره) شکل ۸۴ انواع گوناگون هاله‌های آبی نمایان را نشان می‌دهد (از گلوا ۱۹۶۵).

دسته دوم با توده‌های معدنی واقع در زیر سطح فرسایش کنونی، در نواحی جلگه‌ای و کوهپایه‌ای مسطح کمتر گسیخته شده، همراه می‌باشند. بر خلاف ناهنجاریهای نمایان، این ناهنجاریها در سطح فرسایش کنونی

1- Ovchinnikov  
4- Udodov

2- Smirnov  
5- Hawkes

3- Saukov

عناصر شاخص توده‌های معدنی		نوع نهشته
اکسیدکننده قوی	اکسیدکننده ضعیف	
Cu, Zn, Pb, As, Ni, Co, F, Cd, Se, Ge, Au, Ag, Sb	Zn, Pb, Mo, As, Ge, Se, F	مس - پیریت
Pb, Zn, Cu, As, Mo, Ni, Ag, Cd, Sb, Se, Ge	Pb, Zn, As, Mo, Ni	پلی متالیک
Mo, W, Pb, Cu, Zn, Be, F, Co, Ni, Mn	Mo, Pb, Zn, F, As, Li,	مولیدن
W, Mo, Zn, Cu, As, F, Li, Be, Rb	W, Mo, F, Li	تنگستن - بریلیه
Hg, Sb, As, Zn, F, B, Se, Cu	Ag, As, Zn, B, F	جیوه - آنتیمواز
Au, Ag, Sb, As, Mo, Se, Pb, Cu, Zn, Ni, Co	Ag, Sb, As, Mo, Zn	کانسنگ طلا
Sn, Nb, Pb, Cu, Zn, Li, F, Be	Sn, Li, F, Be, Zn	کانسنگ قلع
Ti, Fe, Ni, Co, Cr	Ni, Fe	مینیتیت تیتان دار
Li, Rb, Cs, Mn, Pb, Nb, Sr, F, Ga	Li, Rb, Cs, F	اسپودومن*
Ni, Cu, Zn, Co, Ag, Ba, Sn, Pb, U	Ni, Zn, Ag, Sn, Ba	مس - نیکل
Be, F, Li, Rb, W	Be, F, Li	بریلیم - فلوریت
Ba, Sr, Cu, Zn, Pb, As, Mo	Be, Sr, As, Mo	باریتی - پلی متاک

\* - Spodumene

کاربرد موفقیت آمیز روشهای هیدروژنوشیمیایی در اکتشاف، تا اندازه زیادی بستگی به متغیرهای کنترل کننده آب رسوبی نواحی مورد بررسی دارد. طبیعتاً در نواحی با بارندگی فراوان با توجه به اینکه شمار بیشتری کانسار می‌ان یافت (در مقایسه با نواحی خشک) نتایج نمونه برداری هیدروژنوشیمیایی، معرّف بهتری خواهد بود.

یک نمود ویژه ناهنجاری هیدروژنوشیمیایی (در مقایسه با ناهنجاریهای لیتوژنوشیمیایی)، توزیع نسبتاً یکنواخت عناصر شاخص در میدانهای ناهنجر می‌باشد. به این دلیل است که هر یک از نمونه‌های هیدروژنوشیمیایی به تنهایی ممکن است آگاهیهای نسبتاً قابل قبولی را در مورد یک گستره با وسعت بسیار زیاد، ارائه دهد. این نمود ناهنجاریهای هیدروژنوشیمیایی بما اطمینان می‌دهد که این روش می‌تواند در اکتشافات کوچک - مقیاس (ناحیه‌ای) بطور موثری بکار رود\*. به این دلیل خاص، روش هیدروژنوشیمیایی از میان مجموعه‌ای از روشهایی که می‌توانند در طول مرحله‌ای که بررسیهای زمین‌شناسی ناحیه‌ای انجام می‌شود، بکار روند، همیشه بعنوان روشی مناسب بحساب می‌آید.

توزیع یکنواخت عناصر شاخص در هاله‌های پراکندگی آبی (یاد شده در بالا) که در اکتشاف ناحیه‌ای امتیاز مثبتی بحساب می‌آید، چنانچه در خلال مرحله‌ای که بررسیهای تفصیلی تری انجام می‌یابد (۱:۱۰۰۰۰ یا بیشتر) مورد ارزیابی قرار گیرد، تبدیل به یک امتیاز منفی می‌شود. روش هیدروژنوشیمیایی در خلال این مرحله از اکتشاف بدلیل یاد شده، کمتر موثر واقع می‌شود و نیز به این علت که شناخت و برقراری همبستگی میان کانسارها و رفتار عناصر شاخص در هاله‌های پراکندگی آبی، دشوار است. این همبستگی به علت تأثیر عاملهای گوناگون (هیدروژنولوژیکی، ساختاری- زمین‌شناختی و غیره) بر تشکیل ناهنجاریهای هیدروژنوشیمیایی، بطور قابل ملاحظه‌ای پیچیده است. کارآئی استفاده از روش هیدروژنوشیمیایی در مرحله اکتشافات تفصیلی، بطور عمده بستگی به شمار رخدادهای آبی موجود در گستره مورد اکتشاف دارد. در بسیاری از موارد، نبود آب در سطح، تعیین حدود و تفسیر نهایی ناهنجاریهای هیدروژنوشیمیایی را مانع می‌شود.

بنابراین، روشهای لیتوژنوشیمیایی (استفاده از هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین و هاله‌های پراکندگی دومین عناصر شاخص) مهمترین روشهای ژئوشیمیایی هستند که بایستی در طول مرحله تفصیلی اکتشاف بکار روند.

\* - این روش از نظر اقتصادی از روش رسوبات رودخانه‌ای که اطلاعات مشابهی را ارائه می‌دهد، کمتر مؤثر است (یعنی گرانتر است). در این رابطه استفاده از نمونه برداری ژئوشیمیایی در اکتشاف ناحیه‌ای بویژه در بررسی آبهایی که از آبهای زیرزمینی آمده و در سطح پدیدار می‌گردد توصیه می‌شود.

## فصل ۸

### هاله‌های بیوژئوشیمیایی کانسارها و کاربردشان در اکتشاف

#### اطلاعات کلی

روشهای بیوژئوشیمیایی مورد استفاده در اکتشافات معدنی مبتنی است بر رابطه مشترک ذاتی تنگاتنگی میان زیست کره و محیطهای پیرامون آن، که شامل هیدروسفر، اتمسفر و سطح لیتوسفر می‌باشد. ارتباط بلافصل میان بیوسفر و محیط پیرامون آن از طریق زندگی گیاهی برقرار می‌شود. گیاهان مواد تشکیل دهنده معینی را از اتمسفر و نیز از مواد معدنی که بصورت محلولهای آبی از سطح لیتوسفر گرفته شده، جذب و بصورت مواد از ته (مواد تغذیه‌ای) استفاده می‌کنند. در نتیجه، گیاهان، عناصر اندک بیشماری را در بافتهای خود جمع می‌کنند که ترکیب و روابط کمی آنها تا اندازه زیادی بستگی به ویژگیهای ماده مورد تغذیه دارد. این منابع شامل خاک و سنگ - بستر زیرین آن است.

در اوایل قرن بیستم، بیوژئوشیمی بوسیله ورنادسکی<sup>۱</sup> به عنوان یک علم پی‌ریزی شد. بعدها پیشرفتهای بیشتری که برای اکتشافات ژئوشیمیایی ضروری بود، بوسیله وینوگرادف<sup>۲</sup>، مالیوگا<sup>۳</sup>، گلانورسکایا<sup>۴</sup>، گرابروسکایا<sup>۵</sup> و دیگران، حاصل شد. اصول علمی و نیز روشهایی برای بکار بردن نمودهای بیوژئوشیمیایی قلمرو گیاهی (بویژه فیتو ژئوشیمیایی، «فیتون» کلمه‌ای یونانی به معنی گیاه است)، به شکل ویژه‌ای برای اکتشاف معدنی گسترش یافته است.

وینوگرادوف که قدرت گیاهان را در انباشت برخی عناصر اندک بررسی نموده است، موفق به شناسائی دو نوع تمرکز (که ما فیتوژنیک می‌نامیم) شد: گروهی و انتخابی. در مورد تمرکز گروهی همه گیاهانی که در

1- Vernadsky

2- Vinogradov

3- Malyuga

4- Glazovskaya

5- Grabovskaya

جدول ۴۷- همبستگی میان مقادیر سرب و قلع در خاکستر گیاهی و در سنگ بستر، در آنسوی پایکال خاوری (از گرابوفسکایا، ۱۹۶۵)

ضریب همبستگی		جفت‌های همبسته
Sn	Pb	
+۰/۳۵	+۰/۴۱	لارچ - سنگ بستر
+۰/۸۱	+۰/۴۰	برج - سنگ بستر
+۰/۴۵	+۰/۳۲*	بیلیری قرمز - سنگ بستر
—	+۰/۵۴	رزماری خودرو - سنگ بستر
+۰/۵۵	+۰/۴۶	رودودندرون - سنگ بستر

\* - همبستگی معنی‌دار نیست (در سطح معنی‌دار بودن ۵٪).

در ماده مورد بررسی، موجود باشد. جدول ۴۷، وجود چنین همبستگی را نشان می‌دهد. این جدول بر پایه دانسته‌های بدست آمده از موادی است که در اکتشاف یو ژئوشیمیایی آنسوی پایکال خاوری، مورد بررسی بوده است.

گیاهان شاخص بایستی از میان گیاهانی انتخاب شوند که توزیع عناصر اندک معدنی (کانه‌ای) و عناصر همراه در آنها، با توزیع این عناصر در سنگ بستر بخوبی همبستگی داشته باشد.

در برخی موارد (بویژه برای گیاهان علفی)، تنها ممکن است در افق B خاک همبستگی شایان توجهی وجود داشته باشد (جدول ۴۸). بطوریکه در جدول نشان داده شده است، ممکن است میان گیاه و سنگ بستر، و نیز میان گیاه و افق A خاک، همبستگی ژئوشیمیایی موجود نباشد (نبود همبستگی در توزیع عناصر شاخص در گیاهان و در افق A خاک، نمونه‌وار شمار زیادی از منظرهای ژئوشیمیایی است و مشخص می‌دارد که این افق خاکی معمولاً از نظر ژئوشیمیایی افق نماینده‌ای نیست).

از آنجائیکه میان توزیع عناصر اندک در گیاهان و سنگ بستر همبستگی‌هایی وجود دارد، بایستی مقادیر ناهنجار عناصر شاخص در گیاهان، با ناهنجاریهای ژئوشیمیایی آن عناصر در سنگ بستر و در خاک‌ها انطباق داشته باشد. امروزه آگاهی‌های وسیعی موجود است که مقادیر افزوده عناصر کانسار و عناصر همراه آنها را در گیاهانی که بر روی کانسارهای وابسته می‌رویند، تأیید می‌نماید. جدول ۴۹، ایده‌ای کلی از این رابطه را ارائه می‌دارد.

هنگامی که هاله‌های بیژئوشیمیایی کانسارها به منظور اکتشاف بکار می‌روند، بایستی بیاد داشت که گونه‌های مختلف گیاهی معمولاً از نظر میزان انباشت عناصر شاخص ویژه، به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوتند. این امر را بوسیله ضرایب تمرکز عناصر اندک در گونه‌های مختلف گیاهی نسبت به مقدار همین عناصر در

ناحیه معینی می‌ویند. دارای مقادیر افزوده عناصر شیمیایی ویژه‌ای هستند، که بستگی به وجود این عناصر (تمرکز زیاد) در خاک و سنگهای زیرین دارد. در خلال تمرکز انتخابی، انباشت تک‌تک عناصر شیمیایی یا عناصر همراه آن، بوسیله گونه‌های معین و بیشتر اوقات بوسیله جنس و نوع گیاهان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در قلمرو زندگی گیاهی، گیاهانی وجود دارند که موجب تمرکز برخی از عناصر می‌شوند، بطوری که می‌توان به وجود گیاهان متراکمند و ویژه لیتیم، مس، کلسیم، آلومینیم و غیره، اشاره کرد. وینوگرادوف نظریه استانهایی بیژئوشیمیایی بوجود آورد. این استانها بوسیله میزان فراوانی معینی از یک یا چند عنصر شیمیایی (بسیار کم، معمولی، یا بسیار اندازه) و فعل و انفعالات بیولوژیکی معین، مشخص می‌شوند.

در مورد توزیع عناصر شیمیایی در گیاهان، دانسته‌های آماری جامعی وجود ندارد. البته، وضعیت کلی را می‌توان بوسیله داده‌های ارائه شده در جدول ۴۶ که بوسیله وینوگرادوف (۱۹۵۰) محاسبه شده است، نشان داد.

برای اینکه مقایسه عناصر اندک در گیاهان به عنوان شاخص‌هایی برای الگوهای توزیع این عناصر در سنگ بستری که بوسیله خاک پوشیده شده، بکار رود، بایستی همبستگی بارزی میان توزیع عناصر شیمیایی جدول ۴۶- میان مقادیر عناصر شیمیایی در لایه «گرانیتی» پوسته زمین، در خاکها و گیاهان بر حسب ppm (از وینوگرادوف).

عناصر	لایه گرانیتی پوسته زمین	خاک	گیاهان (در خاکستر)	نسبت تمرکز (خاک/گیاه)	عناصر	لایه گرانیتی پوسته زمین	خاک	گیاهان (در خاکستر)	نسبت تمرکز (خاک/گیاه)
Li	۳۰	۲۰	۲۰	۰/۲	Cu	۱۰	۲۰	۲۰	۲/۰
Be	۲/۵	۵۰	۱۰۰	۱/۰	Zn	۱۸	۲۰	۲۰	۲/۰
B	۱۰	۲۰	۲۰	۴۰	Ga	۰/۰	۰/۳	۰/۳	۰/۰
F	۷۲۰	۱۶	۰	۰/۰۵	As	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۰
Na	۲۲۰۰۰	۰/۱۴	۰	۰/۳	Se	۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰
Mg	۱۲۰۰۰	۲/۲	۱۵۰	۱۱	Br	۳۰	۰	۰	۰/۰
Al	۸۰۰۰۰	۱۸۰	۱۳۰	۰/۲	Rb	۰/۹	۱۲۰	۱۲۰	۱۲۰
Si	۲۰۹۰۰۰	۲۳۰	۳۰۰	۰/۵	Sr	۱/۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰
P	۸۰۰	۱/۲	۳	۸۸	Mo	۲/۰	۹۰	۳	۳/۰
S	۳۰۰	۰/۰۵	۰/۱	۵۹	Ag	۱۰	۰/۱	۰/۱	۰/۰
Cl	۱۷۰	۰/۱۵	۰/۵	۱/۰	Cd	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰
K	۲۶۴۰۰	۲/۷	۴۰	۲/۲	Sn	۱/۲	۵	۴۰	۴۰
Ca	۲۵۰۰۰	۰/۵	۵	۱	I	۱۰	۵۰	۵۰	۵۰
Ti	۲۳۰۰	۳/۸	۴۰	۰/۲	Ce	۱/۰	۴۰	۴۰	۴۰
V	۷۶	۲۸	۶۰	۰/۸	Ba	۱/۲	۶۰۰	۵۰۰	۵۰۰
Cr	۲۴	۰/۰۱	۰/۰۱	۱/۸	Au	؟	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
Mn	۷۰۰	۰/۰۳	۰/۰۱	۸/۸	Hg	۰/۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
Fe	۳۸۰۰۰	۱۶	۱۰	۰/۱۷	Pb	۱/۰	۱۰	۱۰	۱۰
Co	۷/۳	۲/۶	۱	۱/۵	U	۰/۵	۰/۵	۱	۲/۶
Ni	۲۶	۲/۶	۱	۰/۷					

خاک می‌توان نشان داد (جدول ۵۰).

جدول ۵۰- ضرایب تمرکز برخی عناصر شاخص در خاکستر گونه‌های مختلف گیاهی نسبت به مقدار همین عناصر در خاکها (در آنسوی بایکال خاوری).

	Pb	Be	Li		
گونه‌های گیاهی	در گسترهٔ فلزی کمیاب	روی نهشته‌های فلزی کمیاب	در گسترهٔ فلزی کمیاب	روی نهشته‌های فلزی کمیاب	در گسترهٔ فلزی کمیاب
برج	۰/۱۶	۱/۳	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۹
لارچ	۰/۱۹	۱/۱	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۶
رودودندرون	۰/۱۳	۱/۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۱
یلبیری قرمز	۰/۲۳	۱/۷	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۳۸
روزماری وحشی	۰/۱۷	۱/۳	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۲۲
استاریای کوتاه <sup>۱</sup>	—	۰/۳	۰/۳۰	۰/۵۹	۰/۵۵
افسنتین <sup>۲</sup>	—	—	—	—	۰/۵۵
زیتون ابراج <sup>۳</sup>	—	—	—	—	۰/۴۳
آدونیس <sup>۴</sup>	—	—	۰/۲۵	۰/۵۹	۰/۳۱
علفهای لگیوم	—	—	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۳۳
غلات	—	—	۰/۲۰	۰/۴۰	—
میدو-رو	—	—	۰/۱۸	۰/۴۰	۲۰/۰

1- Dwarf stellaria 2- Gmelin wormwood 3- Spruge dive 4- Adonis

بطوریکه از جدول ۵۰ برمی‌آید، خاکهای دارای ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، عموماً بوسیله انباشت‌های بیشتر عناصر اندک، مشخص می‌شوند. گیاهانی که عناصر اندک ویژه‌ای را متمرکز می‌کنند، مستثنی هستند. میدو-رو (تالیکتریم) از این دسته است که لیتیم را در بافتهای خود انباشه می‌کند. در گستره‌های زمینه‌ای، مقادیر معمول لیتیم در خاکستر گیاهان از ۳ تا ۱۷ ppm است، در حالیکه تمرکز این عنصر در میدو-رو بطور متوسط ۱۶۰ ppm بوده و بین ۸۰ تا ۲۸۰ ppm متغیر است (برای مقادیر مرزی احتمال ۰/۰۵ است). بنابراین نمونه‌برداری از میدو-رو از میان علفهای دیگر به آسانی ممکن است یک پژوهشگر کم‌تجربه را گمراه کند، زیرا که این گیاه در نمونه‌های خاکستر شده مقدار ناهنجار بارزی از لیتیم را نشان می‌دهد. در ناهنجاریهای ژئوشیمیایی شامل مقادیر بسیار زیاد لیتیم، تفاوت میان تمرکز لیتیم در میدو-رو و گیاهان دیگر، حتی از این هم بیشتر است. برای مثال در گستره‌های دارای پگماتیت‌های فلزات کمیاب، مقدار لیتیم در خاکستر درختان و علفها از ۱ تا ۶۱ ppm تغییر می‌کند. میدو-روی که در همین خاکستر می‌روید، بطور متوسط دارای ۱۵۰۰ ppm لیتیم است (از ۲۰۰ تا ۲۸۰۰ ppm). مثالهای دیگری از گیاهان متمرکزکننده شامل انواع گوناگون آستراگالوس<sup>۱</sup> است که دارای سلنیم، بمیزان تا چند صدم درصد وزن گیاه زنده است، در

1- Astragalus

جدول ۴۸- همبستگی میان مقادیر لیتیم در خاکستر گیاهان لگیوم (خوراکی) در خاک و در سنگ بستر زون جلگه‌ای- جنگلی آنسوی بایکال خاوری (از گرابوفسکایا ۱۹۶۵).

جفت‌های وابسته (منطبق)	ضریب همبستگی (وابستگی)
علفهای لگیوم - افق A خاک	+۰/۲۷*
علفهای لگیوم - افق B خاک	+۰/۴۸
علفهای لگیوم - سنگ بستر	+۰/۴۰*

\* - همبستگی معنی‌دار نیست (در سطح معنی‌دار بودن ۵٪).

جدول ۴۹- انباشت عناصر اندک معدنی (کانه‌ای) در خاکستر گیاهان بر حسب ppm.

عناصر	روی گستره‌های سترون (زمینه بیژئوشیمیایی موضعی)	روی کانسارها
Cu	۳۰ - ۱۵	از ۵۰ تا ۶۰، ۱۰۰ تا ۲۰۰ (بسته به تمرکز مس در کانسنگ) در برخی موارد بیش از ۱۰۰۰
Pb	۰/۲ تا ۳۰، بندرت تا ۵۰	۴۰ تا ۵۰۰، در محلهای تا ۱۰۰۰ یا بیشتر
Zn	۲۰ تا ۱۰۰ (در علفها)، ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ (در گونه‌های چوبی)	بیش از ۳۰۰ در علفها، ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ در انواع چوب
Ag	۰/۰۱ تا ۳	۰/۰۴ تا ۱۰ (بسته به زمینه)، بیشترین مقدار ۳۰ تا ۶۰
Au	کمتر از ۰/۰۱	بیش از ۰/۰۱، بندرت تا ۱۰
Mo	۰/۱ تا ۲۰	۲۰ تا ۳۵۰ (بسته به زمینه)، در برخی موارد تا ۱۰۰۰
Sn	۱ تا ۶	بیش از ۱۰، معمولاً ۴۰ تا ۱۵۰، گاهی نزدیک به ۵۰۰
Ni	۳۰ تا ۵	بیش از ۱۰۰، گاهی تا ۲۰۰۰
Co	۳۰ تا ۵	بیش از ۵۰
Bi	کمتر از ۵	۱۰ یا بیشتر (تا ۱۰۰)
Li	از کمتر از ۱ تا ۱۵	بیش از ۱۰ تا ۱۵، معمولاً ۴۰ تا ۲۰۰ در برخی انواع گیاهان بیش از ۱۰۰۰
Be	۰/۵ تا ۴، بندرت تا ۷ یا ۸	۵ تا ۲۰، در پاره‌های موارد به ۳۰ تا ۴۰ می‌رسد.
Nb	کمتر از ۱۰	۵۰ تا ۱۰۰
Zr	۱۰ تا ۱۰	بیش از ۱۰، گاهی نزدیک به ۱۰۰

خاکستر گیاه فاکس<sup>۱</sup> (گل انگشته‌نفریری) مقدار منگنز به ۰.۹٪ می‌رسد، دم اسب جنگلی که تانتالیم را متمرکز می‌کند (تا ۱۰ درصد در خاکستر) و پاترینیای سبیری که بریلیم و عناصر دیگر را متمرکز می‌نماید.

جدول ۵۱ شمی کابی از تمرکز برخی عناصر شاخص در خاکستر گیاهان گوناگون، که در گستره‌های واحدی می‌رویند، ارائه می‌دهد.

جدول ۵۱. وابستگی میان مقادیر بریلیم و لیتیم در خاکستر گونه‌های مختلف گیاهی بر حسب ppm از گرابوفسکایا (۱۹۶۵).

گونه <sup>۲</sup> یا هر	Li		Be	
	زمینه	ناهنجاری ژئوشیمیایی	زمینه	ناهنجاری ژئوشیمیایی
لاریچ	منظرهای جنگلی - باتلاقی کوهستانی			
	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
برج	۰/۶۴	۰/۶۳	۰/۳۳	۰/۲۵
ردود - رون	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۵۵	۰/۷۰
رزمای ا حشی	۱/۳۶	۱/۴۰	۰/۶۷	۱/۷۸
بیلیر، قمرز	۱/۹۷	۲/۰۲	۱/۶۷	۱/۶۷
وود سمال - رید <sup>۱</sup>	منظرهای جنگلی - جلگه‌ای			
	۱/۰	۱/۰	—	—
پاتریای سبیری	—	—	۱/۰	۱/۰
علفی ای انگیوم	۱/۵	۱/۶	۰/۱۱	۰/۳۳
علفی	۱/۸	۱/۸	۰/۵۰	۰/۵۵
استاریای کوتوله <sup>۲</sup>	۳/۰	۲/۵	۰/۷۵	۰/۸۳
مید - رو	۴۰/۰	۱۶۷/۰	۰/۵۰	۰/۵۰
علفی، فدر <sup>۳</sup>	منظرهای جلگه‌ای (استپی)			
	۱/۰	۱/۰	۰/۶۷	۰/۶۳
کاسی - سبیری	۱/۷	۱/۵	۱/۰	۱/۰
افس طیز سرد	۱/۷	۱/۶	۱/۰	۰/۹۵
مید - رو کوچک	۴۵/۰	۷۵/۰	—	—

1- Wood Small-red 2- Dwarf stellaria 3- Feather grass

1- Foxglove

نمونه برداری ژئوشیمیایی از گیاهان، به منظور اکتشافات نه تنها نیاز به آشنایی با گونه‌های مختلف گیاهی دارد، بلکه همچنین نیازمند داشتن دانشی از نمونه‌های اصلی و عمده تمرکز عناصر اندک شاخص در جنس و گونه ویژه گیاهان است. این آگاهی که بخشهای مختلف گیاهان، مقادیر متفاوتی از عناصر اندک را متمرکز می‌کنند، نیز لازم است. بنابراین، مقادیر عناصر به این بستگی دارد که چه بخشی از گیاه (برگ، شاخه و یا ریشه)، مورد نمونه برداری قرار گیرد. جدول ۵۲، دانسته‌هایی در مورد تمرکز ترجیحی برخی عناصر اندک بوسیله اعضای مختلف گیاه را ارائه می‌دهد. جدول ۵۳ شامل آگاهیهای کمی در باره توزیع بریلیم و زیرکونیم در برگها، شاخه‌ها و ریشه‌های برج، آسپن<sup>۱</sup> و لاریچ است.

جدول ۵۲ - توزیع برخی از عناصر اندک در اندامهای مختلف گیاه

اندام گیاهی		
عناصر اندک	با بیشترین تمرکز عناصر اندک	با کمترین تمرکز عناصر اندک
Pb	ریشه‌ها	پوست درخت
Mo	برگها	پوست درخت
Zn	برگها	چوب
Cu	ریشه‌ها	پوست درخت
Li	ریشه‌های درختان و بخشهای روینده گیاهان سبز	پوست درخت
Nb و Ta	برگهای سوزنی مخروطیان و برگهای درختان، میوه و دانه گیاهان سبز	پوست درخت

سن گیاهان نیز اثر شایان توجهی در تمرکز عناصر اندک دارد. فرآیندهای بیوسنتز بویژه در گیاهان جوان شدید است و با افزایش سن گیاه، کم می‌شود. از اینرو در گیاهان کهن اغلب ظرفیت جذب عناصر اندک از محیط پیرامونی، کمتر از گیاهان جوان است. بر طبق نظر گرابوفسکایا (۱۹۶۵)، تفاوت در تمرکز عناصر اندک بوسیله گیاهانی با سنهای متفاوت، با فاکتور ۱/۵ تا ۲ تغییر می‌کند، که گاهی به ۸ تا ۱۰ نیز می‌رسد (جدول ۵۴). همچنین بایستی به یاد داشت که آنچه برای عناصر اندک و در نتیجه میزان انباشت آنها لازمست، با مراحل رشد گیاه تغییر می‌کند. برخی از گیاهان در بهار پاره‌ای از عناصر اندک را بشدت متمرکز می‌کنند و برخی دیگر در پاییز. در حالیکه گیاهانی دیگر دو بار در سال دوره‌های تمرکز شدید عناصر اندک را دارا می‌باشند. گرایش بسیاری از گیاهان به تمرکز عناصر اندک ویژه، بهنگام دوره‌های گل و یا میوه‌دهی، بطور

1- Aspen

جدول ۵۳- مقادیر میانگین بریلیم و زیرکونیم در خاکستر اندامهای مختلف گونه‌های چوبی در ناهنجاریهای ژئوشیمیایی بر حسب ppm (از گرابوفسکایا، ۱۹۶۵).

گونه و اندامهای درختان	Be	Zr
برج معمولی ( <i>Betula verrucosa</i> )		
برگها	۶	۱۴
شاخه‌ها	۲/۶	۷
پوست درخت	۱/۵	۴
داهوریان لارچ ( <i>Larix dahurica</i> )		
برگهای سوزنی مخروطیان	۸	۶۰
شاخه‌ها	۷	۵۶
پوست درخت	۵	۱۲
آسپن ( <i>Populus tremula</i> )		
برگها	۶	—
شاخه‌ها	۵	—
پوست درخت	۲	—

جدول ۵۴- مقادیر برخی عناصر شاخص در گونه‌های چوبی با سنهای مختلف واقع در روی کانسارهای فلزات کمیاب در زون جلگه‌ای- جنگلی سیبری (از گرابوفسکایا یا ۱۹۶۵).

گونه گیاهی	سن به سال	مقدار میانگین در خاکستر بر حسب ppm		
		Zr	Li	Be
برج معمولی (برگها)	۴/۵	۱۲	۴۰	۱۰
	۴۰-۵۰	۶	۷۰	۴۰
آسپن (برگها)	۴/۵	۸	۲۰۰	۷۰
	۵۰-۶۰	۶	۱۲	۱۰

شایان توجهی افزایش می‌یابد. برای مثال در منطقه جلگه‌ای سیبری تمرکز بریلیم و ایتربیوم بوسیله گیاهان گل‌دار پالساتلا پاتنز<sup>۱</sup> در ماه مهر و بوسیله پوتنتیلا تاناستوفلیا<sup>۲</sup> در آخر ژوئیه تا اوایل اوت صورت می‌گیرد. تمرکز لاتانیم و سریم بوسیله گیاهان سبز گل‌دار خانواده لیگامینوسا<sup>۳</sup> در ماه ژوئیه انجام می‌شود. تانتالیم و نیوبیم بوسیله گیاهان شمعدانی و لیتیم، بوسیله گیاهان جنس تالیکتروم (میدو-رو) در طول دوره میوه‌دهی، تمرکز حاصل می‌نمایند (گرابوفسکایا ۱۹۶۵). در برخی موارد، تفاوت در قرار گرفتن در برابر تابش خورشید، بر شدت تمرکز عناصر اندک اثر دارد. مقادیر عناصر اندک در گیاهان همانند که در شرایط یکسانی می‌رویند ولی به شکل متفاوتی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند، ممکن است سه تا چهار برابر تفاوت داشته باشد. برای مثال گرابوفسکایا، به موردی اشاره نمود که خاکستر سوزنهای مخروطیان (ازلارچ)، که از بخشی جمع‌آوری شده بود که بوسیله نور خورشید بخوبی روشن می‌شد، دارای ۵ ppm بریلیم بوده، در صورتیکه در بخش تاریک، مقدار بریلیم تنها ۱/۵ ppm بود.

تغییرات میزان جذب عناصر اندک گوناگون بوسیله گیاهان، در زون‌های زمین‌های و ناهنجاری این امکان را فراهم می‌کند، که نه تنها تغییرات مطلق عناصر کانساری و عناصر همراه را در خاکستر گیاهان مورد استفاده قرار داد، بلکه بتوان روابط تبیین معینی را نیز به عنوان معیارهای شاخص بکار برد. وارن<sup>۴</sup> و دلوالت<sup>۵</sup> (۱۹۴۵)، بر این واقعیت اشاره داشته‌اند، که نسبت Cu/Zn در گیاهان نواحی سترون، مقدار ثابتی است، در حالیکه ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که بر اثر کانی‌سازی مس یا روی بوجود می‌آید، سبب تغییرات منظمی در این نسبت می‌شود. بر طبق گفته این نویسندگان، نسبت Cu/Zn بمقداری بیشتر از ۰/۲۳، نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی مس می‌باشد. اگر این نسبت کوچکتر از ۰/۰۷ باشد، ممکنست کانی‌سازی روی موجود باشد. در جستجو برای کانسارهای اورانیم، نسبت Th/U ممکنست بطور موفقیت‌آمیزی بکار رود، کاهش آن در خاکستر گیاهان معمولاً نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی اورانیم در سنگ بستر است.

مالیوگا (۱۹۷۳)، به این امر پی‌برده که نسبت Co/Ni/Cu در خاکستر گیاهان، که در شرایط نرمال ۱۰/۲/۵/۱ است، در نواحی دارای کانسارهای سیلیکات نیکل، به مقدار ۱/۱۵/۳ تغییر می‌یابد. مثال دیگر پشته‌های ایلوگرانیت‌های بریلیم‌دار است. در بخش فوقانی توده، نسبت Be/Mo/Sb/Pb در گیاهان ۱/۱/۰/۲/۰/۳ بوده، در حالیکه این نسبت در نواحی زمین‌های بطور شاخص ۱/۴/۷/۴/۳ می‌باشد.

پارامترهای زمینه فیتوژئوشیمیایی (بیوژئوشیمیایی) و حداقل مقادیر ناهنجاری (آستانه‌ای) عناصر شاخص در طول اکتشافات بیوژئوشیمیایی، به کمک همان روشهایی که در تشریح هاله‌های لیتوژئوشیمیایی نخستین و دومین پیش از این مورد بحث قرار گرفت، برآورد شده‌اند. با ارائه مثالی به بررسی پارامترهای توزیع سرب در برگهای سوزنی لارچ در زمینه ژئوشیمیایی منظره کوهستانی سرد و همیشه یخ بسته آنسوی بایکال ناحیه اتایکا می‌پردازیم. این پارامترها عبارتند از توزیع نرمال میانگین (۳۵ ± ۴ ppm) استاندارد ۱۶، ضریب تغییرات ۴/۸، حداقل مقادیر ناهنجاری ۶۱، (سطح معنی‌دار بودن ۵٪) و ۷۳ ppm (سطح معنی‌دار بودن ۱٪) می‌باشد.

- |                      |                             |               |
|----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1- Pulsatella patens | 2- Potentilla tanacetifolia | 3- Leguminosa |
| 4- Warren            | 5- Delavault                |               |

احتمال برخورد (P) به حداقل ناهنجاری محاسبه شده و مقادیر بیشتر، در هاله‌های فیتوژئوشیمیایی در کانسارهای شناختا شد، این ناحیه (برای ۶۱ و ۷۲ ppm) به ترتیب ۰/۶ و ۰/۴۸ است. به منظور آنکه حداقل سه نمونه با مقدار بحرانی سرب در گروه نمونه‌های ژئوشیمیایی که در محدوده یک هاله قرار می‌گیرند، گنجانده، و در آزمایش که ۸ نمونه (برای ۰/۶ = P) یا ۱۱ نمونه (برای ۰/۴۸ = P) برداشته شود (به جدول ضمیمه مراجعه شود). با بکار بردن روشی مشابه و بحساب آوردن اندازه احتمالی ناهنجاری ژئوشیمیایی، به آسانی می‌توان شبکه نمونه‌برداری مطلوب برای برگهای سوزنی لاریج را در طول اکتشاف محاسبه نمود. در اکتشافات کانیها، هنگامی که گیاهان به عنوان شاخص بکار می‌روند، معیارهای به اصطلاح ژئوبوتانیکی نیز باید تعیین همراه با معیارهای صحیح بیوژئوشیمیایی، بحساب آورده شوند.

ویژگیهای ژئوبوتانیکی گیاهان، که ممکن است در اکتشافات بازتاب داشته باشند، به چندین گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول شامل ارتباط گونه خاصی از گیاه به محیطهای ژئوشیمیایی ویژه است. گیاهانی وجود دارند که شاخص‌های جهانی جهت تمرکز عناصر اندک ویژه‌ای در خاکها بشمار می‌آیند و گیاهان دیگری که شاخص‌های موضعی برخی از عناصر اندک می‌باشند.

شاخص‌های نوع اول (جهانی)، تنها در گستره‌هایی که دارای مقدار افزوده عناصر اندک ویژه می‌باشند، می‌رویند و شاخص‌های مستقیم وجود رخداد کانسنگها و کانسارها هستند. این شاخص‌ها شامل ویولا کالامیناریا<sup>۱</sup>، (وعی بنفشه) و تالپسی کالامیناریا<sup>۲</sup>، (نوعی بنفشه) شاخص‌های روی و نیز برخی از گونه‌های قسمی است گالوس<sup>۳</sup> (گون): استانتیا<sup>۴</sup> و اکسیلوریزا<sup>۵</sup> (شاخص سلنیم)، هستند. شاخص‌های نوع دوم (یعنی موضعی) بسیار متداول است. البته بیشتر اوقات در گستره‌های پرمایه از عناصر اندک ویژه به آنها برخورد می‌شود. در نتیجه گیاهان این گروه در شرایط معینی می‌توانند مناطق کانی‌سازی را که در زیر خاکها یا آبرفتها نهفته‌اند، نشان دهد...

گیاهانی که شانس موضعی مس بوده و متعلق به خانواده‌های کاری فیلاسه<sup>۶</sup> (نوعی میخک) و لابیاته<sup>۷</sup> (نعناع) و نیز برایوفیا<sup>۸</sup> (تیزه) هستند، بطور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در سوئد، به کمک خزهای کوپریفروز (مس‌دار)، سه کانسار سولفورس مس‌دار کشف شد. در زامبیا شمار زیادی کانسارهای مس، به کمک گیاه اوپیم نامبلی<sup>۹</sup> (نوعی ریحان) کشف گردید. برخی از گیاهان، شاخص‌های موضعی، برای عناصر قلع، نیکل، کبالت، اورانیم و فلزات کمیاب می‌باشند. گروه دیگری از نمودهای ژئوبوتانیکی گیاهانی که دارای مقادیر افزوده عناصر اندک می‌باشند، شامل موارد زیر است: تغییرات در شکل و رنگ آمیزی گلها و برگها، خصلت رشد و نمو گیاه و انبوهی ساقه‌ها، شاخه‌ها و برگهای درختان. مقادیر زیاد برخی از عناصر حتی ممکن است سبب بروز بیماریهای گوناگون در گیاهان شوند که به آنها دگرشکلی گفته می‌شود. در برخی موارد ناهنجاریهای ژئوشیمیایی پاره‌ای عناصر اندک، ممکن است بمقدار جزئی یا بطور کامل مانع از رشد

- |                      |                        |                  |
|----------------------|------------------------|------------------|
| 1- Viola calaminaria | 2- Thlaspi calaminaria | 3- Astragalus    |
| 4- Stanteya          | 5- Xylorrhiza          | 6- Caryllyla eae |
| 7- Labiatae          | 8- Bryophita           | 9- Cupri ferou   |
| 10- Osimum nomblei   |                        |                  |

گیاه گردد. جدول ۵۵ فهرست سرشت تغییراتی را که در گیاهان در رابطه با مقادیر افزوده عناصر اندک در خاکها مشاهده شده است، ارائه می‌دهد.

جدول ۵۵- تغییرات در گیاهان به علت مقادیر افزایش یافته برخی عناصر اندک در خاکها.

عنصر	خصلت تغییرات
U, Th, Ra	هنگامیکه بمقدار کم موجودند، سبب تسریع رشد گیاهان می‌شوند. تمرکزهای زیاد به پیدایش دگرشکلی در جوانه‌های روینده، کوتاه ماندن، تیره و یا کم‌رنگ شدن برگها می‌انجامد.
F فلورور (توپاز، گراپیزن) B	زرد شدن و افتادن زودرس برگها. کاهش رشد و رسیده شدن دانه‌ها، کوتاهی قد، حالت‌های خوابیدگی. پارگی برگهای سبز تیره در حاشیه پهنک. تمرکزهای زیاد این عنصر در خاک سبب از بین رفتن جزئی یا کامل گیاه می‌شود.
Mg	قرمز شدن ساقه‌ها و «میرگها» مارپیچ شدن و پژمردن در حاشیه پهنک.
Cr	زرد شدن برگها، در برخی موارد نازک شدن گیاه تا محو شدن کامل.
Cu	رنگ پریده شدن برگها، خشک شدن نسوج نوک آنها، قرمز شدن ساقه‌ها، پیدایش حالت خوابیدگی، حالت‌های فساد. در برخی موارد از بین رفتن کامل گیاه.
Ni	تغییر و ناپدید شدن برخی شکلهای پیدایش لکه‌های سفیدبر روی برگها، دگرشکلی، کاهش گلبرگهای جام گل.
Co	پیدایش لکه‌های سفید بر روی برگها.
Pb	نازک شدن گیاه، پیدایش شکلهای غیرعادی، گسترش شکلهای غیرعادی در گلها.
Zn	کلروفیل‌زدایی از برگها و پژمردن نوک آنها، پیدایش شکلهای کوتاه رشد نکرده رنگ پریده.
Nb	پیدایش مواد سفید رنگی، روی تینها و برگهای برخی انواع گیاهان.
Be	تغییر شکل جوانه‌های کاجهای جوان.
خاکهای کمیاب	افزایش شدید در اندازه برگها در برخی از گونه‌های چوبی.

توجه: این جدول بر پایه داده‌هایی از کانن (۱۹۶۰)، گرابوفسکایا (۱۹۶۵) و دیگران است.



مهمترین امتیاز روش بیوژئوشیمیایی (فیتوژئوشیمیایی) در اکتشافات معدنی ازدیاد دامنه ژرفایی است که در نتیجه گسترش سیستم ریشه‌های گیاه، می‌تواند حاصل شود. البته، روش بیوژئوشیمیایی پزرزحمت‌تر و پرهزینه‌تر از دیگر روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی است. و این امر به دلیل شرایط ویژه در نمونه‌برداری و آمایش نمونه‌های فیتوژئوشیمیایی است (همچنین بجا است که در طول اکتشاف بیوژئوشیمیایی یک ژئوبوتانیست یا بوتانیست (گیاه‌شناس) نیز با تیم اکتشاف همکاری داشته باشد). بنابراین، در مواردی که روشهای کم‌هزینه‌تر لیتوژئوشیمیایی بدلایلی قابل استفاده نیستند، روش بیوژئوشیمیایی ممکن است مؤثرترین کاربرد را داشته باشد.

چنین شرایطی معمولاً در منظرهای ویژه‌ای پیش می‌آید. این شرایط بوسیله موارد زیر مشخص می‌شود.

۱- گسترش هاله‌های پراکندگی دومین لیتو ژئوشیمیایی که مدفونند و یا در سطح شسته شده‌اند،

۲- وجود پوششی از نهشته‌های نابرجا (الوکونونی) حمل شده، به سترای ۵-۳ تا ۱۰-۲۰ متر،

۳- زونی از افقهای بالایی خاک که شدیداً شسته شده و از عناصر اندک تهی گشته است.

برای مثال، مناسب است که در منظرهای کویری و نیمه کویری که بوسیله ماسه‌های بادی به ضخامت ۳۰ متر پوشیده شده‌اند از روش بیوژئوشیمیایی استفاده کرد. گیاهانی که در نواحی بسیار خشک می‌رویند معمولاً سیستم ریشه‌های ژرفی دارند که ژرفای آنها به ۲۵ متر می‌رسد. این گیاهان شامل: *Alhagi pseudoalhagi*, *Haloxylon aphyllum*, *Acacia ehrenbergiana*, *Acacia raddiana*, *Medicago sativa*, *Astragalus aureus*، و غیره می‌باشند.

نمونه‌برداری از برگ درختان تحت شرایطی که با منظرهای مسطحی مشخص می‌شوند که با نهشته‌های نابرجایی به ضخامت ۳ تا ۱۵ متر پوشیده شده‌اند، گاهی اوقات مفید است. دامنه ژرفایی که روش بیوژئوشیمیایی می‌تواند مؤثر واقع شود معمولاً تا حدودی از ژرفایی که ریشه در آن نفوذ می‌کند، بیشتر است و این امر به علت صعود موئنه‌های آبهای زیرزمینی، وابستگی میان سیستم ریشه‌ای و آبهای بین‌روزنه‌ای و غیره است.

روش بیوژئوشیمیایی در مردابها و تورب‌زارها که معمولاً نمونه‌برداری از خاک در آنها بسیار دشوار است، سودمند است. چنانکه گرابوفسکایا (۱۹۶۵) اشاره کرده است، هاله‌های بیوژئوشیمیایی در این شرایط توده‌های معدنی را تقریباً به روشنی مشخص می‌نمایند، در حالیکه هاله‌های خاکی معمولاً بسیار مبهم و نامشخصند. دشواریهای موجود در نمونه‌برداری لیتو ژئوشیمیایی نیز معمولاً در گستره‌هایی که قطعات سنگی بزرگ درون آبرفتها، یخرفتها یا مورن‌ها وجود دارد و باین ترتیب مواد خاکی سخت نشده میان این قطعات مجبوس شده‌اند، بروز می‌کند، از این رو موجب جلوگیری از نمونه‌برداری از خاک می‌شود. نمونه‌برداری از گیاهان در چنین گستره‌هایی، مسائل اکتشافات ژئوشیمیایی را حل می‌کند. سرانجام، روش بیوژئوشیمیایی ممکن است در نواحی استوایی و یا نیمه استوایی، جایی که خاکها و افقهای بالایی پوسته آب و هوازه در جریان شستشوی شدید قرار می‌گیرند، بکار روند. این شستشو با خروج عناصر اندکی که شاخص وجود

کانه‌اند، همراه می‌باشد.

شبکه نمونه‌برداری مورد استفاده در اکتشافات بیوژئوشیمیایی، بستگی به هدف اکتشاف و نیز مقاصد ویژه بررسیها دارد. اکتشاف بیو ژئوشیمیایی معمولاً در ناحیه‌هایی انجام می‌شود که بررسیهای ناحیه‌ای کوچک مقیاس پیشین، ذخایر بالقوه‌ای را مشخص ساخته باشد. در این مرحله از اکتشاف (مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ یا بیشتر) حداقل آگاهیهای تجربی در باره انواع احتمالی کانسارهایی که ممکن است در ناحیه مورد بررسی موجود باشد، و نیز در باره اندازه ممکن هاله‌های بیو ژئوشیمیایی مربوطه، در دسترس است. طرح شبکه نمونه‌برداری مطلوب بر مبنای این دانسته‌ها فراهم می‌شود. اگر احتمال برخورد به ناهنجاری حداقل (آستانه‌ای) یا مقادیر بیشتر در درون هاله بیو ژئوشیمیایی، از ۰/۵ کمتر نباشد، در اینصورت به منظور بدست آوردن سه مقدار ناهنجار در یک سری ژئوشیمیایی که هاله را تشکیل می‌دهد، بایستی حداکثر ده نمونه برداشته شود. اگر تنها یک مقدار "hit" لازم باشد در آنصورت ۴ نمونه کافی خواهد بود. در مورد شانس برخورد (بیش از ۰/۵) به مقادیر بحرانی ناهنجار انتخاب شده در هاله‌ها، شمار نمونه‌ها بر طبق آن کاهش می‌یابد (به ضمیمه ۱ مراجعه شود).

نمونه‌برداری از گیاه و نیز، انواع دیگر نمونه‌برداری ژئوشیمیایی، در امتداد پروفیل‌ها و مسیرهای عمود بر امتداد توده‌های کانساری سه‌بعدی یا ساختارهای کنترل‌کننده کانه‌ها اعمال می‌شود.

محل‌های نمونه‌برداری بیوژئوشیمیایی طوری انتخاب شده‌اند که در مورد گیاهان جنگلی معرّف ۲۵ متر مکعب از زمین و برای جلگه‌ها، شبه کویرها و کویرها معرّف ۱ تا ۵ متر مکعب باشند. این گستره بقدر کافی نمایانگر بوده، بطوری که می‌تواند گیاهان پوشاننده ناحیه مورد بررسی را مشخص کند. و امکان می‌دهد که برای یک نمونه مواد کافی جمع‌آوری گردد. آماده‌سازی (خشک و خاکستر کردن) نمونه‌های بیوژئوشیمیایی بر طبق «دستورالعمل‌هایی بر روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی» (چاپ اخیر از صفحه ۱۲۷ تا ۱۳۷، ۱۹۶۵) انجام می‌شوند. به منظور انتخاب شرایط مطلوب برای اجرای عملیات نمونه‌برداری بیوژئوشیمیایی، انجام مقدار معینی کار تجربی توصیه می‌شود.

با توجه به نموده‌های بیو ژئوشیمیایی تمرکز عناصر اندک بوسیله گیاهان که قبلاً به آن اشاره شده است، گونه‌های خاص و یا چندین گونه گیاهی، ممکن است انتخاب شود. این انتخاب بایستی بر پایه فراوانی گونه گیاه معین (گیاه انتخابی بایستی بطور کاملاً یکنواختی در گستره مورد نمونه‌برداری وجود داشته باشد) و ژرفایی که سیستم ریشه‌ای تا به آنجا می‌رسد (هر چه ژرفتر باشد بهتر است) و نیز توانایی گیاه در انباشتن عناصر اندک شاخص (این مساله ممکن است در طول بررسیهای تجربی بهتر حل شود) قرار گیرد. معمولاً از گیاهانی که به عنوان متمرکزکننده عناصر شاخصی که تیپیک نوع ویژه‌ای از کانی‌سازی کانساری شناخته شده می‌باشند، نمونه‌برداری نمی‌شود. این امر به علت طبیعت پیچیده تغییرات درون گیاهان از نظر مقدار عنصری که متمرکز می‌کنند، می‌باشد. به سبب این نمود، بیشتر اوقات برقراری همبستگی میان توزیع عناصر اندک در چنین گیاهانی با توزیع همین عناصر در خاک ممکن نیست. اگر به علت تنوع در اجتماع گیاهی، لازم باشد که گونه‌های مختلفی از گیاهان در گستره‌های متفاوت در ناحیه مورد بررسی، نمونه‌برداری شوند، ضروریست که پارامترهای زمینه بیو ژئوشیمیایی برای هر گونه خاصی محاسبه گردد. نموده‌های انباشت عناصر اندک بوسیله

یک گونه خاص را با بستی بررسی گردد.

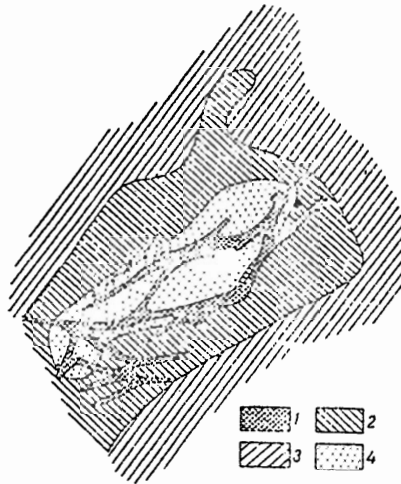
اندازه‌های مختل گیاهان، عناصر اندک را بطور متفاوتی متمرکز می‌کنند به این دلیل بخش خاصی از گیاه نمونه برداری می‌شود (برگها، ساقه‌ها، شاخه‌ها و غیره) بایستی سن گیاهانی که مورد نمونه برداری قرار می‌گیرند تقریباً برابر باشد. با توجه به تغییر پذیری مقادیر عناصر اندک در گیاهان در فصول مختلف، توصیه می‌شود تا آنجایی که ممکن است، نمونه برداری در دوره‌های کوتاه مدت انجام شود (نه بیشتر از دو یا سه هفته). اگر در یک اجتماع گیاهی گونه‌های چوبی موجود باشد ترجیح داده می‌شود نمونه‌گیری از گونه‌های چوبی بعمل آید تا بوته‌ای یا علفی. در بیشتر موارد، برگها، سوزنهای مخروطی شاخه‌های درختان یا بوته‌هایی با سن یکسان و نیز شاخه‌های دو یا سه ساله با برگها یا سوزنهای مخروطی، مورد نمونه برداری قرار می‌گیرند. سن درختان بطور تری بر پایه ضخامت تنه و بلندی آن تعیین می‌شود. اگر نمونه‌ها بطور یکنواخت از همه بخشهای اطراف درخت یا بوته برداشته شوند، در آنصورت احتمال بدست آوردن دانسته‌های میانگین نماینده (معرف) بسیار زیاد است. در هنگام نمونه برداری از گیاهان علفی، ساقه و برگها نیز معمولاً جمع‌آوری می‌شود.

اندازه یک نمونه بیوژئوشیمیایی بستگی به مقدار خاکستری دارد که برای یک تجزیه اسپکتروگرافی نثری (حدود ۳۰ میلی‌گرم) لازم است. وزن نمونه اصلی برداشته شده بایستی تقریباً ۲۰ گرم باشد. برای تجزیه‌های پیچیده، ممکن است لازم باشد که وزن نمونه به ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم افزایش یابد.

نتایج حاصل از بررسیهای بیوژئوشیمیایی به شکل نقشه‌ها و یا نمودارهایی که ناهنجاریهای بیوژئوشیمیایی فیتوژئوشیمیایی را همراه با مقاطع عرضی مربوطه که نشان‌دهنده مقدار عناصر در نمونه‌های برداشت شده می‌شد (شکل‌های ۸۵، ۸۶)، ارائه می‌گردد. افزون بر نقشه‌های تک‌عنصری، امکان تهیه نقشه‌هایی از نسبت‌های شاخص تیبیک بین عناصری با خواصی همانند، وجود دارد که نسبتشان در خاکها و سنگهای زیرین، از زمین، ژئوشیمیایی، به سوی هاله یک کانسار، بطور ناگهانی تغییر می‌کند. نسبت Cu/Zn دقیقاً مثالی از چنین نسبتی است که ممکن است در جستجو برای کانسارهای مس بکار رود: Zn/Sn، Zr/Sn و V/Sn، ممکن است در اکتشاف کانسارهای قلع و Mg/Li برای کانسارهای فلزات کمیاب بکار روند.

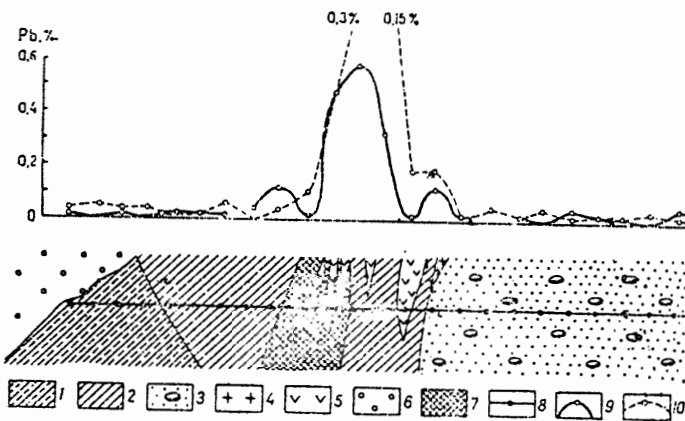
ارزیابی هر ناهنجاری بیوژئوشیمیایی که ممکن است کشف گردد، به شناخت ارتباط میان خاستگاه این ناهنجاری و هاله ژئوشیمیایی نهشته یا وابستگی ناهنجاری با پدیده انباشت موضعی عنصر اندک ویژه در منظر خاص، گاه منتهی یابد. ایجاد هاله‌های بیوژئوشیمیایی دروغین، ممکن است به سبب تغییرات ناگهانی در ترکیب سنگهای زیرین (برای مثال یک استوک اولترابازی در میان سنگهای اسیدی)، تغییرات شدید در pH خاکها و نیز بر می‌تواند سایر عوامل دیگر باشد.

ناهنجاریهای بیوژئوشیمیایی بسته به موقعیت ویژه آنها، به کمک یکی از چندین روش ژئوفیزیکی موجود و بدنبال آن حفاری برای آشکار ساختن توده کانساری یا هاله لیتوژئوشیمیایی آن (نخستین یا دومین) مورد بررسی قرار می‌گیرند.



شکل ۸۵. هاله‌های پراکندگی بیوژئوشیمیایی بریلیم در ناحیه‌ای با آپلوگرانیت‌های فلزات کمیاب (از گرابووفسکایا ۱۹۹۵).

۱- توده معدنی، ۲ تا ۴- مقدار بریلیم در خاکستر بر حسب درصد (۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۳ تا ۰.۰۰۰۳ تا ۰.۰۰۰۴ تا ۰.۰۰۰۹ تا ۰.۰۰۰۹ تا ۰.۰۰۰۹).



شکل ۸۶. پروفیل بیوژئوشیمیایی در پهنای یک نهشته پلی‌متالیک (از گرابووفسکایا ۱۹۹۵).  
 ۱- شیل‌های ماسه‌ای-رسی و هورنفلس، ۲- شیل‌های ماسه‌ای-رسی بیرنگ شده، ۳- ماسه سنگ و کنگلومرا،  
 ۴- پورفیری‌های گرانیتی، ۵- لامپروفیر (Lamprophyre)، ۶- نهشته‌های آبرفتی جدید، ۷- زونهای تکتونیکی  
 کانی‌سازی شده، ۸- نقاط نمونه برداری از گیاه برج، ۹- مقادیر عنصری در برگها، ۱۰- مقادیر عنصر در شاخه‌ها.

هاله‌های ژئوبوتانی با توجه به نقش رو به رشد روش‌های زمین‌شناسی هوایی و دورسنجی توان کاربردی زیادی در اکتشاف معادن دارند. توانایی تهیه انواع گوناگون عکس‌های رنگی از گیاهان روی زمین (به کمک صافی‌ها) بوسیله هواپیماها و ماهواره‌های ساخته دست بشر، این امکان را می‌دهد که جزئی‌ترین تغییرات در رنگ گیاهان، از جمله سایه‌هاییکه بوسیله چشم غیر مسلح قابل تشخیص نیست، ثبت شوند. نتیجه آنکه ناهنجاری‌های رنگی ژئوبوتانی از جمله ناهنجاری‌هایی که به سبب تمرکز افزوده عناصر کانساری و عناصر همراه آنها در خاکها و گیاهان بوجود می‌آیند، ممکن است قابل تشخیص باشند.

سازمان زمین‌شناسی آمریکا، در مورد مقایسه میان طیف‌های بازتاب شده برخی گونه‌های درختان (پیسارابنز<sup>۲</sup> و آیز بالسامیا<sup>۳</sup>) که در زمینه ژئوشیمیایی و نیز در خاک‌های دارای ناهنجاری شدیدی از مس و مولیبدن می‌روند، آزمایش‌هایی انجام داده است. در طیف‌های بازتاب شده تنها در ناحیه طیف زیر قرمز، در گونه پیسا رابنز اختلافی دیده شد، در حالیکه در مورد گونه آیز بالسامیا، ثابت شده است که طیف‌های بازتاب شده، اساساً در همه ناحیه‌ها متفاوتند.

در مورد کاربرد موفقیت‌آمیز روش‌های ژئوبوتانی هوایی برای اکتشاف مس در جنگلهای تقریباً غیر قابل عبور مرطوب، گزارش‌هایی موجود است. گزارش شده است که در این گستره‌ها رخداد مس پرفیری امیدبخش، به کمک اجتماع ویژه درختان که ظاهراً به عامل‌های دیگر منظری (از جمله بالا آمدگی) ناحیه بستگی ندارد، دیده شده است.

در خلال اکتشافات سطحی نواحی پوشیده یا نیمه پوشیده، معیارهای ژئوبوتانی در مقیاس‌های گوناگون، که از مرحله شناسایی شروع شده و تا مرحله تفصیلی ادامه پیدا می‌کند، بکار می‌روند. معیارهایی که بایستی مورد توجه قرار گیرند، توسط پلی‌کار پوشکین<sup>۴</sup> (۱۹۶۸) خلاصه شده است، در «دستورالعمل‌هایی بر روش‌های اکتشافات ژئوشیمیایی» (۱۹۶۵ ص ۱۳۲)، موارد زیر را دربر می‌گیرد:

الف- تغییرات در اجتماع گیاهان، باستانه‌های ترکیب برخی از گونه‌های تیبیک که بوسیله تغییرات محیطی قابل توصیف نیستند،

ب- نمای ظاهری گیاهان شاخص ویژه،

ج- تغییرات در نمای بیرونی گیاهان (شکل برگها، گلها، غیره، که معمولاً مشخص‌کننده گیاه معینی نیستند، رنگ غیر معمول، گسترش نامتداول و غیره)،

د- اغتشاش در روند رشد گیاه (پیش‌رس یا دیررس، تاخیر در گل دادن یا ریزش برگها و غیره)،

ر- نشانه‌های وقفه یا به حد نصاب نرسیدن شمار گیاهان در خلال اکتشافات معدنی، بررسی‌های ژئوبوتانی سیستماتیک در ناحیه‌هایی که کارآیی معیارهای ژئوبوتانی در آنها ثابت شده است، اجرا می‌شود. این امر به تهیه نقشه‌های ژئوبوتانی ویژه‌ای می‌انجامد. که گستره‌هایی را مشخص می‌کند که اکتشافات مفصلتر در آنها نیازمند استفاده از شماری از دیگر روش‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی است.

1- Geobotany  
4- Polikarpochkin

2- Picea ruben

3- Abies balsamea

## فصل ۹

### هاله‌های جو- شیمیایی (اتموشیمیایی) کانسارها

#### اطلاعات کلی

مدهاست که وجود هاله‌های گازی در جو بالای انواع مختلف کانسارها، شناخته شده است. البته ترکیبات و نموده‌های ساختاری آنها هنوز به اندازه کافی شناخته شده نیست. این امر در درجه اول به دلیل نبودن روش‌های موثری است که می‌تواند در اندازه‌گیری غلظت‌های طبیعی بسیار کم بیشتر اجزای سازنده گازی موجود در هاله‌های جو- ژئوشیمیایی که از نهشته‌های معدنی (کانسارها) حاصل شده‌اند، بکار آید. [اصطلاح‌های «اتموشیمیایی<sup>۱</sup>» یا اتموژئوشیمیایی در زبان روسی به شکل قابل تبدیل به یکدیگر بکار می‌روند].

بررسی‌های گازی، که هیدروکربن‌های فزّار و هلیم را ردیابی می‌کنند، امروزه بخش مهمی از اکتشافات زمین‌شناسی نفت و گاز طبیعی را تشکیل می‌دهد. هاله‌های گازی رادون، که در جو و گازهای خاک که سنگهای ولکانیک، متامورفیک یا رسوبی را می‌پوشانند، دارای غلظت‌های افزایش یافته‌ای از اورانیم بوده و از اوائل سال ۱۹۴۰ تاکنون بطور گسترده‌ای در جستجو برای کانسارهای اورانیم بکار رفته است. در آن زمان استفاده از دیگر اجزاء سازنده گازی هاله‌های جو- شیمیایی برای مقاصد اکتشافی، تازه شروع شده بود و در بیشتر موارد، هنوز هم مراحل تجربی را می‌گذرانند. در سال ۱۹۷۱ حدود ۴۳۰۰۰ نمونه جو- شیمیایی در دنیا برداشته شد (این تعداد نمونه‌های گازی برداشته شده در خلال بررسی‌های نثرسنجی (رادون) برای اکتشاف کانسارهای اورانیم را دربر نمی‌گیرد).

هاله‌های جو- شیمیایی کانسارها، شامل همه اجزاء سازنده موجود به حالت گازی است که ممکن است

از کانسنگهای کانه‌ارها یا از کانسنگ فرآورده‌های تخریب سوپرژن این نهشته‌ها بوجود آمده باشند. این اجزاء سازنده ممکن است در مایعات و نیز جامدات موجود باشند. این مواد در شرایط جوی حکمفرما در سطح پوسته زمین دارای فشار بخار زیادی بوده و این در دمایی که در لایه پایین جو مستولی است موجب عبورشان به - لت گازی می‌شود (جدول ۵۶).

جدول ۵۶ - ترکیب هاله‌های جو - شیمیایی در کانسارها (نهشته‌های کانی)

ترکیب گازها	سرچشمه اجزاء سازنده گازی در هاله‌ها
Br, Cl, F, CO <sub>2</sub>	اجزاء سازنده گازی در سنگها
Rn	فرآورده‌های حاصل از تلاشی رادیواکتیو
SO <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, F	فرآورده‌های گازی حاصل از واکنشهای سوپرژن
	میان کانسنگ و کانی‌های باطله
Hg, I	اجزاء سازنده جامد و مایع سنگها و کانسنگ‌های بسیار فرار.

مقادیر زنده گازهای شاخصی که ممکن است در جو موجود باشند، بر حسب میکروگرم در مترمکعب، در زیر ارائه شده است (از مک کارتی<sup>۱</sup> ۱۹۷۲).

Hg	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	F	Cl	Br	I
۰/۰۲	۲	۳ تا ۳۰	< ۰/۰۵	۱ تا ۵	۲	۰/۱

(رقم مربوط به جیوه، مقدار بالایی به نظر می‌رسد. مقادیر زمینه جیوه در هوا بطور معمول بیش از ۰/۰۱ میکروگرم در مترمکعب نیست).

در حال حاضر، هاله‌های گازی جیوه در کانسارهایی که جیوه کانه اصلی است و نیز در کانسارهای سولفور جیوه دار که مقدار کمی جیوه بصورت ناخالصی، کانه را همراهی می‌کند، بشدت مورد بررسی قرار می‌گیرند. بخارات جیوه، برای اولین بار در سال ۱۹۶۱ بوسیله سرگیف<sup>۱</sup> بر فراز زون‌های کانساری سینابردار<sup>۲</sup> - خردستان<sup>۳</sup> ردیابی شد.

بررسیهای جامع انجام شده بوسیله فرسوف<sup>۵</sup> (۱۹۷۰) بر فراز برخی از کانسارهای جیوه در شوروی، بوسیله کاراسیک<sup>۶</sup> و بولشاکوف<sup>۷</sup> (۱۹۶۵)، در ناحیه معدنی، کانسار سینابر نیکیتوسکی<sup>۸</sup> و نیز بوسیله خیرت دنیوف<sup>۹</sup> (۱۹۷۱)، بر فراز یک کانسار جیوه در تاوا، میانگین غلظت زمینه جیوه را در گاز منشاء گرفته از خاک بین ۱۰ و ۲۰۰ نانوگرم در مترمکعب (یک نانوگرم معادل ۱۰<sup>-۹</sup> × ۱ گرم است) معرفی می‌کند و

- |               |               |                 |
|---------------|---------------|-----------------|
| 1- Mc Carthy  | 2- Sergeev    | 3- Cinnabar     |
| 4- Khaidarkan | 5- Fursov     | 6- Karasik      |
| 7- Bol'shakov | 8- Nikitovsky | 9- Khairtadinov |

مقدار جیوه در بالای کانسارهای سینابر، به هزار و دهها هزار یا حتی صدها هزار نانوگرم در مترمکعب هوا می‌رسد.

فرسوف (۱۹۷۰)، طی محاسباتی نشان داد، در صورتیکه خاک دارای ۸۰ تا ۲۰۰ ppm جیوه باشد (بسته به دما) مقدار بخار جیوه در حال تعادل، در گاز و خاک از ۱۰۰ (در ۲ تا ۱۰ درجه سانتیگراد) تا ۵۰۰ نانوگرم در مترمکعب (در ۲۰ درجه سانتیگراد) تغییر می‌کند. بخارات جیوه، ممکن است تا چند ده متر در سازندهای متخلخل سخت نشده نفوذ نماید. هاله‌های پراکندگی گازی جیوه در کانادا در یخرفتی به ضخامت بیش از بیست متر، که روی نهشته‌ای از کانسارهای سولفوری پلی‌متالیک قرار دارد، کشف شد. نمونه‌برداری از گاز خاک در یک شبکه ۶۰ × ۳۰ متری در ناحیه معدن کورتز (نوادا)، امکان تعیین - حدود کانساری از طلا با کانی‌سازی پراکنده را که بوسیله یک لایه قلوه‌سنگی به ضخامت ۳۰ متر پوشیده می‌شود، فراهم آورد. (گات<sup>۱</sup> و دیگران، ۱۹۶۹). این امر با استفاده از دانسته‌های مربوط به مقادیر بخارات جیوه انجام شد.

گازسنجی برای جیوه در نواحی پوشیده بوسیله خاکهای باطله، ممکن است به شناخت سیستم‌های شکستگی گستره‌های مورد نقشه‌برداری کمک نماید. فرسوف و دیگران (۱۹۶۸)، که پی آمدهای زمین‌لرزه تاشکند را بررسی نمودند، متوجه شدند که مقدار جیوه در هوایی که از گمانه‌های حفر شده روی شکستگیهای نهفته خارج می‌شود، پانزده برابر مقدار جیوه موجود در گاز خاکی بود که از زون‌های دور از شکستگی برداشته شده بودند. خیرت دنیوف (۱۹۷۱) همچنین متوجه افزایش شایان توجه مقدار بخار جیوه در گاز خاکی که بر فراز زون‌های زمین‌لرزه‌ای فعال قرار داشت، شد. او تاکید نمود که این ویژگی ناهنجاری‌های جو - شیمیایی بایستی در تفسیر نتایج بدست آمده از بررسیهای ژئوشیمیایی گازی منظور گردد.

تمرکز جیوه در هوای جوی، با افزایش ارتفاع، سریعاً کاهش می‌یابد. برای مثال، بر پایه داده‌هایی از سازمان زمین‌شناسی آمریکا، تمرکز بخار جیوه در هوا در نزدیکی معدن اورد<sup>۲</sup> در آریزونا، درست در سطح زمین به میزان ۲۰۰۰۰ نانوگرم در متر مکعب رسید. در یک ارتفاع ۱۲۰ متری، مقدار جیوه به ۱۲۰ نانوگرم در مترمکعب کاهش می‌یابد. این ناهنجاری وابستگی ویژه آشکاری را به مسیر باد نشان داده است. در سوی موافق جهت باد، ناهنجاری تا فاصله ۳۰ متری معدن قابل تعقیب می‌باشد، در صورتیکه در جهت مخالف، مقدار زمینه جیوه در هوا، تنها در یک فاصله ده متری نسبت به سرچشمه بخارات جیوه قابل تشخیص و ردیابی بود. در مورد مقادیر کمتر جیوه در گاز خاک، با گذشتن از خاک به سوی جو، کاهش مقدار این عنصر ممکن است حتی شدیدتر هم باشد. برای مثال، در ناحیه معدن کبالت (آنتاریو<sup>۳</sup>، کانادا) در گاز خاک، ۳۰۰۰ نانوگرم در مترمکعب جیوه کشف شد. در یک ارتفاع یک متری از زمین، جیوه تنها ۱۰ تا ۱۲ نانوگرم در مترمکعب بود (مک کارتی، ۱۹۷۲). کاربرد ناهنجاریهای جو - شیمیایی بر پایه میزان جیوه موجود در فراز خاک به عنوان معیارهای اکتشافی، دشواریهایی را در تفسیرها به همراه دارد که به سبب اثر آب و هوا و پدیده‌های وابسته است. تجارب حاصله از بررسیهای صحرائی سال ۱۹۷۱، در معدن پرشینگ<sup>۴</sup> (نوادا)، که

- |             |        |            |
|-------------|--------|------------|
| 1- Gott     | 2- Ord | 3- Ontario |
| 4- Pershing |        |            |

بوسیله مک کارتی گزارش گردیده (۱۹۷۲)، نمونه شاخصی است. بررسی نمونه‌های هوا که تا ارتفاع ۱۲۰ متری خاک در این ناحیه از معدن برداشته شده است، نشان می‌دهد که مقدار جیوه در بلندبهای مختلف متغیر است و بستگی به شرایط جوی دارد. هنگامی که مقدار جیوه در سطح زمین ۴۰۰ نانوگرم در مترمکعب بود، در ارتفاع ۱۲۰ متری به ۳۵۰ نانوگرم در مترمکعب می‌رسید. ولی تنها برخی اوقات بدنبال ریزش باران، تمرکز جیوه در هوا بطور محسوسی کاهش می‌یافت. بر خلاف ناهنجاریهای ثبت شده در گاز خاک، ناهنجاریهای جوی-شیمیایی در بالای کانسارهای سولفوری، که مقدار جیوه در آنها زیاد نیست، اغلب بسیار ضعیف‌اند (۱۰ تا ۲۰ نانوگرم در مترمکعب). این امر نشان می‌دهد که این روش ویژه، در اکتشاف تفصیلی، زیاد موثر نیست.

در عین حال، در مورد بررسیهای ژئوشیمیایی مقدماتی به قصد کشف نواحی امیدبخشی که قرار است در آینده بررسیهای مفصلتری بر روی آنها انجام شود، روشی که بر پایه اندازه‌گیری مستقیم جیوه از هواپیما، هلیکوپتر، یا کامیون است، درخور رسیدگی و توجه بسیار جدی است. نتایج مثبت بدست آمده به کمک هلیکوپترها در جستجو برای ناهنجاریهای جیوه در هوا، بوسیله فرسوف (۱۹۷۰)، شرح داده شده است. سازمان زمین‌شناسی آمریکا از سال ۱۹۶۵ به توسعه روشهای اکتشاف جوی-شیمیایی هوایی، برای جیوه پرداخته است. آزمایشهای موفقیت‌آمیز انجام شده در مورد کشف ناهنجاریهای جیوه در هوا توسط یک کامیون در حال حرکت، بوسیله مک کارتی (۱۹۷۲)، شرح داده شده است. در استرالیا، ناهنجاریهایی از جیوه در هوای فراز نهشته‌های مس، نیکل، و روی کشف شده است. در سطح زمین، مقدار جیوه در هوا، معادل یک نانوگرم در مترمکعب می‌باشد. در حالیکه مقدار جیوه در هوای فراز رخدادهای کانی‌سازی سولفوری به ۱۱ نانوگرم در مترمکعب افزایش می‌یابد. اندازه یک ناهنجاری جوی-شیمیایی چندین بار بزرگتر از ابعاد کانسار در سطح افق است. در آنتاریو در نتیجه بررسیهای جوی-شیمیایی انجام شده از یک کامیون در حال حرکت، به وجود هاله‌های گازی جیوه بر فراز نهشته‌های دارای نقره فلزی و تترائیدریت<sup>۱</sup> پی برده شد. همچنین در زمستان هنگامیکه دما به منهای ده درجه سانتیگراد (۱۰°C-) کاهش یافته بود، مقدار بسیار زیادی جیوه در هوا ردیابی شد.

هاله‌های گازی دی‌اکسید گوگرد (SO<sub>2</sub>) شاخص کانسارهای سولفوردار هستند. تراکم دی‌اکسید گوگرد، که از اکسیداسیون کانیهای سولفوردار حاصل می‌شود، در گاز خاک فراز کانسارها، ۲۵ تا ۵۰ ppb می‌باشد، در صورتیکه تمرکز زمینه آن ۲ تا ۱۰ ppb است. هاله‌های جوی-شیمیایی دی‌اکسید گوگرد روی انواع بسیار متفاوتی از کانسارها دارای کانسنگ سولفوری و در شرایط اقلیمی گوناگون کشف شده است. SO<sub>2</sub> از نهشته‌های سخت نشده ضخیم مهاجرت می‌کند. آگاهیهای بسیار کمتری در مورد وجود H<sub>2</sub>S در هاله‌های گازی حاصل از کانسارهای سولفوردار، موجود است. مقادیر ناهنجار سولفور هیدروژن (H<sub>2</sub>S) در هوای بالای کانسارهای طلا در ناحیه کریپل کریک<sup>۲</sup> در کلرادو بوسیله فردریکسون<sup>۳</sup> و دیگران (۱۹۷۱) گزارش شد. در فاصله‌ای از کانسار مقدار این گاز بیش از دو برابر مقدار زمینه است. اکسیداسیون سولفورها و تشکیل SO<sub>2</sub> در

هنگام آب و هوازدگی، در ابتدا به تولید اسید سولفور و سپس اسید سولفوریک در محلولهای سطحی می‌انجامد، این محلولها موجب شستشوی کانیهای دگرسان شده می‌گردند. اگر فلوتوریت یا کربناتها در کانسنگ موجود باشند، اسید سولفوریک با آنها وارد واکنش شده تشکیل اسید هیدروفلوریک در مورد فلوتورها و یا دی‌اکسید کربن (در مورد کربناتها)، می‌دهد. وجود فلوتورها و سولفورها در یک کانسار، ممکنست سبب تمرکزهای ناهنجار فلوتور در هوای بالای زونهای کانساری شود. تمرکزهای افزوده اسید کربنیک بایستی انباشت کانسارهای سولفور کربنات را نشان دهد.

ادخالهای گازی-مایع (سیال) در باطله و در کانسنگ‌هایی که دارای نمکهای محلول کلریدها و فلوریدها هستند، ممکن است همچون سرچشمه‌های اضافی فلوتور و کلر در هوای فراز کانسارهای آب و هوازده، عمل نمایند.

ناهنجاریهای جوی-شیمیایی فلوتور و کلر در بالای برخی از کانسارهای گرایزنی<sup>۱</sup> و همچنین فراز کانسارهای طلا در کلرادو، کشف شده است. مقادیر ناهنجار هالوژنها سه برابر مقدار میانگین زمینه ژئوشیمیایی این عناصر در ناحیه است.

آگاهیهای بسیار محدودی در مورد پخش CO<sub>2</sub> در هاله‌های جوی-شیمیایی کانسارها در دست است. جالبترین آگاهیها در این مورد بوسیله تریبا<sup>۲</sup> و دیگران (۱۹۷۱)، گزارش شده است. این دانشمندان تمرکزهای زیادی از CO<sub>2</sub> (بیش از ۵٪) را در گاز خاک فراز زونهای گسلی که کنترل‌کننده کانی‌سازی جیوه می‌باشد، کشف نمودند.

در مورد ناهنجاریهای گازی تشکیل شده بوسیله برم وید، آگاهیهای بسیار کمی در دست است. مک کارتی (۱۹۷۲)، در اطلاعات بدست آمده در باره هاله‌های گازی کانسارها، بوسیله موسسه تحقیقاتی بارینگر<sup>۳</sup> (رکسدل، آنتاریو، کانادا)، بازنگری نموده و وجود تمرکزهای ناهنجار برم وید را در بالای کانسارهای معدنی مس پرفیری شناخته شده در آریزونا و نیز بر فراز ناحیه‌های نفت‌دار در کالیفرنیا، گزارش کرده است.

### نمونه‌برداری از هاله‌های جوی-شیمیایی و تجزیه شیمیایی گازها

بررسی هاله‌های جوی-شیمیایی، نمونه‌برداری از گاز خاک یا هوا را در ارتفاع معینی از سطح زمین، دربر دارد. در هر مورد ویژه، روش نمونه‌برداری به تکنیک بعدی که برای آنالیز شیمیایی اجزاء سازنده گازی در هاله، بکار می‌رود، بستگی نزدیکی دارد. مقادیر کم گازهای شاخص در هاله‌های موجود آمده از کانسارها، روش تجزیه را پیچیده می‌کند و عامل اصلی در جلوگیری از گسترش روش اکتشافی مورد بحث است.

مفیدترین روشهای تجزیه عبارتند از روشهای مستقیم اندازه‌گیری گاز بوسیله دستگاههای بسیار حساس که اندازه‌گیری مقادیر در حد زمینه هر یک از گازها را در هوا ممکن می‌سازد. این دستگاهها بشرح زیر است:

1- Greisen

2- Netreba

3- Barringer

1- Tetrahedrite

2- Cripple Creak

3- Frederikson

۱- دستگاههای جذب امی برای اندازه گیری مقادیر اندک جیوه، که در شوروی مورد استفاده قرار گرفته و بوسیله چندین شرکت، در آمریکا و کانادا نیز ساخته می شود (Barringer, Scintrex, etc)، ۲- اسپکترومترهای جرمی که برای اندازه گیری بیهی مستقیم مقادیر کم کلر، فلورور جیوه و سولفور هیدروژن در هوا، به شکل خاصی طراحی شده اند (فر ریچسون و دیگران ۱۹۷۱)، ۳- به اصطلاح اسپکترومتر تطبیقی که مقادیر بسیار کم گازهای گوگردار، برم و ید را در هوا اندازه گیری می کند. کاربرد دستگاههایی از این نوع که در هواپیماها، هلیکوپترها یا کامیونها سوار می شوند امکان نمونه برداری پیوسته از هوا را، ممکن می نماید. هنگامیکه روشهای تجزیه ای حساسیت کمتر بکار گرفته می شوند، ضروریست که مقادیر زیادی از هوا نمونه برداری شود و گاز مورد نظر بوسیله روشهای مناسب تغلیظ و تمرکز داده شود. به این منظور، هوا از میان یک صافی جامد که درون محفظه قرار گرفته یا از میان مایعی که سازنده گازی مورد نظر در آن متمرکز می گردد، گذرانده می شود.

طلا یا نقره که ابخارات جیوه ملقمه می دهند، ممکن است به عنوان تمرکزدهنده های جیوه بکار روند. گازهای سولفوریک، نیز به نوبه خود، هنگامی که هوا از آب گذرانده شود، بطور کمی در آب متمرکز می شوند، گاز کروماتوگرافی الکترودهای یونی انتخابی و روشهای دیگر برای تجزیه های گازهای متمرکز شده بکار می روند. جیوه ممتکز شده در یک جامد (برای مثال بر روی طلا یا نقره یا در یک محلول آبی)، ممکن است بوسیله روشهای گوناگون، از جمله کالریمتری و اسپکتروگرافی تجزیه شوند.

نمونه برداری از هوای فراز سطح زمین بطور معمول با وارد کردن مستقیم هوا به داخل یک دستگاه بسیار حساس که بر روی یک وسیله نقلیه در حال حرکت (هواپیما، هلی کوپتر یا کامیون)، سوار شده است، یا به داخل یک محفظه بزرگ که به یک جمع کننده گاز مجهز است، انجام می گیرد. تمرکزهای بسیار زیاد بخارات جیوه و ید در هوا را می توان بطور ایتیکی (نوری) از انواع هوابردها که شامل ماهواره های زمینی مصنوعی نیز می شود، اندازه گیری نمود. تجزیه های نخستین که در هوا کره به کمک بالونهای صوتی توسط مرکز تحقیقات بارینگر<sup>۱</sup> انجام شد، نتایج مثبتی را بدست داده است.

نمونه برداری از گاز خاک بوسیله تلمبه زدن به روش فعال و یا غیر فعال انجام می شود. در روش فعال تلمبه زدن گاز خاک به کمک تلمبه های ویژه از گمانه های کوچک یا بطور مستقیم از سطح خاک انجام می گیرد. روش غیر فعال، بطور گسترده ای بوسیله سازمان زمین شناسی آمریکا بکار گرفته می شود. برای این منظور از یک نیم ره الاستیکی استفاده می شود، که بخش بالایی آن منافذ مشبکی از نقره دارد. پس از آنکه لایه بالایی خاک رداخته شد (به ضخامت ۱ تا ۲ سانتیمتر)، نیم کره در سطح جای داده می شود. پس از دو ساعت صافی نقره ای برداشته شده و برای تجزیه فرستاده می شود (مک کارتی ۱۹۷۲).

در بررسیهای قدیم، نمونه برداری از هوای فراز خاک، در ارتفاعهای گوناگون بسیار سودمند و موثر است و وسائل نمونه گیری در کامیون، هواپیما یا هلیکوپتر در حال حرکت تعبیه شده و ثبت مقادیر مختلف گازهای مورد توجه در هوا بصورت پیوسته انجام می شود. این روش بویژه در ناحیه هایی مناسب است که

کمتز مورد بررسی قرار گرفته و از مکانهای صنعتی که ممکن است سبب آلودگی اتمسفر شوند فاصله دارند. نمونه برداری ژئوشیمیایی گاز خاک، ممکن است در اکتشاف تفصیلی بکار رود، بویژه اگر هیچ (یا ناچیز) نشانه آشکاری از کانی سازی موجود نباشد. این نوع نمونه برداری ثبت و کشف هاله های جو - شیمیایی حاصل از کانسارهای نهفته در زیر آبرفتها را، ممکن می سازد.

بایستی تاکید شود که پیشرفت در زمینه اکتشاف جو - شیمیایی، تا اندازه زیادی بستگی به بهبود در ابزار تجزیه دارد.

## فصل ۱۰

### کاربرد روشهای ژئوشیمیائی با توجه به منظور و اهداف اکتشاف

هر مرحله از اکتشافات ژئوشیمیائی با مجموعه‌ای از مسائل ویژه در ارتباط است، این مسائل ممکنست به کمک روشهای ژئوشیمیائی و یا استفاده توأم این روشها با روشهای دیگر، بویژه روشهای ژئوفیزیکی حل شود. حداکثر کارآئی روشهای اکتشاف ژئوشیمیائی در صورتی حاصل می‌شود، که ترتیب انجام مراحل اکتشافی رعایت گردد.

بررسیهای زمین‌شناسی (ناحیه‌ای) و اکتشاف کوچک-مقیاس (مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰)

اهداف اصلی این مرحله از بررسیهای ژئوشیمیائی در کتاب «دستورالعمل‌هایی درباره روشهای اکتشافات ژئوشیمیائی» (۱۹۶۵)، به روشنی مشخص شده است، که عبارتند از:

۱- همزمان با بررسی نمودهایی که ویژه خصوصیات ژئوشیمیائی ناحیه‌ای سنگهای آذرین، متامورفیک و رسوبی می‌باشد، تلاشهایی نیز برای شناسایی کمپلکس‌های بالقوه کانساردار زمین‌شناسی و بدست آوردن اطلاعات ژئوشیمیائی، به منظور حل بسیاری از مسائل ژئوشیمیائی در ارتباط با ماگماتیسیم، متامورفیسیم، لیتولوژی، شرایط رسوب‌گذاری، تراز سطح فرسایش در ناحیه و جز اینها، اعمال می‌گردد. چنین بررسیهایی همراه با مطالعات زمین‌شناسی انجام می‌شود.

۲- بررسیهای لیتوژئوشیمیائی مقدماتی، بطور همزمان با بررسیهای زمین‌شناسی و در مقیاسی همانند، اساس رشته‌های پراکندگی دومین و در سیستم زهابی کنونی انجام می‌شود. برخی اوقات توصیه می‌شود که این بررسیها توأم با بررسیهای هیدروژئوشیمیائی انجام گیرد.

هدف اصلی از انجام پیش‌بینی ژئوشیمیائی ناحیه‌ای و اکتشاف مقدماتی در مقیاس معین، شناسایی و تعیین حدود ناحیه‌هایی است که قرار است مورد اکتشافات تفصیلی تر، بمنظور کشف کانیهای مورد نظر قرار

گیرند. در برخی موارد در نواحی کمتر بررسی شده ممکن است بررسیهای مقدماتی ژئوشیمیایی را که شامل نمونه گیری از رسوبات کف رودخانه در حوضه های زهاب نمی باشد، مقدم بر بررسیهای زمین شناسی انجام داد. در نواحی بدون پوشش با سیستمهای زهاب کاملاً توسعه یافته که سنگ بستر در آنها نمایان است، روش رسوبات رودخانه ای به روشهای دیگر برتری (حداقل بطور جزئی) دارد. ناحیه های بدون پوشش، شامل گستره های هسته سنگ بستر کانساردار در سطح نمایان است، یا سنگها بوسیله نهشته های آبرفتی دامن رفتی نازکی که بر آنها هاله های پراکندگی دومین نمایانند، پوشیده شده اند. این هاله ها در اثر تخریب توده های کانساری و هاله های دومین موجود در این سنگها بوجود می آیند. این شرایط عمدتاً تیبیک نواحی کوهستانی با برجستگی حدا از هم و همچنین گستره های مسطح می باشند که در آنها سنگ بستر بوسیله نهشته های نابرجا و رجا پوشیده شده است، در نواحی بدون پوشش که سنگ بستر کمتر نمایان است، بررسیهای ژئوشیمیایی به نمونه گیری از رسوبات رودخانه ای در حوضه های زهاب (حوضه آبریزها) تنها روشی است که آگاهیهای ژئوشیمیایی سیستماتیکی را درباره ناحیه مورد بررسی در اختیار می گذارد.

این روش بسیار سودمندتر از روش پرزحمت کانه های سنگین است، زیرا مجموعه ای از عناصر شاخص در رشته های پراکندگی نسبت به اجتماع کانه ها در کنسانتره های کانی سنگین، نماینده بسیار بهتری است. در نواحی منظرهای جنگلی کوهستانی آنسوی بایکال دیده می شود که روش رسوبات رودخانه ای، شناسایی و کشف آن دسته از نشانه ها و آثار معدنی را که بوسیله نمونه برداری از کانه های سنگین (حتی در نهشته های فلزات کمیاب) شده ای شده اند، ممکن می سازد (بزورخنی، ۱۹۶۸). کاربرد توأم این روشها در جستجو برای طلا و پلاتین توصیه می شود.

نمونه برداری از سنگ بستر نمایان در نواحی بدون پوشش، دارای نقشی کمکی است که به عنوان سرچشمه آگاهیهای ژئوشیمیایی اضافی برای شناخت الگوهای توزیع عناصر شاخص در انواع سنگها مورد استفاده قرار می گیرد و دیدگاه اکتشافی و یا زمین شناسی دارای سودمندی ویژه ای است. در هر صورت، همه سازندهای بالقو، کانساردار، که در طول مسیر مورد بررسی به آنها برخورد می شود، بایستی نمونه برداری شوند. این سازندها شامل زونهای کانی سازی، زونهای گسلی، سنگهای دگرسان شده، رگها و جز اینها هستند. ممکن است ثابت شود که این سازندها، آثار معدنی جالب توجه یا هاله های ژئوشیمیایی نخستین مربوط به کانی سازی امیا، بخش نهفته، باشند. بهر حال بطور کلی، بررسیهای ژئوشیمیایی (ناحیه ای) کوچک-مقیاس در سنگ بستر، آگاهیهای ارزشمندی را در مورد خصوصیات ژئوشیمیایی کمپلکس های زمین شناسی فراهم می سازد. با این همه هنگامی که این روش در بررسیهای کوچک-مقیاس بکار می رود، نمی تواند وسیله ای برای شناسایی هاله های ژئوشیمیایی نخستین یا دومین نهشته های معدنی، در گستره مورد بررسی باشد. در عین حال، اکتشاف ژئوشیمیایی با استفاده از رسوبات رودخانه ای، این امکان را فراهم می دارد که هم در مورد خصوصیات ژئوشیمیایی انواع گوناگون سنگها و هم وجود ناهنجاریهای ژئوشیمیایی در مناطقی که ممکن است هاله های نخستین و یا دومین نهشته های معدنی موجود باشند، داوری گردد.

بررسیهای ژئوشیمیایی با استفاده از سنگ بستر، هنگام اکتشافات مقدماتی در نواحی بدون پوشش، اهمیت بیشتری می یابد و حتی در زمانی که نمونه برداری از رسوبات رودخانه ای بدلا یلی دشوار باشد، نقش اصلی را به عهده می گیرد. چنین شرایطی معمولاً در نواحی خشکی برقرار است که تلفیق کامل بررسیهای ژئوشیمیایی بوسیله نمونه برداری از رسوبات رودخانه ای و سنگ بستر، بطور ویژه ای موثر است. نمونه برداری از رسوبات رودخانه ای در نواحی کوهستانی که سرعت جریان آب زیاد است ممکن است با دشواریهای همراه باشد. در سازمان دهی به اکتشافات ژئوشیمیایی (ناحیه ای) کوچک-مقیاس در نواحی کوهستانی جدا از هم، این موضوع را بایستی یادداشت.

در نواحی هموار با رخنمونهای کم و با سیستم های رودخانه ای که توسعه کمی یافته، به کمک نمونه برداری هیدروژئوشیمیایی از چاهها و چشمه ها، توأم با نمونه برداری از کف رودخانه ها می توان آگاهیهای زیادی بدست آورد.

در نواحی پوشیده که سنگ بستر بوسیله سری ضخیمی از رسوبات نابرجا پوشیده شده است، و مکانهایی که رودخانه ها سنگ بستر را نمایان نمی کنند، در بسیاری از موارد، روش رسوبات رودخانه ای موثر نیست.

تتها منبع اطلاعات ژئوشیمیایی مکفی دیگر، در طول بررسیهای کوچک-مقیاس در نواحی پوشیده، مغزه های است که در بررسیهای ژئوشیمیایی در گستره، از بررسیهای نقشه برداری گمانه های حفر شده در شبکه ای وسیع، بدست می آیند. در نتیجه، نقشه برداری ژئوشیمیایی با استفاده از سنگ بستر در نواحی پوشیده، روش اصلی محسوب می شود و امکان ارزیابی عملیات اکتشافی و هدایت آن را فراهم می کند. این امر بر پایه نموده های ژئوشیمیایی سنگهایی است که از گمانه ها بدست می آیند. بنابراین امکان می دهد که اکتشاف را در منطقی ترین راه هدایت نمود.

امکان ارزیابی مقدماتی توان کانساری در نواحی پوشیده، بر اساس نتایج حاصله از بررسیهای ژئوشیمیایی نمونه های مغزه ای حاصل از گمانه ها، بطور شایان توجهی سبب افزایش کارایی اکتشاف در نواحی پوشیده شده و کاهش مقدار حفاریهای لازم در مراحل بعدی اکتشاف می گردد. اکتشاف کانسارهای مس-نیکل مرتبط با پشته های سنگهای اولترابازیک در گستره های پلاتفرم قدیمی پوشیده، می تواند مثال خوبی باشد. پشته های سنگهای اولترابازیک-بازیک که در زیرسری ضخیمی از نهشته های نابرجا قرار دارند، در بررسیهای ژئوفیزیکی بطور موفقیت آمیزی مشخص شده اند. با اینهمه، وجود کانسار در هر یک از پشته های فوق تنه ای کمک حفاریهای ژرف سیستماتیکی که پشته ها را قطع کند، فراهم می شود، مگر آنکه روشهای ژئوشیمیایی بکار برده شوند. امکان ارزیابی توان کانساری در پشته ها بر پایه اطلاعات بدست آمده از بررسیهای ژئوشیمیایی که روی نمونه های مغزه ای گرفته شده از گمانه های مجزا اعمال می شود، امکان کاهش شمار حفاریهای اکتشافی و تمرکز عملیات حفاری در پشته های کانساردار و کمپلکس ها را فراهم می نماید. نمونه های جمع آوری شده در یک برنامه اکتشافات ژئوشیمیایی (ناحیه ای) کوچک-مقیاس از رسوبات رودخانه ای در حوضه های زهاب (آبریز)، و نیز از سنگ بستر، پس از آماده سازیهای لازم برای اندازه گیری تعداد زیادی از عناصر شیمیایی، مورد تجزیه قرار می گیرند. (برای آماده سازی نمونه ها به «دستورالعمل های



جدول ۵۷. عناصر شاخص کانسارهای با ترکیبهای گوناگون

عناصر شاخص اضافی قابل شناسایی بوسیله روشهای ویژه	عناصر شاخص اصلی قابل شناسایی بوسیله روش اسپکتروگرافی نشری نیمه کمی	نوع ذخیره (کانسار)
S	Cu, Ni, Co, Zn	مس - نیکل در سنگهای بازیگ و اولترابازیک
Li, Cs, Rb, F	Be, Sn, Nb, Ta, W	اپلوگرنیت‌های فلزات کمیاب و پگماتیت‌ها
Li, Rb, F	Be, Sn, W, Mo, Bi	قلع - تنگستن با خامسگاه کوارتز - گرایزن
U, P	Nb, Zr	کربونات‌های فلزات کمیاب
—	W, Mo, Sn, Cu, Be, Bi	تنگستن - مولیبدن در اسکارنها
—	Bi, Cu, Pb, Zn	بیسموت در اسکارنها
—	Sn, Sb, Pb, Cu, Ag, Zn	سولفور قلع
—	Pb, Zn, Cu, Ag, Ba	پلی متالیک
Au	Sb, As, Ag	کانسار طلا
—	Cu, Zn, Mo, W, As, Sb	مس پرفیری
—	Cu, Pb, Zn, Ag, Mo	مس
U	Pb, Mo, Zn, Ag, Cu	اورانیم گرمایی
Hg	As, Sb, Ba	آنتیموان - جیوه و جیوه
—	Sr	سلستین
P	—	فسفریت‌ها
Li, Cs, Rb, Au	Be, Sn, Mo, W, Nb, Zr, Bi,	فهرست عمومی
Hg, U, F, S, P	Ta, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Ag,	
	Sb, As, Ba, Sr	

ژئوشیمیایی گستره‌ای احتمالی، می‌باشند. ممکن است نشانه‌هایی برای بررسیهای تفصیلی‌تر بر مبنای الگوهای توزیع مقادیر ناهنجار عناصر شاخص در رسوبات رودخانه‌ای، بدست آید. در ناحیه‌هایی که نقشه‌برداری ژئوشیمیایی به کمک نمونه‌های سنگ بسترانجام شده است، نقشه‌های حاصل نشان‌دهنده پشته‌ها و کمپلکس‌های سنگی نیز هستند. که بر حسب ویژگیهای ژئوشیمیایی، می‌توانند شاخص نوعی از کانی‌سازی کانساری امیدبخش باشند و از اینرو، در خور اکتشاف مفصل‌تری هستند. تجارب گردآوری شده از سراسر دنیا در طول دهه اخیر، نشان می‌دهد که بررسیهای ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ برای اکتشافات ژئوشیمیایی (ناحیه‌ای) کوچک. مقیاس بهترین، بحساب می‌آیند.

نقشه‌برداری زمین‌شناسی و اکتشاف در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

اکتشافات ژئوشیمیایی با این مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از نقشه‌های با مقیاس یاد شده (۱:۲۰۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰) از این نظر متفاوت است که در این مورد نقشه‌برداری ژئوشیمیایی بر پایه رسوبات رودخانه‌ای (یا سنگ بستر)، تفصیلی‌تر است. افزون بر این، در این مقیاس بررسیهای ژئوشیمیایی گستره‌ای با هدف

بر روشهای اکتشافات ژئوشیمیایی (۱۹۶۵)» مراجعه شود).

به دلیل آنکه امکان دارد نهشته‌های کانساری دارای ترکیبات مختلف و هاله‌های چند عنصری که نهشته‌های معدنی بیشماری را همراهی می‌کنند، در گستره مورد بررسی گسترش یافته باشند، تجزیه شمار زیادی از عناصر ضروری است. به این دلیل و نیز به علت زیاد بودن مقدار نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشته شده، ارزاترین روشهای تجزیه‌ای، مورد نیاز است. روش نیمه کمی اسپکتروگرافی نشری برای اینکار بهترین روش، معرفی می‌گردد.

فهرست عناصری که نمونه‌های ژئوشیمیایی بایستی برای اندازه‌گیری آنها مورد تجزیه قرار گیرند، در درجه اول بستگی به نموده‌های متالوژنتیکی ناحیه مورد پژوهش دارد و بایستی تا آنجا که ممکن است، عناصر شاخص اصلی را که تیپومورف سازندهای کانساری در ناحیه هستند، در برگرد. نمونه‌ها بایستی برای عناصر شاخص انواع دیگری از کانی‌سازی که قبلاً در ناحیه کشف نشده‌اند، مورد تجزیه قرار گیرند.

کواپاتکوفسکی<sup>۱</sup> (و دیگران، ۱۹۷۲)، که مجموعه عناصر شاخص توصیه شده برای اکتشاف ژئوشیمیایی را بررسی نموده است، یادآور شده، که حداقل یکی از عناصر معرف اصلی که در فهرست زیر آمده است، در عمل همیشه به مقدار زیادی در کانسارهای هر نهشته و کانی اندوژنیک وجود دارد این عناصر شاخص عبارتند از: بریلیم، فلئوئور، گوگرد، وانادیم، کروم، نیکل، مس، آرسنیک، مولیبدن، قلع، جیوه، سرب، اورانیم.

جدول ۵۷، فهرست کاملتری از عناصر شاخص را ارائه می‌دهد. این فهرست بطور عمده عناصری را در بر می‌گیرد که بوسیله روش اسپکتروگرافی نشری نیمه کمی می‌توانند اندازه‌گیری شوند. تنها شمار کمی از عناصر احتیاج به روشهای تجزیه ویژه پر زحمت‌تری دارند. این عناصر شامل قلیائیهایی کمیاب و فلئوئور که شاخص نهشته‌های فلزات کمیابند و نیز طلا، اورانیم و جیوه که شاخص‌های مستقیم کانسارهای طلا، جیوه و اورانیم هستند، می‌باشند. تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی برای عناصری که بوسیله روش اسپکتروگرافی نشری قابل شناسایی هستند، ضروری است. از سوی دیگر، تجزیه عناصر قلیایی کمیاب، فلئوئور، اورانیم، جیوه، طلا، گوگرد و فسفر می‌توانند تنها در مورد نمونه‌هایی انجام گیرد که تجزیه اسپکتروگرافی نشری وجود تمرکز ناهنجار عناصر شاخص دیگر را در این گسترهها و این نوع کانسارها تأیید کرده باشد (جدول ۵۷).

بررسیهای ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ را بهتر است توأم با بررسیهای ژئوفیزیکی هوایی و زمینی در مقیاسهای مربوطه انجام داد. این امر بویژه در نواحی پوشیده‌ای که نمونه‌های مغزه‌ای بدست آمده از گمانه‌ها، تنها منبع اطلاعاتی ژئوشیمیایی بحساب می‌آیند، اهمیت دارد، در این شرایط، بررسیهای ژئوفیزیکی بایستی پیش از حفاریهای باشد که به منظور نقشه‌برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر انجام می‌شود.

نتیجه نقشه‌برداری ژئوشیمیایی و اکتشافات در مقیاسهایی از ۱:۲۰۰۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه نقشه‌های پیش‌بینی (پیش‌گویی).- زمین‌شناسی ژئوشیمیایی است که مسیر بعدی اکتشاف در ناحیه را تعیین می‌کند. این نقشه‌ها قبل از هر چیز نشان‌دهنده گستره‌هایی است که سزاوار بررسیهای تفصیلی‌تر برای کشف ناهنجاریهای

1- Kvyatkovskii

نمایان سازی هاله، ای ژئوشیمیایی نخستین و دومین که در اطراف نهشته‌های کانساری و در نواحی امیدبخش موجودند انجام می‌شود.

انواع روشهای ژئوشیمیایی بکار رفته در این موارد، بطور کلی بستگی به شرایط منظر ژئوشیمیایی در ناحیه مورد بررسی و بویژه نسبت مساحت ناحیه نمایان به مساحت ناحیه نهفته دارد. در شرایط معینی، هنگامیکه کاربرد روشهای لیتوژئوشیمیایی موثر در این مرحله از اکتشاف مردود شناخته شده باشند، امکان دارد که بررسیهای ژئوشیمیایی و نیز هیدروژئوشیمیایی بوسیله نمونه برداری از آبهای سطحی در ناحیه‌های امیدبخش انجام گیرد.

چنین شرایطی گاهی اوقات در ناحیه‌های خشکی بروز می‌کند، که سنگ بستر بوسیله ماسه‌های منتقل شده از مسافتهای ور، پوشیده شده باشد و همچنین در زمینهای باتلاقی و جنگلی که ضخامت رسوبات و خاکها طوری است که ریشه‌های درختان می‌توانند به سنگ بستر یا حداقل به منطقه آب و هوازدگی برسند. برای مثال، اقا<sup>۱</sup> در بیابانهای افریقای شمالی، همچنین ساکسول<sup>۲</sup> و برخی انواع دیگر گیاهان بیابانی در ناحیه‌های خشک سیای مرکزی، در مواقعی که نمونه برداری از رسوبات رودخانه‌ای دشواریهای را در بردارد، می‌توانند استفاده قرار گیرند. روشهای بیوژئوشیمیایی را بطور موفقیت آمیزی می‌توان در نواحی پوشیده و با قوی در سپر بلورین اوکراین در آنسوی بایکال خاوری و نواحی دیگر، بکار برد.

نمونه برداری هیدروژئوشیمیایی از چاهها و چشمه‌ها، در برخی موارد، تنها منبع اطلاعات ژئوشیمیایی در شرایط ویژه نواحی خشک هموار و نیمه خشکی است که بوسیله نهشته‌های نابرجای سخت نشده به ضخامت ۱۰ تا ۱۵ متر پوشیده شده‌اند.

نمونه برداری کولتری از رشته‌های پراکندگی که دارای مقادیر ناهنجاری از عناصر شاخص در رسوبات رودخانه‌ای هستند، برای تعیین حدود گستره‌هایی که سرچشمه عناصر شاخص می‌باشند، کمک موثری است. بررسیهای گترای که نمونه برداری در شبکه‌ای مناسب با اهداف اکتشاف صورت می‌گیرد، در نواحی امیدبخشی که بدین نحو مشخص می‌شوند، اجرا می‌گردد. در این مورد، هدف از نمونه برداری گستره‌ای، آشکار ساختن ناهنجاریهای ژئوشیمیایی نخستین و دومین (بسته به وسعت ناهنجاری) است، بطوریکه بتوان در آینده آنها را مورد بررسیهای تفصیلی‌تر قرار داد. بمنظور اطمینان از ارزش زیاد نمونه‌های مجزایی که در این مرحله از اکتشاف و در این مقیاس برداشته شده‌اند (که تقریباً نمونه برداری کم تراکمی است)، به کاربردن روشهای تجزیه‌ای نیز آماده سازی نمونه بنحویکه سبب افزایش ناهنجاریهای ضعیف شوند، ضروریست. این روشها در درجه اول بایستی شامل هاله‌های مرکب (جمعی و ضربی) که پیش از این در این کتاب مورد بحث قرار گرفته‌اند، باشد. کاربرد این روشها بویژه برای تهیه چهارچوب نقشه‌های پیشگویی ژئوشیمیایی در پی سنگ کانساردار در نواحی پوشیده اهمیت دارد، زیرا ناهنجاریهای تک عنصری نامشخص و محدود، عملاً برای این منظور بی‌نایده‌اند.

روش تجزیه اتمی از دانه‌بندیهای (اجزای) مختلف، بویژه دانه‌بندیهای مختلف کانیهای سنگین،

1- Acacia

2- Saxaul

ممکنست در افزایش سودمندی نقشه‌های چاههای حفاری در نواحی پوشیده‌ای با متالوژنی خاص (ناحیه‌های امیدبخش برای سولفیدها، قلع یا دیگر نهشته‌های معدنی (کانسارها) بطور موفقیت آمیزی بکار رود.

تجزیه نشان داده است که نمونه برداری ژئوشیمیایی سازندهای زمین شناسی بالقوه کانساردار، که در بررسیهای ژئوشیمیایی در نواحی بدون پوشش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ انجام شده است، امکان کشف وسیع‌ترین ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، تعیین طبیعت آنها در حد معینی از اعتبار (ارتباطشان با انواع سازندهای کانساری مختلف)، تراز تقریبی سطح فرسایش نسبت به نهشته‌های کانساری ممکن و غیره، را فراهم می‌کند. انجام اکتشافات با جزئیات بیشتر (در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰) در هر یک از گستره‌های امیدبخشی که در اکتشافات ژئوشیمیایی ناحیه‌ای شناسایی شده‌اند، سودمند است. در این مرحله از اکتشاف، روشهای ژئوشیمیایی همراه با بررسیهای ژئوفیزیکی ناحیه‌ای بکار می‌روند.

نقشه برداری ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه نقشه‌های پیشگویی زمین‌شناسی-ژئوشیمیایی مربوطه را ممکن می‌سازد. این نقشه‌ها ناهنجاریهای ژئوشیمیایی نخستین و دومین (از جمله بیوژئوشیمیایی و هیدروژئوشیمیایی) را که در خلال اکتشافات مشخص شده‌اند، و همچنین پشته‌های سنگهای آذرین و کمپلکس‌های زمین شناسی رسوبی و متامورفیکی را که ممکنست از نظر مشخصات ژئوشیمیایی امیدبخش باشند، نشان می‌دهند.

### بررسیهای تفصیلی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ - ۱:۱۰۰۰۰ یا بزرگتر

بررسیهای ژئوشیمیایی تفصیلی بر اساس نتایج بدست آمده از بررسیهای ژئوشیمیایی در مقیاس کوچکتر، برنامه‌ریزی شده است و در گستره‌هایی که در مراحل قبلی اکتشاف امید بخش تشخیص داده شده‌اند، به اجرا در می‌آیند. اکتشاف ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ - ۱:۱۰۰۰۰ یا بزرگتر ممکنست برای بررسیهای سیستماتیک در گستره‌هایی که قبلاً امیدبخش تشخیص داده شده‌اند، به منظور تعیین حدود و ارزیابی آزمایشی همه ناهنجاریهای ژئوشیمیایی موجود در ناحیه، توصیه شوند. روشهای اکتشاف لیتوژئوشیمیایی، با استفاده از هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین و دومین همراه با روشهای بیوژئوشیمیایی و هیدروژئوشیمیایی با توجه به شرایط منظر-ژئوشیمیایی در ناحیه، بکار می‌روند. روش اصلی که در مرحله اکتشافات ژئوشیمیایی تفصیلی بکار می‌رود، نمونه برداری سیستماتیک از سطح در شبکه‌ای معین می‌باشد، و پارامترهای این شبکه به صورتی انتخاب می‌شوند که درک کاملی از نمودهای (سیمای) ژئوشیمیایی ناهنجاریهای توسعه یافته در گستره‌ای که نقشه برداری در آن انجام می‌شود را بدست دهند.

در گستره‌های که سنگ بستر به اندازه کافی نمایان شده است، بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین، مفید و موثرند.

مسائل اصلی که در زیر می‌آید، ممکن است بطور پی در پی بوسیله تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی کشف شده در سنگ بستر، حل گردد.

**تعیین سرشت تشکیلی (ترکیب) ناهنجاریها**

در بسیاری موارد، بابشمار آوردن نمونه‌های متالوژنیک ناحیه مورد سؤال (نوع نهشته‌های کانی

موجود در ناحیه) همچنین نتایج مشاهدات کانی‌شناسی که در خلال نمونه‌برداری ژئوشیمیایی یا بهنگام بررسی‌های بعدی ناهنجاریها در روی زمین انجام می‌گیرد، این مسائل حل می‌شود (حضور اجتماعی از کانیها که تیومورف انواع ویژه‌ای از نهشته‌های کانی می‌باشند، غیره). همچنین روش قیاسی نیز اعمال می‌گردد، در این روش، مقایسه با ناهنجاریهایی صورت می‌گیرد که بوسیله هاله‌هایی از نهشته‌های معدنی نظیر، در ناحیه آشکار شده‌اند. اگر چنین نهشته‌های کانی (معدنی) موجود نباشد، ممکنست از ردیفهای زون‌بندی عرضی عناصر شاخص، استفاده نمود.

#### ارزیابی موقعیت سطح فرسایش ناهنجاریهای ژئوشیمیایی

ارزیابی موقعیت سطح (تراز) فرسایش، عامل مهمی در تفسیر یک ناهنجاری ژئوشیمیایی است. بخصوص، منظور تراز سطح فرسایش ناهنجاری نسبت به توده کانساری است که با آن در ارتباط می‌باشد. به آسانی دیده می‌شود که در حالت کلی، این تراز با تراز سطح فرسایش در گستره مورد بررسی منطبق نخواهد بود. آرایش پلکانی توده‌های معدنی در مقطع عرضی ممکن است مسئول مواردی باشد که هاله‌های ژئوشیمیایی فوق کانساری در گستره‌ای با ژرفای حداکثر نسبت به سطح فرسایش (بر روی کانی‌سازی ناپیدا) فاصله زیادی داشته باشد، در حالیکه در گستره‌های دیگر ممکن است هاله‌هایی وجود داشته باشد که بوسیله عناصر موجود در زیر توده‌های کانساری تشکیل شده‌اند (سطح فرسایش ژرف ناهنجاریها).

زون‌بندی قائم هاله‌های نخستین، که قبلاً به تفصیل مورد بحث قرار گرفت، در ارزیابی موقعیت ناهنجاری ژئوشیمیایی نسبت به سطح فرسایش بکار می‌رود. این بررسیها معمولاً ناهنجاریهای پیچیده‌ای را آشکار می‌کنند که نتیجه انطباق فضایی هاله‌هایی است که توده‌های کانساری مجزا را کم و بیش به صورت فضایی همراهی می‌کنند تراز سطح فرسایش هر توده ویژه‌ای ممکن است بطور مشخص متفاوت باشد. در نتیجه ناهنجاریهای احتمالی ابتدائی (ناهنجاریهای مربوط به هریک از توده‌های کانساری) بایستی در ناهنجاریهای کلی شناسایی شوند. پس از این بایستی، تراز سطح فرسایش در هر ناهنجاری بصورت مستقل ارزیابی شود. ناهنجاریهای ابتدایی معمولاً بر اساس محل ظهور عناصر شاخص (مرکز ناهنجاریها) که بدو تشکیل‌دهنده‌های اصلی کانی‌سازی نیز محسوب می‌شوند به آسانی قابل شناسایی هستند. این روش مرحله بمرحله برای تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، ضروریست، زیرا که هاله‌های تشکیل شده در زیر توده‌های کانساری، یا در تراز بخشهای ریشه‌ای توده‌هایی که در عمل بطور کامل فرسایش یافته‌اند، بیشتر در مجاورت تنگاتنگ کانی‌سازی ناپیدا یا کمی فرسایش یافته، دیده می‌شوند.

#### بحث

نتایج نمونه‌برداری از سنگ بستر در ناحیه‌هایی که مساحت رخنمونها محدود است، اغلب، شدت و دیگر نمودهای ویژه هاله‌های نخستین رانادرست می‌نمایاند. تخریب شدید سنگ بستر و تشکیل طبقات سخت شده در ابتدا در مناطقی که از نظر تکنیکی بطور ویژه‌ای فعالند و همچنین در نواحی دگرسان شده رخ می‌دهد. چنین ناحیه‌هایی معمولاً دارای سازندهای زمین‌شناسی بالقوه فلز دارند. در چنین مواردی، هاله‌های

نخستین ممکن است بطور جزئی و یا کامل، بوسیله نهشته‌های سخت نشده، پوشیده شده باشند و در صورتیکه نمونه‌برداری تنها از سنگ بستر انجام شده باشد، امکان دارد این هاله‌ها در معرض دید قرار نگیرند. در نتیجه در هنگام اکتشاف در مقیاس یاد شده در بالا در گستره‌هایی که سنگها بمقدار جزئی نمایان شده‌اند، توصیه می‌شود که ابتدا نمونه برداری از نهشته‌های آبرفتی- دامن‌رفتی، به منظور آشکار سازی، تعیین حدود و بررسی هاله‌های پراکندگی دومین بصورت گستره‌ای (پهنه‌ای)، انجام شود. هنگامی که سنگهای جامد و سخت نشده هر دو در گستره‌هایی که بمقدار جزئی نمایان شده‌اند، نمونه‌برداری می‌شوند، روش به اصطلاح نمونه‌برداری «گستره‌ای- ژئوشیمیایی تلفیقی» درست نیست. در اینصورت نمونه‌برداری گستره‌ای از مواد سخت نشده را می‌توان با نمونه‌برداری از سنگ بستر، و تنها در امتداد برخی از پروفیل‌ها، همراه نمود. هاله‌های نخستین و دومین بایستی با در نظر گرفتن پارامترهای توزیع زمینه‌ای عناصر شاخص برای سنگ بستر و نهشته‌های سخت‌نشده، شناخته و مقایسه شوند، زیرا که مقادیر این پارامترها معمولاً بطور شایان توجهی مختلفند.

نمونه‌برداری سیستماتیک از نهشته‌های سخت نشده، با بکار بردن یک شبکه معین، نیز یک روش اکتشافی اصلی در گستره‌های با رخنمون کم و یا کاملاً پوشیده شده‌ایکه شرایط منظر- ژئوشیمیایی آن، وجود هاله‌های پراکندگی دومین جامانده نمایان یا بر نهادهای را پیشنهاد می‌کند، محسوب می‌شود. در این مورد، نمونه‌برداری بمنظور کسب اطلاعات ژئوشیمیایی لازم انجام می‌شود تا نوع و نحوه ارتباط هر ناهنجاری ژئوشیمیایی سوپرژن را، در حداقل قبولی میسر سازد. در مورد ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که گسترش زیادی در سطح پیدا نکرده‌اند و یا در ژرفا مدفونند، روشهای بیوژئوشیمیایی بکار می‌رود. این روشها، دامنه ژرفای بررسیها را گسترش می‌دهند. نمونه‌برداری هیدروژئوشیمیایی از آبهای سطحی نیز بکار گرفته می‌شود. در هر حال بر طبق قاعده‌ای کلی، آگاهیهای بدست آمده به کمک این روشها در مرحله اکتشاف تفصیلی، اعتبار چندانی ندارد. بنابراین، بررسیهای لیتوژئوشیمیایی ژرف در گستره‌های امید بخش پوشیده‌ای که در مراحل قبلی اکتشاف آشکار شده، روش اصلی در بررسی ژئوشیمیایی تفصیلی محسوب می‌گردد. هنگامیکه این پژوهشها در حال انجام است، بسیار اهمیت دارد که روشهای ویژه‌ای بکار رود تا بتوان آگاهیهای هر چه بیشتری از گمانه‌ها بدست آورد. با بکار بردن روش یاد شده در بالا برای جمع‌بندی هاله‌های عناصر شاخص می‌توان به این مهم دست یافت.

نتایج بررسیهای ژئوشیمیایی تفصیلی، اغلب مبنایی است برای اجرای حفاری مقدماتی. بنابراین در این مرحله استفاده از هر دو روش ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی بطور توأم، تاثیر ویژه‌ای دارد. روشهای ژئوفیزیکی، که عموماً شامل تغییر و تبدیلهای گوناگون بررسیهای الکتریکی است، این امکان را می‌دهد که پارامترهای بهینه (اپتیمم) گمانه‌ها و کارگاههای معدنی را بطور دقیقتری تعیین نمود، همچنین منطقی‌ترین محلها را برای حفر گمانه‌ها انتخاب کرد. امکان آشکارسازی نمودهای ساختاری در گستره‌های امیدبخش پوشیده به کمک روشهای ژئوفیزیکی بایستی تا آنجایی که ممکن است در هنگام بکار بردن روشهای ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی به منظور پژوهش تفصیلی ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، بطور توأم اعمال گردد.

مرحله تفصیلی اکتشاف ژئوشیمیایی پس از کنترل ناهنجاریهای ژئوشیمیایی که ممکن است آشکار شوند، کامل می‌گردد. در مورد هاله‌های نخستین نمایان، توصیه‌هایی که برای اکتشافات بعدی می‌شود بر پایه دانسته‌هایی است که مربوط به پیوستگی ارتباط سازندی و تفسیر منطقه‌بندی ژئوشیمیایی هاله بمنظور ارزیابی تراز سطح فرسایش است. مورد دوم یعنی تفسیر زون‌بندی ژئوشیمیایی هاله، که خود از تفسیر نمودهای پاراژنتیکی عناصر شاخص در یک هاله ژئوشیمیایی اندوژنیک ناشی می‌شود نیز بایستی برای تعیین موقعیت کانسار آشکار شده اکتشاف، ارزیابی شود. مثالهایی که تاثیر این ارزیابی را روشن می‌سازد، پیش از این در این کتاب مورد بحث قرار گرفته است.

در تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی سوپرژن، شرایط منظر-ژئوشیمیایی در ناحیه مورد بررسی، بایستی بطور کامل تجزیه و تحلیل شوند. این شرایط، اغلب نقش راهتما را در الگوی توزیع عناصر و پاراژنتزهای عناصر شاخص، هاله‌های پراکندگی دومین ایفا می‌کنند. در موارد پیچیده‌ای ممکن است معلوم شود که نمودهای بخش توزیع عناصر شاخص در حوزه پراکندگی سوپرژن نشان، امکان تعیین خاستگاه ناهنجاریهای ژئوشیمیایی را به اعتبار کافی ارائه نمی‌دهند. در چنین مواردی، ممکن است به نتایج نمونه‌برداری از سنگ بستر در امتداد بخش پروفیل‌ها (بخشی در گستره‌های نمایان) یا به نتایج حاصل از نمونه‌برداری در رخنمونهای مصنوعی (گودالها) احتیاج باشد. پیش از این یادآوری شد که معیارهای منطقه‌بندی قائم هاله‌های نخستین، ممکن است در تفسیر ناهنجاریهای ژئوشیمیایی سوپرژن بکار روند، بشرط آنکه میان هاله‌های پراکندگی نخستین و دومین عناصر شاخص همبستگی رضایت بخشی (قبلاً تعیین شده) برقرار شده باشد. در این رابطه، بررسی ناهنجاریهای دومین در خاکها و نهشته‌های آبرفتی-یخچالی در این مرحله از اکتشاف ضروری است. این بررسیها بایستی با حفر چاهکهای اکتشافی یا گمانه‌های کم ژرفا همراه باشد. منظور از این حفاریها این است، که معلوم شود آیا ناهنجاری موردنظر یک هاله پراکندگی دومین است یا یک کانسار (یا هاله اندوژنیک آن) پیوستگی ارتباط سازندی آن به روشنی تعیین شود.

با نمونه‌برداری از سنگ بستری که بوسیله کارگاههای معدنی حفر گمانه‌ها آشکار نشده بود و نیز با بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی اندوژنیک، دانسته‌های بدست آمده از هاله‌های پراکندگی دومین مورد تأیید قرار گرفت. مورد آخر (بررسی هاله‌ها) بویژه در صورتی اهمیت پیدا می‌کند که ناهنجاری آشکار شده در نهشته‌های سست شده، به سبب تخریب هاله اندوژنیک یک توده کانساری نهفته، باشد.

بررسیهای ژئوشیمیایی تفصیلی، تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی هاله‌ها در مقیاسهای مربوط رابدنبال دارد. در راستای کارگاههای معدنی یا گمانه‌ها، محلهایی که ناهنجاری یافت شده است، از هاله‌ها مقاطع عرضی نیز تهیه می‌شود. این شواهد نیز تجزیه و تحلیل دانسته‌های ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی، به عنوان مبنایی برای ارائه پیشنهادها و ویژه برای عملیات معدنکاری یا حفاری، به منظور کنترل ناهنجاری کشف شده و آشکارسازی توده کانساری، بکار می‌روند.

### مرحله حفاری در اکتشافات معدنی

همانطور که می‌دانیم حفاری بسیار پر هزینه است. از اینرو، گسترش روشهایی که بتواند کارائی آن را

افزایش دهد ضروری است. بررسیهای اخیر نشان داده است که یکی از امیدبخش‌ترین راههای افزایش کارائی حفاری، اجرای عملی روشهای ژئوشیمیایی و پیش از هرچیز بررسی هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین است. در این مرحله از اکتشاف ژئوشیمیایی، نقش هاله‌های نخستین افزایش می‌یابد، و این امر به سبب این واقعیت است که عملیات حفاری، توده‌های کانساری رانمایان نموده و شرایط مساعدی را برای موارد زیر بوجود می‌آورد:

۱- بررسی سه بعدی هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین،

۲- تعیین نمودهای گسترش آنها در فضا،

۳- ارزیابی ذخیره (توان) کانسار در گستره‌هایی خاص.

در این مرحله از اکتشاف، روشهای ژئوشیمیایی را می‌توان برای حل مسائل گوناگون دیگر در اکتشاف برای کانسار بکار برد. شماری از آنها در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

### ارزیابی توان کانسار (کانساری) در زون‌های فلزداری که برای اکتشافات تفصیلی در ژرفا توصیه شده است

حل این مساله به تعیین تراز سطح فرسایش در زون‌های کانساردار مورد بررسی، بستگی دارد. به بیان دیگر، دانستن آنکه چه بخش‌هایی از این زون‌ها (بالایی، میانی یا ریشه‌ای) در سطح نمایان شده است، ضروری است. بطور عملی، جواب به این مساله، اساساً همانند ارزیابی توان کانساری است که در بالا به تفصیل مورد بحث قرار گرفت. لازمست تأکید شود که بررسیهای تفصیلی در چنین زون‌های کانه‌داری، با هزینه‌های شایان توجهی همراه است، زیرا که ارزیابی سه بعدی منابع کانساری مورد اکتشاف در ژرفا بایستی بسیار معتبر باشد. از این رو، ضروری است که نمونه‌برداری ژئوشیمیایی تفصیلی از سنگ بستر (گستره‌ای) در گستره‌های توصیه شده برای حفاری انجام شود.

مثالهای ویژه‌ای از ارزیابی توان کانساری در ژرفا، با استفاده از نتایج نمونه‌برداری از سنگ بستر در سطح، پیش از این در این کتاب، مورد توجه قرار گرفته است (مباحث مربوط به گستره‌های میدنتل<sup>۱</sup> و کامزاک-مرض بلاغ<sup>۲</sup> در شکل‌های ۵۸ تا ۶۰).

این مثالها و نیز مثالهایی دیگر، نشان می‌دهد که نمونه‌برداری ژئوشیمیایی مقدم بر اکتشافات تفصیلی، می‌تواند به مقدار زیاد در ارزیابی دقیق توان کانساری شرکت نماید و نیز ممکن است هزینه‌ها را به مقدار زیادی کاهش دهد. زیرا که آثار معدنی عمیقاً فرسایش یافته را از حفاری پرهزینه بی‌نیاز می‌سازد.

### اکتشاف کانی‌سازی ناپایداری

چنانکه پیش از این بحث شد، آرایش پلکانی توده‌های کانساری درون یک زون فلزدار به این معنی است که توده کانساری (منطقه کانساری) که در یک پروتزد ظاهر می‌شود، در مرحله حفاری در اولویت قرار می‌گیرد، تنها توده کانساری در منطقه نیست و ممکن است با توده‌های ناپایداری همراه باشد که شناسایی و

1- Maidantal

2- Kamazak- Marazbulak

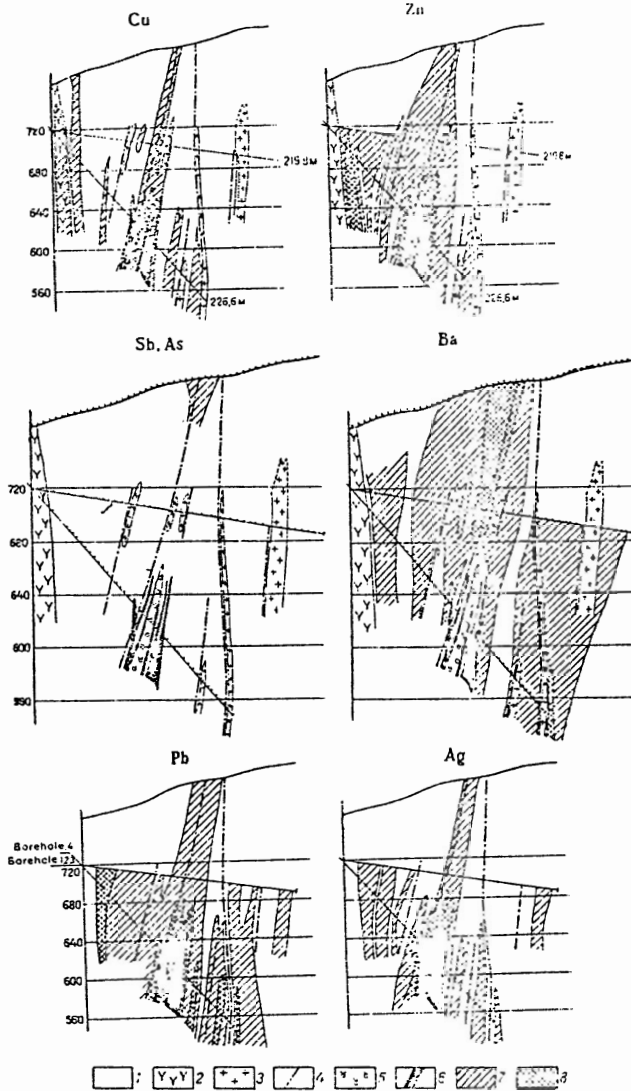
اکتشاف موفق آنها، کارآیی اکتشاف را در کل بطور شایان توجهی افزایش دهد.

نمونه برداری ژئوشیمیایی از کارگاههای معدنی و گمانه‌ها، که در هنگام اکتشاف برای زون‌های فلزدار شناخته شده پیشین حفر شده‌اند، امکان کشف هاله‌های نخستین را نه تنها در زون‌های شناخته شده در حال اکتشاف (برای ارزیابی توان کانسار در ژرفا)، فراهم می‌سازد، بلکه کشف هاله‌هایی را که مربوط به توده‌های کانساری ناپیدا (کور) که در زیر یا مجاور نهشته‌های شناخته شده قرار گرفته‌اند را نیز ممکن می‌سازد. به بیان دیگر، نمونه برداری ژئوشیمیایی در کارگاههای معدنی و مغزه‌های بدست آمده از گمانه‌ها، افزایش درخور ملاحظه دامنه موثر اکتشاف را ممکن می‌سازد.

نتایج حاصل از نمونه برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر در سطح کانسار (نهشته معدنی) اسکارن-پلی متالیک کوروسایی شمالی II، مثال تیبیکی است که مطلب بالا را روشن می‌نماید. در این گستره، بدون مشاهده نشانی از کانی‌سازی کانساری یک ناهنجاری از عناصر شاخص، به همراه ناهنجاریهایی که برونزدهای شناخته شده از زون‌های فلزدار را نشان می‌دهند، در سطح کشف شد. این ناهنجاری در حاشیه شمال باختری کانسار مورد بحث واقع است و در دولومیت‌های خالصی که در برونز وجود دارند و دارای هیچ نشانی از کانی‌سازی کانساری یا اسکارنی شدن نیستند، واقع شده است. افزایش مقادیر باریم، آنتیموان، نقره، سرب و عناصر دیگر در ناهنجاری ثبت شده است (شکل ۸۷).

حضور وسیع عناصر شاخص در مقاطع عرضی فوق کانساری هاله‌های کانی‌سازی پلی متالیک (باریم، آرسنیک، آنتیموان و نقره) و نبود ناهنجاریهایی از عناصر شاخصی که در زیر توده‌های کانساری (مس و مولیبدن) تشکیل می‌شوند، نشان می‌دهد که این ناهنجاری دارای سرشت فوق کانساری است. از این مطلب می‌توان چنین نتیجه گرفت که این زون برای کانی‌سازی ناپیدا، امیدبخش بوده و حفاری در آن توصیه می‌شود. الگوهای توزیع عناصر شاخص، برتری سرب را در توده‌های کانسار ناپیدای مورد نظر پیشنهاد می‌کند. این امر از افزایش نسبت سرب به روی نتیجه شده است (نسبت مقادیر میانگین در سطح ۴ بود). به منظور آزمایش ناهنجاری، گمانه‌ای در نزدیکترین کارگاه معدنی به این زون تا ژرفای صد متر حفر شد. هیچ توده‌ای آشکار نشد. پس از آن دو گمانه دیگر با همان ژرفا حفر گردید. این دو گمانه نیز هیچ گونه نتیجه مثبتی ارائه ندادند. نمونه برداری ژئوشیمیایی از مغزه‌های بدست آمده از گمانه‌ها، گسترش شایان توجه هاله‌های تشکیل شده بوسیله سرب، روی و نقره که مواد سازنده اصلی کانسار در ژرفا هستند، آشکار نمود. این امر نشان می‌دهد که کانی‌سازی کانساری مورد شک، بایستی در ژرفای بیشتری قرار گرفته باشد. بر طبق این توصیه گمانه‌ای به ژرفای ۲۰۰ متر حفر و کانساری پرمایه و دارای ارزش اقتصادی کشف شد.

در مثال دیگری که از تجربیات یک شرکت معدنکاری سوئدی بنام بولیدن<sup>۱</sup> گرفته شده است، بررسی خواهد شد. نمونه برداری ژئوشیمیایی از گمانه‌های زیر سطحی در یک نهشته کانی اسکارن-پلی متالیک (هارپنبرگ)<sup>۲</sup> که در سنگهای متامورف شده با سن آرکین<sup>۳</sup> قرار دارد، انجام شد. ویژگیهای گسترش هاله‌های ژئوشیمیایی نخستین پیرامون این توده‌های کانساری، پیش از این شرح داده شده است. بطوریکه از شکل ۲۳



شکل ۸۷-هاله‌های نخستین پیرامون کانسارها در کانساری واقع در کوروسایی شمالی II.

۱- دولومیت و سنگ آهک، ۲- دیوریت، ۳- کوارتز پرفیری، ۴- گلسها، ۵- اسکارن، ۶- توده کانساری، ۷ و ۸- مقادیر عناصر در هاله‌ها بر حسب درصد (۷- $5 \times 10^{-3}$  آرسنیک و آنتیموان، ۰/۱ تا ۰/۱۰۱ باریم، ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ سرب،  $1 \times 10^{-4}$  تا  $3 \times 10^{-4}$  نقره، ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ روی، ۸- بیش از ۰/۱ باریم، بیش از ۰/۱ سرب،  $3 \times 10^{-4}$  نقره، بیش از ۰/۱ روی).

1- Boliden

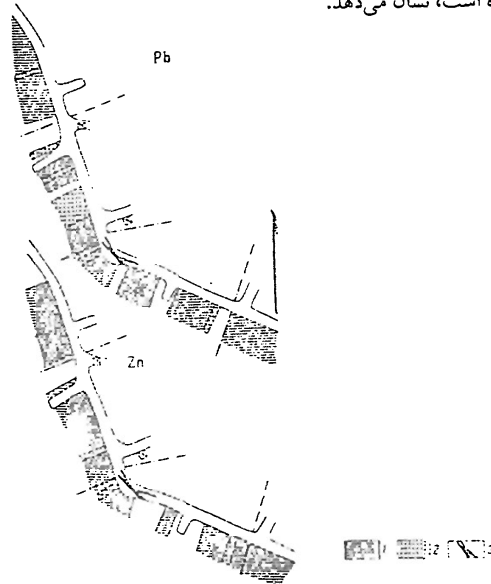
2- Harpenberg

3- Archean age

### تنظیم و جهت‌دهی به عملیات اکتشافی

بررسیها نشان داده است که هاله‌های نخستین ممکن است در نتیجه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از کارگاههای معدنی و نمونه‌برداری از مغزه‌های گمانه‌ها، بطور کاملاً موفقیت‌آمیزی در تنظیم و جهت‌دهی به عملیات اکتشافی مورد استفاده قرار گیرند. با مثال بالا که در باره بررسی ناهنجاری در حاشیه کانسار کوروسایی شمالی II است (شکل ۸۷) می‌توان این مطلب را نشان داد. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی از مغزه‌های اولین گمانه‌های اکتشافی، ثابت کرد که در آن مکان، کانی‌سازی ناپیدا در ژرفای بیشتری جای دارد. این امکان وجود دارد که توان کانساری تعیین شده در گستره فوق، که بر مبنای نتایج حاصل از اولین گمانه‌ها بدست آمده و حضور هیچ کانساری را نشان نمی‌دهد، این گستره را فاقد کانسار ارزیابی نموده باشد، مگر آنکه عملیات اکتشافی با نمونه‌برداری ژئوشیمیایی همراه بوده باشد.

نتایج بررسیهای ژئوشیمیایی که در نهشته کانسار اسکارنی (میدان کانساری کوروسایی، تاجیکستان شوروی) انجام شده است، به عنوان مثالی از تنظیم و جهت‌دهی به کارهای اکتشافی معرفی می‌گردد. این کانسار در یک زون گسل خروجی واقع در غرب نهشته‌های کانساری کوروسایی قرار گرفته است. کانی‌سازی (کانساری) در اسکارنهای توسعه یافته در مرمر، درون یک بلوک تکتونیکی میان یک دایک کوارتز پرفیری و پرفیرهای داسیتی قرار گرفته است. در گستره کانسار، یک زون گسلی دارای شیب ۷۰ تا ۷۵ درجه بسمت جنوب باختری می‌باشد، شکل ۸۹، یک توده معدنی را که بوسیله فعالیت‌های معدنی در افق سوم آشکار شده است، نشان می‌دهد.



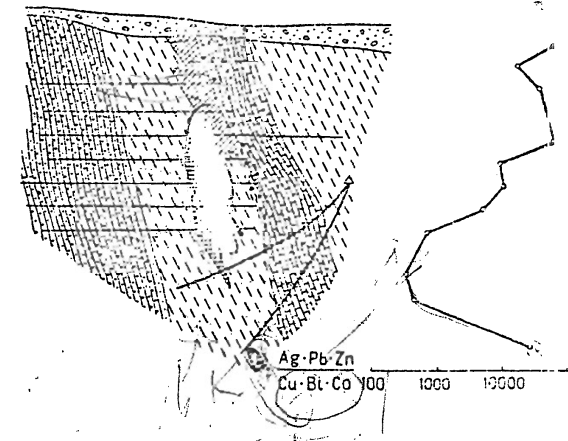
شکل ۸۹. هاله‌های نخستین تشکیل شده بوسیله سرب و روی در افق سوم زون اسکارنی یک کانسار. مقدار عنصر بر حسب %: ۰.۱ تا ۰.۱/۱ تا ۰.۲/۱. بیش از ۰.۳/۱. توده کانساری.

برمی‌آید دو ناهنجاری از نوع کانی‌سازی مورد نظر که بوسیله هاله‌های فوق‌کانساری (هاله‌های قوی نقره سرب و جز اینها معرفی شده‌اند، با وجود نازک شدن کامل توده‌های کانساری، در ژرفا ظاهر می‌شوند. این نتیجه‌گیری بوسیله رسم نسبت بارآوری (قدرت تولید) خطی هاله‌های ضریبی بعنوان تابعی از ژرفا، بطور کامل تأیید می‌شود. شکل ۸۸ نشان می‌دهد که کاهش یکنواخت و ثابت نسبت شاخص، تا ترازوی که توده‌های کانساری شناخته شده، نازک می‌شوند، ادامه می‌یابد. پس از آن، این نسبت به تندی افزایش پیدا می‌کند. این پدیده سرخ‌جودی را در هاله‌های عنصر فوق‌کانساری مشخص می‌کند. چنین نتیجه‌گیری شد که توده‌های کانساری ناپیدا در ژرفا قرار دارند. حفاریهای ژرف در یکی از ناهنجاریها، توده کانساری نهفته وسیعی را در ژرفای ۵۰۰ متر نایاب ساخت (به شکل ۸۸ مراجعه شود).

مثالهای بالا نشان می‌دهد که اکتشاف ژئوشیمیایی برای کانی‌سازی ناپیدا موارد زیر را دربر می‌گیرد:

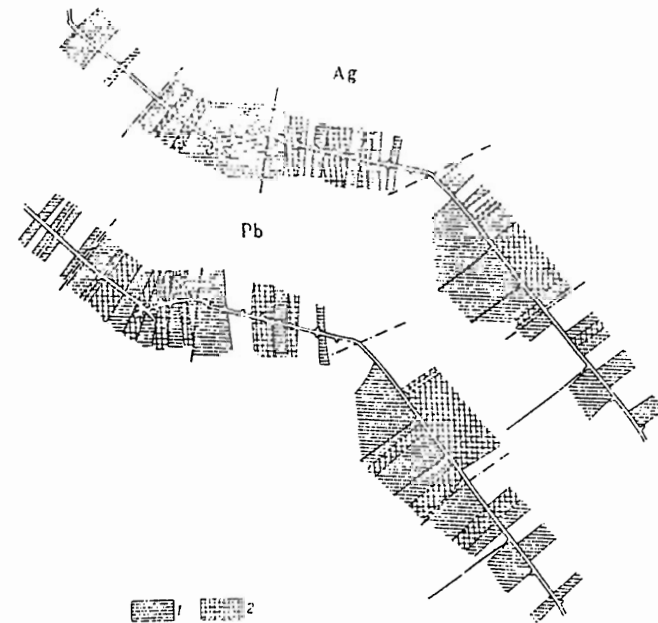
**الف - ثبت هاله‌های نخستین توده‌های کانساری ناپیدا، و ب - تعیین سرشت فوق‌کانساری یا زیرکانساری این هاله‌ها، یعنی شاسایی امیدبخش‌ترین ناهنجاریهای ژئوشیمیایی، که بوسیله هاله‌های ژئوشیمیایی فوق‌کانساری نشان داده می‌شوند. حل این مسأله در کشف کانی‌سازی ناپیدا ضروری است، زیرا که در نواحی کانساری، بویژه رکنسارهایی که شدت فرسایش یافته‌اند، ناهنجاریهایی که بوسیله هاله‌های تشکیل شده در زیر توده‌های کانی‌سازی نشان داده می‌شود، بیشمارند، و رد بجا و قابل قبول آنها در توفیق عملیات اکتشافی برای معادن ناپیدا اجتناب‌ناپذیر است.**

زون‌بندی هاله‌های نخستین که در فصلهای پیشین این کتاب بصورت تفصیلی مورد بحث قرار گرفت، برای حل این مسأله بکار می‌روند.



شکل ۸۸. مقطع عرضی نمایش‌دهنده تغییرات اندیس ضریبی (چندبازگی) نسبت به ژرفا اندیس ضریبی در کانسار هارپنبرگ (سوئد). برای علائم به شکل ۲۳ مراجعه شود.

به منظور تعیین مسیر کار اکتشافی بیشتر، بویژه برای شناسایی توان کانساری در ژرفا، از کارگاه‌های معدنی موجود در این افق نمونه‌برداری شد. در نتیجه هاله‌های قوی از عناصر شاخص ویژه این نوع کانی‌سازی کشف شد. از شکل‌های ۸۹ و ۹۰ برمی‌آید که کانسار شناخته شده، به روشنی بوسیله تمرکزهای ناهنجار عناصر مشخص می‌شود. همچنین یک ناهنجاری قوی که بوسیله سرب و عناصر شاخص دیگر تشکیل شده بود، در برابر زمینه‌ای که شامل آلودگی‌های معمول این عناصر بوسیله فعالیت‌های معدنکاری می‌باشد، در ادامه بخش شمال باختری کانسار معلوم کشف شد. شبکه کارگاه‌های معدنی موجود، امکان تعیین حدود کلی ناهنجاری را فراهم نمی‌کرد، بنابراین میانگین مقدار عنصر در ناهنجاریها (بجای قدرت تولید) برای تفسیر این ناهنجاری بکار گرفته شد.



شکل ۹۰. هاله‌های نخستین تشکیل شده بوسیله تهره و سرب در افق دوم زون اسکارنی یک نهشته کانساری. مقدار عناصر بر حسب درصد، ۱-  $5 \times 10^{-5}$  تا  $3 \times 10^{-3}$  تهره، ۰/۱ تا ۰/۱ سرب، ۲- بیش از  $1 \times 10^{-3}$  تهره، بیش از ۰/۱ سرب.

جدول ۵۸ پارامترهای (نسبت‌های میانگین مقادیر جفت عنصر) ناهنجاری واقع در شمال باختری کانسار معلوم را ارائه می‌دهد. برای مقایسه، پارامترهای مربوط به هاله‌های پیرامون توده کانساری کوروسایی شمالی II، آورده شده است (این ارقام مربوط به مقاطع عرضی استاندارد شکل ۸۷ می‌باشد). این دانسته‌ها نشان می‌دهد که این ناهنجاری مربوط به ترازهای فوق کانساری است و توده کانساری

دیگری در ژرفا وجود دارد که نزدیک به توده کانساری معلوم (شناخته شده) می‌باشد. همچنین، نتیجه‌گیری می‌شود که توده کانساری مورد گمان در عمق کم قرار گرفته است. این مطلب بوسیله مقادیر همانند نسبت‌های شاخص ناهنجاری مورد نظر و نیز بوسیله هاله‌های توسعه یافته در ترازهای توده‌های کانساری موجود درون مقطع عرضی استاندارد (گمانه ۶۵) پیشنهاد شده است.

توان کانساری نیز بر پایه نتایج حاصل از نمونه‌برداری ژئوشیمیایی مثبت ارزیابی شد. این نتیجه‌گیری بر مقادیر نسبتاً زیاد نسبت‌های شاخص استوار است.

از جدول ۵۸ نتیجه می‌شود که تفاوت‌های شایان توجه در نسبت‌های شاخص، میان توده کانساری و ناهنجاریهای غربی، تنها بر پایه نسبت‌های وجود دارد که در آنها تنگستن که کمترین پویایی را نسبت به دیگر عناصر شاخص در جدول ۵۸ دارد، در مخرج منظور گردد.

حفاری بعدی، صحت پیشنهادها را تأیید کرد. حفر یک دنبال‌رگ در افق چهارم در حاشیه باختری توده کانساری، توده کانساری ناپیدای وسیعی را با عیار زیاد سرب و روی آشکار ساخت.

جدول ۵۸- نسبت‌های میانگین مقادیر عناصر

افق III		مقطع عرضی استاندارد	جفت عنصر
ناهنجاری غربی	ناهنجاری ناشی از توده معدنی		
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۳ - ۰/۰۱**	As/Zn
۰/۳۹	۰/۲۸	۹/۷ - ۰/۱۲	Ba/Zn
۲/۰	۲/۸	۳/۶ - ۱/۵	Pb/Zn
۰/۸	۴/۴	—	As/W*
۶/۵	۲۷/۰	—	Ba/W
۳۲/۶	۲۷۵	—	Pb/W

\* به علت حساسیت کم روش تجزیه بکار رفته، تنگستن تشخیص داده نشده است (برای مقطع عرضی استاندارد).

\*\* دامنه ارقام از مقطع‌های عرضی بالائی توده معدنی تا ترازهای بالایی توده کانساری.

بر پایه نتایج حاصل از نمونه‌برداری از دنبال‌رگ، ناهنجاریهایی در افق دوم نیز مشخص گردید. یکی از این ناهنجاریها (ناهنجاری I) هاله‌های فوق کانساری توده‌هایی را که قبلاً مورد بررسی قرار گرفته، نشان می‌دهد. ناهنجاری دیگر به سنگ آهک‌های مرمری و اسکارنی شده محدود می‌شود و با توجه به میانگین

مقدار عناصر (ناهنجاری II) به مقطع‌های عرضی فوق کانساری هاله‌ها مربوط می‌شود.

As/Zn	۰/۱
Ag/Zn	۰/۰۰۸
Pb/Zn	۱/۰

این دانسته‌ها دلالت بر این داشت که ناهنجاری از نظر کانی‌سازی ناپیدا (کور) امیدبخش است، و حفاری در آن پیشنهاد گردید. برای آزمایش این ناهنجاری، دو گمانه مورب (با زاویه ۵۵ تا ۶۰ درجه) از دنبال‌رگ در افق چهارم حفر شد. این گمانه‌ها یک توده کانساری با ارزش اقتصادی زیاد را نمایان ساخت.

در آخر، موردی را در نظر می‌گیریم که کارگاه‌های عرضی که معمولاً برای نمونه‌برداری ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، وجود ندارند، ولی یک کارگاه اکتشافی در طول امتداد توده کانساری (منطقه فلزدار) ایجاد شده است. در این موارد، نمونه‌های دوبله (تقسیم شده) ترانشه‌ای راه می‌توان بکار برد. این نمونه‌ها از سینه کاره‌ها و خطوطی در امتداد پروفیل‌های عمود بر جهت زون‌های فلزدار، برداشته شده‌اند. این نمونه‌ها معمولاً رای تعداد محدودی از عناصر که سازنده‌های اصلی و عمده توده‌های کانساری هستند، تجزیه می‌شوند. از آن رو، بخش دوم نمونه‌ها نیز بایستی برای دامنه گسترده‌ای از عناصر که تیپومورف نوع کانی‌سازی معلوم می‌باشند، به روش اسپکتروگرافی تجزیه شوند.

نتایج حاصل از جزء‌های اسپکتروگرافی نشری بسیار اهمیت دارد، زیرا این سری از دانسته‌های اضافی، با ارزش‌ترین شاخص‌های زون‌بندی هاله‌ای را عرضه می‌دارد، بویژه عناصری که تیپیک ترازهای بالا و پائین توده‌های کانساری هستند. مقادیر این عناصر نسبتاً کم است، بطوریکه هیچگونه ارزش اقتصادی ندارند. نمونه‌برداری از سینه کاره‌های معدن، آگاهی‌هایی را در باره الگوهای توزیع عناصری که بطور مستقیم در زون کانساری قرار دارند در اختیار می‌گذارد. البته، امکان تعیین حدود هاله‌های نخستین را فراهم نمی‌نماید. در نتیجه در ارزیابی ترازهای زون‌های کانسنگ‌دار ممکن است از مقادیر میانگین عناصر استفاده نمود.

در تفسیر نتایج حاصل از نمونه‌برداری انجام شده در زون‌های کانساردار، بایستی بیاد داشت که به سبب تمرکزهای بسیار زیاد عناصر در توده‌های کانساری (همچنین در گستره‌های مجاور متصل به آن)، بویژه به علت پراکنش بسیار شدت، تمرکزهای عنصری، نوسان در نسبت‌های شاخص، درخور توجه است و موجب کاهش اعتبار کارها عملی می‌شود. در این رابطه، توصیه می‌شود که از شاخص‌های ضربی استفاده شود (سولوفوف ۱۹۶۶).

جدول ۵۹ نسبت‌های میانگین مقادیر عناصر شاخص اصلی را نشان می‌دهد که برای زون کانساری و هاله‌های نخستین مناسب شده است (شکل ۴۶).

بطوریکه از جدول ۵۹ برمی‌آید، اندیس‌های ضربی، ثابت‌ترین و آشکارترین زون‌بندی راه، هم در زون کانساری و هم در هاله‌های نخستین (که شامل زون‌های کانساری است) ارائه می‌دهد، عناصر انتخاب شده، عناصر مشخصه ترازهای بالا و پائین توده کانساری که بوسیله زون‌بندی قائم هاله‌ها مشخص شده‌اند، می‌باشد.

جدول ۵۹- نسبت‌های شاخص برای زون‌های کانساری و هاله‌های نخستین (از یک کانسار در کانی منصور خاوری).

Pb . Ag Cu . Bi	Pb/Bi	Pb/Cu	Ag/Cu	Ag/Pb	افق نمونه‌برداری
منطقه کانسنگ					
۲۴۰۰	۲۴۰	۲۴	۱۰	۰/۴۲	سطح
۱۰۱۵	۲۴۰	۳۵	۰/۳۵	۰/۰۰۸	افق I
۰/۳۲	۹/۰	۱/۸	۰/۰۳۶	۰/۰۲	افق II
۰/۰۶۳	۰/۳۳	۰/۰۶	۰/۱۹	۳/۵	افق III
هاله‌های نخستین					
۳۸۰۹۰	۷۲/۷	۴۰۰	۵۳/۲	۰/۱۲	ضریب تباین
سطح					
۳۸/۷	۲۱۵	۲۱/۸	۰/۱۸	۰/۰۰۷	افق I
۲۲/۴	۱۰۲۰	۲۴/۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۹	افق II
۲/۸۸	۲۸۸	۱۹/۳	۰/۰۱	۰/۰۰۰۵	افق III
۰/۰۰۱	۰/۵۶	۰/۵۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۲۷	
ضریب تباین					
۳۸۷۰۰	۳۸۴	۴۱/۱	۱۲۸۶	۲/۶	
توجه: برای زون کانساری از متوسط مقادیر و برای هاله‌ها از بارآوری خطی استفاده شده است.					

### بازنگری نتایج اکتشافات قبلی

همه کانسارها قابل معدنکاری نیستند، و این امر عمدتاً به سبب محدودیت ذخایر اثبات شده است که معدنکاری را سودبخش نمی‌سازد. بررسی‌های ژئوشیمیایی در برخی موارد در چنین نهشته‌هایی، این امکان را می‌دهد که گستره‌های امیدبخش توده‌های کانساری (کم فرسایش یافته) ناپیدا را شناسایی نمود، شناسایی و اکتشاف این توده‌ها ممکن است شمار ذخایر اثبات شده را افزایش داده و آنها را از نظر اقتصادی سودبخش نماید.

نتایج بدست آمده از پژوهش‌هایی که در گستره پرومژوتوکنی<sup>۱</sup> (میدان معدنی کوروسای) که بررسی‌های پیشین یک کانسار ناپیدای مجزا را در آن نمایان ساخته بود، مثالی از یک چنین بازنگری است. نمونه‌برداری ژئوشیمیایی در سطح و نیز از گمانه‌ها، که سالها بعد از اکتشاف انجام شد، امکان کشف و ثبت هاله‌های قوی را که بوسیله باریم، آرسنیک، سرب نقره و روی در بالای کانسار شناخته شده، تشکیل شده‌اند، فراهم می‌کند. این هاله‌ها دارای گسترش قائم درخور توجهی هستند (در بیشتر موارد بیش از ۵۰۰ متر).

1- Promezhutochnyi



جدول ۶۰. بارآوری خطی هاله‌های نخستین و نسبت‌های آنها (از گستره ژوتوکنی).

عنصر	شمارهٔ هاله	تراز هاله	مقدار میانگین %	ضریب کانی‌سازی	عرض ناهنجاری	بارآوری خطی، %	نسبت به بارآوری خطی مس
As	I	سطح	۰/۰۰۱	۰/۱۲۵	۱۰۰	۰/۰۱۲۵	۰/۲۵
	II	سطح	۰/۰۰۱	۰/۱	۱۳۰	۰/۰۱۳	۰/۲۵
	II	گمانه	۰/۰۰۴۳	۰/۱۸۳	۱۳۰	۰/۱۰۵	۰/۰۳۷
Ba	I	سطح	۰/۰۱	۰/۱۲۵	۱۰۰	۰/۱۲۵	۲/۵
	II	سطح	۰/۰۱	۰/۱۰	۱۳۰	۰/۱۳	۲/۵
	II	گمانه	۱/۰۵	۰/۱۸۷	۱۳۰	۲۵/۵۲۵	۸/۹۷
Ag	I	سطح	۰/۰۰۰۴	۰/۱۲۵	۱۰۰	۰/۰۰۰۵	۰/۰۱
	II	سطح	۰/۰۰۰۵	۰/۱۰	۱۳۰	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۱۳
	II	گمانه	۰/۰۰۰۴۳	۰/۷۵	۱۳۰	۰/۰۴۱۹	۰/۰۱۵
Pb	I	سطح	۰/۰۰۳	۰/۱۲۵	۱۰۰	۰/۰۳۷۵	۰/۷۵
	II	سطح	۰/۰۰۴	۰/۴۰	۱۳۰	۰/۲۰۶	۴/۰
	II	گمانه	۰/۲۵	۱	۱۳۰	۳۲/۵۰	۱۱/۴
Zn	I	سطح	۰/۰۰۴۲	۱	۱۰۰	۰/۴۲	۸/۴
	II	سطح	۰/۰۰۴	۰/۴۲۸	۱۳۰	۰/۲۲۲۶	۴/۳
	II	گمانه	۰/۱۴	۰/۸۷۵	۱۳۰	۱۵/۹۲۵	۵/۶
Cu	I	سطح	۰/۰۰۴	۰/۱۲۵	۱۰۰	۰/۰۵	—
	II	سطح	۰/۰۰۴	۰/۱۰	۱۳۰	۰/۰۵۲	—
	II	گمانه	۰/۰۳۵	۰/۶۲۵	۱۳۰	۲/۸۴۴	—
Bi	I	سطح	۰/۰۰۰۱۵	۰/۱۲۵	۱۰۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۳۸
	II	سطح	۰/۰۰۰۱۵	۰/۱	۱۳۰	۰/۰۰۱۹۵	۰/۰۳۳
	II	گمانه	۰/۰۰۰۴۳	۰/۳۷۵	۱۳۰	۰/۰۲۰۹۶	۰/۰۰۷۴

توجه: I، هاله‌های روی تودهٔ کانساری معنی‌دار، II، ناهنجاری آشکار شده.

پس از آزمایش نتایج نمونه‌های ژئوشیمیایی، یک زون بی‌ارتباط با ناهنجاریهای باریم، آرسنیک، سرب و نقره، در فاصله‌ای نسبتاً دور نسبت به توده کانساری، کشف شد. این ناهنجاری، از چند جهت شبیه هاله‌هایی است که روی توده کانساری (معدنی) شناخته شده، قرار دارند. چنانکه از نمونه‌برداری از مغزه‌ها مشخص است، این ناهنجاری با افزایش ژرفای یعنی جایی که بر شدت آن افزوده می‌شود، گسترش پیدا می‌کند. جدول ۶۰ مقادیر بارآوری خطی را در منطقه تازه کشف شده، در مقایسه با مقادیر بدست آمده از هاله‌هایی که روی توده کانساری شناخته شده قرار دارند، نشان می‌دهد. برخی دیگر از پارامترهای هاله‌هایی که روی توده کانساری شناخته شده (I) قرار دارند و همچنین پارامترهایی که برای زون جدید (II) محاسبه شده، در جدول درج گردیده است. نسبت‌های بارآوری خطی برای جفت‌های آرسنیک-مس، باریم-مس، نقره-مس و بیسموت-مس، بسیار همانندند و تنها برای جفت‌های سرب-مس و روی-مس، تفاوت‌های شایان توجهی مشاهده شد. بارآوری خطی در هاله‌های هر دو زون با افزایش ژرفا، برای آرسنیک کاهش و برای عناصر دیگر افزایش نشان می‌دهد.

این دانسته‌ها می‌رساند که ناهنجاری کشف شده مربوط به ترازهای بالایی توده کانساری است، از اینرو انجام حفاری پیشنهاد شده است. مجاورت نزدیک توده کانساری «استاندارد» شناخته شده، امکان اندازه‌گیری تقریبی ژرفای توده کانساری مورد گمان را می‌دهد. تصور شده که محیط‌های زمین‌شناسی-ساختاری توده‌های کانساری و هاله‌های پیرامونی آن یکسان باشند. با اینهمه، رفتار «ناهنجار» یاد شده هاله‌هایی که بوسیله سرب و روی تشکیل شده‌اند، مسائلی را بوجود آورده است. این امر می‌تواند یا به سبب رخداد کم ژرفای توده کانساری مورد گمان در مقایسه با کانسار معلوم، و یا به علت مقدار نسبتاً زیاد سرب باشد. مورد دوم احتمالش بیشتر است، زیرا که در مورد وقوع کم ژرفای کانی‌سازی ناپیدا، تفاوت در نسبت‌های بارآوری هاله‌ها برای همه جفت عناصر وجود دارد و نه، تنها برای دو جفت. حفاری بعدی این نتیجه‌گیری را تأیید نمود. توده کانساری ناپیدای وسیعی که دارای ارزش اقتصادی است، با مقدار زیاد سرب (۱۰/۷ درصد سرب و ۸/۸٪ روی)، در ژرفای ۴۵۰ متری در فاصله نزدیک (۵۰ متری) به کانسار معلوم، کشف شد. نتایج بالا که از بررسی‌های ژئوشیمیایی در میدان معدنی (کانساری) اورلینا یا گورکای<sup>۱</sup> مرکزی (رادنی کرم‌زار<sup>۲</sup>) بدست آمده است، در واقع مثالی از بازنگری داده‌های اکتشافات پیشین است. چنانکه در بالا نشان داده شده است، نمونه‌برداری ژئوشیمیایی سنگ بستر در سطح، کانی‌سازی پلی‌متالیک را که در ژرفا نازک می‌شود، نیز تأیید می‌کند.

## فصل ۱۱

### روشهای آمار ریاضی مورد استفاده در اکتشافات ژئوشیمیایی

#### مقدمه

بهبود کیفی و کمی ابزار فنی و روشهای پژوهش و بررسی ترکیب شیمیایی مواد، که ویژگی ژئوشیمی نوین است، افزایش شایان توجه آگاهیهای ژئوشیمیایی را بدنبال دارد. برای آزمایش و تفسیر این آگاهیها روشهای ریاضی ویژه‌ای لازمست.

روشهای آمار ریاضی، که در زمین‌شناسی و ژئوشیمی بکار می‌روند، بر پایه تئوری احتمال استوارند. معرفت بر مفاهیم اصلی این تئوری پیش‌نیاز مبرمی برای کاربرد درست روشهای آماری محسوب می‌شود، زیرا این امر بکار بردن قوانین آمار را در تجزیه پدیده‌های طبیعی ممکن می‌سازد.

کاربرد روشهای آماری در زمین‌شناسی و ژئوشیمی بایستی پیش از هر چیز به قابل قبول بودن و دقت نتیجه‌گیریها، بر پایه تجزیه و تحلیل جامعی از ماده حقیقی متکی باشد. روشهای آماری را بدون آگاهی و معرفت بر معنی و مفهوم مسائل زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی که بایستی به کمک این روشها حل گردند، نمی‌توان بکار برد. در حالیکه آمار وسیله‌ای با قدرت در دست زمین‌شناسان یا شیمیدانهای لایق است، هنگامیکه بصورت امری جاری و بدون توجه لازم و مقرر به کل مجموعه عوامل طبیعی بکار رود، ممکنست به بروز خطاهای جدید منجر شود.

تابع توزیع (پخش) یک تغییر اتفاقی در مفهومی اصلی و عمده در تئوری احتمال است. تابع توزیع، یک ویژگی جهانی از یک متغیر اتفاقی است و این امکان را می‌دهد که برای هر جمعیتی از متغیرهای اتفاقی که بوسیله یک نمود کیفی یا کمی مشترک، بصورت واحد درآمده‌اند، شرح کامل ریاضی داده شود. جمعیت‌هایی که دارای خواص یکسانی هستند، بوسیله تابعهای توزیع یکسان مشخص می‌شوند. از این رو، تابع توزیع می‌تواند بعنوان معیاری برای ارزیابی همگنی یا ناهمگنی جمعیت‌های مختلف بکار رود.

بمنظور بکار بردن روشهای آمار ریاضی در بررسیهای ژئوشیمیایی و اکتشاف معدنی، لازمست که به معرفی مفاهیم جمعیت ژئوشیمیایی و سری ژئوشیمیایی<sup>۱</sup>، بپردازیم.

جمعیت ژئوشیمیایی، عبارت از یک سری از ارقام است، که عیار یک عنصر شیمیایی را نشان می‌دهد و معرف قواعد آماری، در توزیع عنصر مربوطه در سازندهای طبیعی ویژه می‌باشد. در عمل هر یک از سریهای جمعیت ژئوشیمیایی عمومی، مورد بررسی قرار می‌گیرند. این سریها کمیت‌های محدودتری (معین) از اعضا را دربر می‌گیرند (نتایج اندازه‌گیری مقدار یک عنصر شیمیایی) و سریهای ژئوشیمیایی خواننده می‌شوند.

بسته به قانون آماری توزیع یک متغیر اتفاقی، تابع توزیع آن بوسیله دسته معینی از پارامترهای آماری توصیف می‌شود. تعیین قانون (نوع) توزیع و محاسبه پارامترهای یک توزیع متغیر اتفاقی در جمعیت ژئوشیمیایی مورد بررسی، مساله اصلی آزمایش آماری اطلاعات ژئوشیمیایی محسوب می‌شود. از آنجایی که پژوهشگر همیشه تنها با سریهای از ارقام ژئوشیمیایی سروکار دارد که چگونگی جمعیت ژئوشیمیایی مورد بررسی را در درجه اطمینان معینی نشان می‌دهد، تنها برآوردهای تقریبی شاخصهای پارامترهای توزیع مربوطه را می‌توان بدست آورد. هر چه سری ژئوشیمیایی کوچکتر باشد، این برآوردها با مقدار واقعی تفاوت بیشتری دارند. در هر حال، امکان اندازه‌گیری صحت پارامترهای توزیع محاسبه شده در هر مورد خاص وجود دارد. این امر امکان استفاده از این سریها را برای مشخص نمودن خصوصیات در کل جمعیت فراهم می‌نماید. در نتیجه، اگر تابع توزیع معلوم باشد، می‌توان به کمک پارامترهای توزیعی که بدست آمده است، برخی مسائل زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی را بر پایه قوانین توزیع عناصر شیمیایی در سازندهای طبیعی، حل کرد. در زیر فهرستی از برخی مسائل که بطور مستقیم به مساله اکتشاف معدنی مربوطند، آمده است.

- ۱- تعیین پارامترهای آماری توزیع مقادیر عناصر شیمیایی بمنظور اثبات ریاضی نتیجه‌گیریهای ژئوشیمیایی که از بررسی مواد طبیعی مورد نظر بدست آمده است.
- ۲- ارزیابی نوسانات مقادیر و مشخص نمودن حداکثر مقدار (بحرانی) عناصر شاخص در یک زمینه ژئوشیمیایی.
- ۳- مشخص نمودن مقادیر ناهنجاری در سریهای ژئوشیمیایی مورد بررسی.
- ۴- اثبات ریاضی معیارهای ژئوشیمیایی مورد استفاده در اکتشاف.
- ۵- اثبات همانندی ژئوشیمیایی یا تفاوت میان مواد ژئوشیمیایی ویژه برای بسط معیارهای اکتشافی یا معیارهای مورد استفاده در اکتشاف معادن.
- ۶- تعیین روابط آماری معیارهای ژئوشیمیایی متغیر که شاخص یک ماده طبیعی می‌باشد (مسائل همبستگی و رگرسیون<sup>۲</sup>).

تنها اطلاعاتی مقدماتی از تئوری احتمالات و آمار ریاضی، برای حل این مسائل که از نظر آمار ریاضی کاملاً ابتدائی هستند، بسنده است.

چنین تصور شده است که خواننده به مبانی تئوری احتمالات که معمولاً در چهارچوب ریاضیات پیشرفته تدریس می‌شود، آشنا است. از اینرو تعاریف مفاهیم آماری مقدماتی در مثالهایی که برای نشان دادن کاربرد عملی روشهای آمار ریاضی در مسایل ژئوشیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، حذف شده است.

## برآورد آماری پارامترهای توزیع عناصر شیمیایی در سازندهای طبیعی برای اثبات نتیجه‌گیریهای ژئوشیمیایی

در بررسی سریهای ژئوشیمیایی معینی که سازندهای طبیعی ویژه‌ای را مشخص می‌کند، اولین مرحله تحلیل آماری، به تعیین نوع توزیع مقادیر عناصر شیمیایی بر مبنای نتایج تجزیه‌ها، محدود می‌شود. پخش مقادیر را می‌توان بطور ترسیمی نمایش داد. مقادیر در امتداد محور X ها و شمار نمونه‌ها در امتداد محور Y ها در مقیاس مناسبی ترسیم می‌شوند. نقاط حاصل (مرکز هر گروه بازاء فراوانی) بهم وصل می‌شوند. شکل ایجاد شده چند ضلعی توزیع (پخش) خواننده می‌شود. توزیع مقادیر را می‌توان بوسیله بافت نگار (هیستوگرام) نیز نمایش داد.

اکنون چنین تصور نمائید که شمار مشاهدات را افزایش دهیم. در چنین مواردی شکل چند ضلعی‌ها و نیز هیستوگرام‌ها، به یک منحنی ملایم نزدیک می‌شود. منحنی محدود شده، منحنی توزیع جمعیت مورد بررسی خواننده می‌شود، در حالیکه تحلیلی که منحنی را در دستگاه مختصات مربوطه تشریح می‌کند، تابع توزیع یا قانون توزیع مقدار X نامیده می‌شود.

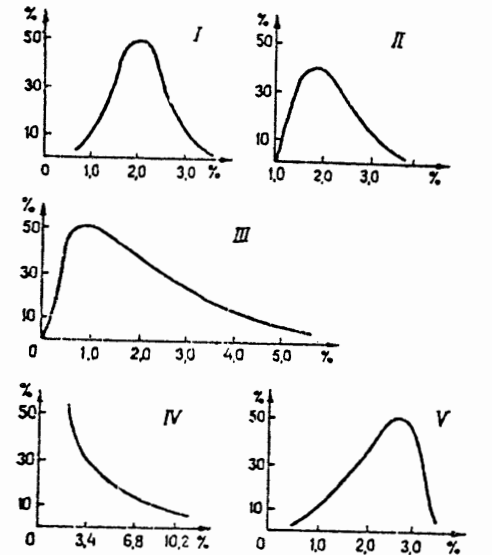
تابع توزیع ممکن است برای تعیین احتمال وقوع هر مقدار دلخواهی، بکار رود، از جمله تعیین احتمال مقادیری که در گروه مورد بررسی وجود ندارند، در چنین موردی، تنها لازمست که بُعد مربوط به تابع محاسبه شود. محاسبات لازم پیچیده نیستند، چون معمولاً جدولهای ویژه‌ای در کتابهای مرجع آمار ریاضی و تئوری احتمال موجود است.

هر قانون آماری یا توزیع آماری، بوسیله یک تابع مربوط مشخص می‌شود که دارای پارامترهایی است که امکان تعیین یک جمعیت را فراهم می‌کند. دو نوع اول منحنی نشان داده شده در شکل ۹۱، متداولترین نوع توزیع‌هایی است که در داده‌های ژئوشیمیایی به آنها برخورد می‌شود. منحنی متقارن، نوع ۱ (منحنی گوس<sup>۱</sup>)، قانون نرمال احتمال را که در شکل ۹۲ نشان داده شده، توصیف می‌کند. شاید این توزیعی باشد که بیشتر از همه در توصیف جمعیت‌های ژئوشیمیایی، بکار می‌رود.

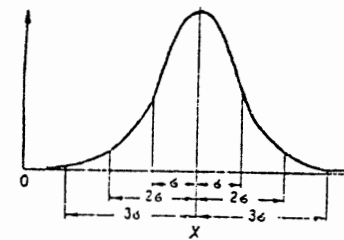
دو پارامتر توزیع نرمال عبارتند از میانگین،  $\mu$  و انحراف استاندارد،  $\sigma$ . معادله‌ای که پخش نرمال را توصیف می‌کند به شکل زیر است:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

متغیر اتفاقی  $x$ ، می‌تواند مقداری بین  $-\infty$  و  $+\infty$  دارا باشد. احتمال  $x$  که میان دو مقدار ثابت  $x_1$  و  $x_2$  قرار گیرد، معادلاً است با سطح زیر منحنی که بوسیله ابعادی با مقدار  $x_1$  و  $x_2$  محدود می‌شود.



شکل ۹۱- انواع نحای های تغییرات (نوسانات (%)) در طول محور  $x$ ، مقادیر (%)) در طول محور  $y$ .



شکل ۹۲- منحنی نرمال توزیع احتمالات.

برای توزیع نرمال، ممکن است شمار اعضاء را در یک جمعیت آماری که در فاصله مورد نظر جای دارد، تعیین نمود.

$$\mu - Z \cdot \sigma_x \qquad \mu + Z \cdot \sigma_x \qquad (2)$$

که  $\mu$  مقدار میانگین یک متغیر با توزیع نرمال می‌باشد  $\sigma_x$  انحراف استاندارد است.  $Z$  ضریبی است که به سطح احتمال دلخواه وابسته است.

برای مثال  $68/3$  درصد اعضاء جمعیت آماری در فاصله  $(2)$  یعنی  $Z = 1$  قرار می‌گیرند، برای  $Z = 2$  این درصد برابر  $95/4$  از کل جمعیت است و برای  $Z = 3$  برابر است با  $99/73$  درصد از کل جمعیت.

به اصطلاح قانون سه سیگما، بر اساس این خاصیت توزیع نرمال است که دامنه نوسانات متغیر  $x$  معین که بطور نرمال توزیع شده با احتمال  $P = 0/9973$  یا  $99/73$  درصد، ناپستی به بیش از سه برابر انحراف استاندارد و یا  $3\sigma_x$ ، برسد. بر طبق این قانون، هر مقداری از یک جمعیت آماری که انحرافش از مقدار میانگین، کمتر از سه برابر انحراف استاندارد باشد، مقداری محتمل بشمار می‌آید.

در عمل، برآوردهای تقریبی پارامترهای یاد شده در بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارتند از:

میانگین نمونه،  $x$ ، و پراش (واریانس) نمونه  $S^2$

اگر بخواهیم برای نوسان یک متغیر اتفاقی  $x$  فاصله اطمینانی را بنا نهیم که دربرگیرنده تمام مقادیر  $x$

باشد، می‌توان چنین نوشت:

$$x - 3\sigma \qquad x + 3\sigma \qquad (3)$$

البته، جمله « همه مقادیر  $x$  » زیاد درست نیست ( $99/97\%$  مقادیر  $x$  نه همه آنها). در بیشتر موارد، فاصله‌های اطمینان، با یک سطح احتمال  $0/05$  یعنی سطح معنی‌دار بودن  $5\%$  تعیین می‌شوند. ضریب  $Z$  در معادله  $(2)$  در سطح معنی‌دار بودن  $5\%$  برابر با  $1/96$  است.

توزیع نرمال در موردی می‌تواند درک گردد، که توزیع یک متغیر اتفاقی بوسیله شمار بسیار زیادی از عوامل مستقل دوجانبه و تقریباً با تأثیر یکسان، تعیین شود. در هر حال این شرایط همیشه هم در طبیعت برقرار نیست. برای مثال، منحنی‌های تجربی که توزیع را در سریهای ژئوشیمیایی ویژه مشخص می‌کنند، در بسیاری از موارد نامتقارنند و از اینرو با منحنی نرمال تفاوت دارند. این توزیعها را نمی‌توان بر پایه فرمولهای قوانین نرمال یا بوسیله جدولهای آماری مشابه، توصیف کرد.

در شکل ۹۱ منحنی‌های نوع II، که نامتقارنی مثبتی را نشان می‌دهند، از انواعی است که در ژئوشیمی متداولست. خاصیت ویژه چنین توزیعهایی تغییر یافتن به یک شکل متقارن است و آن در صورتی است که بجای مقادیر حسابی که توزیع را تشکیل می‌دهد، لگاریتم آنها بکار رود، بوسیله چنین تبدیلی، با این داده‌ها می‌توان مشابه داده‌هایی که بطور نرمال توزیع یافته برخوردار نمود. بنابراین فرض بر اینست که داده‌های اصلی، به شکل لوگ نرمال توزیع یافته‌اند.

پارامترهای (توزیع) لوگ نرمال (بر خلاف توزیعهایی که از قانون نرمال پیروی می‌کنند) بر پایه میانگین

و پراش لگاریتم مقادیر یا دیگر مقادیر حساسی قرار دارند.

قوانین نرمال و لوگ نرمال دامنه ممکن توزیع عناصر شیمیائی در مواد طبیعی را از بین نمی برد. برای مثال، در جمعیت هایی که بوسیله توزیع بسیار غیر یکنواخت مقادیر مشخص می شوند، ممکن است منحنی هایی از نوع III در شکل ۹۱، بدست آید. در چنین مواردی نامتقارنی در توزیع نرمال بیشتر از نامتقارنی در توزیع لوگ نرمال است.

در شکل ۹۱ همچنین توزیعی دیده می شود که منحنی هایشان نامتقارنی منفی را نشان می دهند. توصیف توزیعی که بوسیله منحنی های نوع III، IV، در شکل ۹۱ مشخص شده است، برای مثال، دشوارتر از توصیف توزیعی نرمال یا لوگ نرمال است، در اینجا این مساله مورد نظر ما نیست.

عملیات پردازش آماری سریهای ژئوشیمیایی ویژه، برقراری توافق میان توزیعی تجربی با قوانین توزیع ویژه، و محاسبه پارامترهای توزیع یک متغیر اتفاقی X برای جمعیت ژئوشیمیایی داده شده را فراهم می دارد. برآوردهای شناخته شده پارامترهای توزیع، افزودن بر این بعنوان پایه ای برای حل مسائل زمین شناسی و ژئوشیمیایی و نیز برای ارزیابی نمایندگی نتیجه گیریهایی که بوسیله تجزیه و تحلیل آگاهیهای ژئوشیمیایی ویژه پیشنهاد شده است، بکار می روند.

توصیه می شود که در مرحله اول پردازش ریاضی نتایج آنالیز، این نتایج بر اساس مقادیر عناصر شیمیایی (عیار) در نمونه ها در فواصل مقداری، رده بندی شوند، یعنی جدول توزیع نوسانی ساخته شود. در انتخاب فاصله ها بایستی ملاحظات زیر رعایت گردد:

- ۱- امکان تعدیل همه مقادیر عنصر (عیار عنصر) در نمونه های مربوط به یک فاصله معین، به یک مقدار میانگین برای آن فاصله. این عمل نبایستی خطای زیادی را دربر داشته باشد.
- ۲- برای سهولت آزمایش، بایستی فاصله بطور معقولی بزرگ گرفته شود ولی در هر حال از شرط بالا سرپیچی نکند.

در عمل نشان داده شده است که در بسیاری موارد، بهترین تعداد فاصله های مقداری، در حدود ۱۰ تا ۱۵ (در هر حال حداقل ۵) است. فاصله های مقداری مختلف ممکن است برابر و یا نابرابر باشند. طبعاً برابر بودن آنها آسانتر است.

هر فاصله ای دارای یک حد پائین ( $X_{min}$ ) و یک حد بالا ( $X_{max}$ ) می باشد، اندازه یک فاصله مقداری، عبارتست از  $K = X_{max} - X_{min}$ ، نقطه میانی یا میانه بوسیله فرمول زیر تعیین می شود:

$$X_i = \frac{X_{max} - X_{min}}{2}$$

برای آسان کردن محاسبات، توصیه می شود که فاصله ها طوری انتخاب گردد که نقاط میانی (میانه ها) بوسیله اعداد صحیح نشان داده شوند.

حدهای فاصله های مقداری معمولاً در یک ستون زیر هم نوشته می شوند و داده ها در فواصل مربوطه جای می گیرند. عیارهایی که مقدارشان برابر با مقادیر مرزی است، بایستی به فاصله مقداری پائینی نسبت داده شوند. مقادیری که حتی اندکی بیش از حد بالایی هستند بایستی در فاصله بالاتر بعدی بشمار آیند. برای مثال دو فاصله مقداری ۶۴-۶۲، و ۶۶-۶۴ را در نظر می گیریم، همه مقادیر مساوی یا کمتر از ۶۴، ولی بیشتر

از ۶۲ در فاصله اول قرار می گیرند. مقادیر بیشتر از ۶۴ ولی کمتر یا مساوی ۶۶ در فاصله دوم قرار می گیرند و بهمین ترتیب.

برای محاسبه شمار نمونه های موجود در یک فاصله معین، بهتر است که شمارش بصورت پاکتی انجام شود، باین ترتیب که، چهار نقطه اول طوری قرار گیرند که یک مربع مستطیل را تشکیل دهند (چهار نمونه). این نقاط بوسیله چهار خط مستقیم و دو قطر بهم وصل می شوند (شش نمونه دیگر) و این عمل شکلی را می سازد که شباهت به پشت پاکت دارد و معرف ده نمونه است\*.

شمار کل نمونه هایی که در هر فاصله قرار می گیرد، فراوانی هر گروه را نشان می دهد. تقسیم آن به شمار کل نمونه ها، فراوانی نسبی را می نمایاند  $W_i = n_i/N$ ، که  $n_i$  تعداد نمونه های موجود در فاصله  $i$ ام است و  $N$  تعداد کل نمونه های داده شده است. حاصل جمع فراوانی نسبی برابر واحد است و ممکن است بعنوان کنترلی برای رده بندی درست نمونه ها در فاصله، بر طبق مقادیرشان، بکار رود.

جدول ۶۱ مثالی از رده بندی داده ها می باشد، این داده ها مربوط به لیتیم می باشد که از نمونه برداری گرانیت ها از نواحی مختلف زمین بدست آمده است.

جدول ۶۱- رده بندی نتایج آنالیز گرانیت ها از نظر مقدار لیتیم

مقدار میانگین ppm	شمار نمونه ها	مقدار میانگین ppm	شمار نمونه ها
۵	۱	۵۰	۸
۱۰	۷	۵۵	۴
۱۵	۱۳	۶۰	۸
۲۰	۲۰	۶۵	۱
۲۵	۱۵	۷۰	۶
۳۰	۲۶	۷۵	۲
۳۵	۸	۸۰	۱
۴۰	۹	۹۵	۲
۴۵	۱۲	۱۰۰	۳
		۱۲۰	۳

\* توضیح ویراستار: این مورد بصورت پیچیده ای اقامه شده، برای علامتگذاری مطابق شکل ۱۰ پاره خط است و کار علامتگذاری و شمارش را آسان می کند.

سری ژئوشیبه این باد شده در بالا، کوچک است و می تواند بدون گروه بندی بیشتر داده ها، محاسبه شود. در هر حال، برای آسان شدن کار، چنانچه در زیر نشان داده شده است، می توان این ارقام را در فاصله های بزرگتر گروه بندی کرد بدون آنکه در میزان صحت، کاهش قابل ملاحظه ای بوجود آید. فاصله ای را  $\lambda$  بربر ۱۶ ppm است در نظر می گیریم باین ترتیب هشت فاصله بدست می آید (جدول ۶۲).

جدول ۶۲ - محاسبه پارامترهای توزیع نرمال مقادیر لیتیم

فاصله ppm	نقطه میانی $x_i$	شماره نمونه ها n	$x_i \cdot n$	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	$(\Delta x)^2$	$(\Delta x)^2 \cdot n$	$(\Delta x)^3$	$(\Delta x)^3 \cdot n$
0-16	8	21	168	-29	841	17 661	-24 309	-512 169
16-32	24	61	1464	-13	169	10 309	-21 977	-134 017
32-48	40	29	1160	3	9	261	7	783
48-64	56	20	1120	19	361	7 220	68 9	137 180
64-80	72	10	720	35	1225	12 250	42 8 5	428 750
80-96	88	2	176	51	2601	5 202	132 6 1	265 302
96-112	104	3	312	67	4489	13 467	300 7 3	902 209
112-120	120	3	360	93	8649	25 947	804 3 7	2 413 171
		$N = 149$	$\Sigma 5480$			$\Sigma 92 317$		$\Sigma 3 501 289$

پس از تشکیل جدول توزیع نوسانی، پارامترهای توزیع مقادیر عنصر، محاسبه می شوند، یعنی مقدار میانگین و پراش حونه.

مقدار میانگین بر اساس فرمول زیر می باشد.

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (5)$$

که  $x_i$  مقدار عنصر و  $N$  شمار کل نمونه ها است.

برای داده ها، گروه بندی شده از فرمول زیر استفاده می شود:

$$\bar{X} = \frac{x_1 \cdot n_1 + x_2 \cdot n_2 + \dots + x_n \cdot n_n}{N} = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{N} \quad (6)$$

که  $x_1, x_2, \dots, x_n$  مرکز گروه ها (نقاط میانی) می باشند.

$n_1, n_2, \dots, n_n$  فراوانی مقادیر در هر فاصله و  $N$  شمار کل نمونه ها است.

میانگین از جدول ۶۲ مطابق فرمول زیر بدست می آید.

$$\bar{X} = \frac{5480}{149} = 36.77 \approx 37 \text{ ppm}$$

(می توان این رقم را با رقم محاسبه شده برای داده های گروه بندی نشده در جدول ۶۱ مقایسه نمود که

$\bar{X} = 38 \text{ ppm}$  می باشد).

پارامتر بعدی پراش نمونه است که با  $S^2$  نشان داده می شود و چنین محاسبه می گردد:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

یا برای داده های گروه بندی شده:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i \quad (8)$$

انحراف استاندارد نمونه،  $S$ ، ریشه دوم پراش نمونه است. پراش نمونه (یا انحراف استاندارد نمونه) میزان پراکنش مقدار عنصر پیرامون میانگین نمونه را مشخص می کند.

برای مثال از جدول ۶۲

$$S^2 = \frac{92317}{148} = 623.76, \quad S = 24.97$$

بمنظور استاندارد کردن پراکنش مقادیر، اغلب از ضریب تغییرات استفاده می شود. که درجه پراکنش را نسبت به میانگین منعکس می نماید. ضریب تغییرات چنین محاسبه می شود.

$$v = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (9)$$

$$v = \frac{24.97}{37} \times 100 = 67.5\% \text{ که برای مثال ما،}$$

در عمل، مقادیر میانگین عناصر شیمیایی در تعداد محدودی از نمونه ها تعیین می گردند. بنابراین لازمست، صحت مقدار میانگین محاسبه شده را تعیین نمود.

برای تعیین دقت میانگین در آمار ریاضی، احتمال خطا به شکل زیر بیان می شود:

$$\pm \lambda = \frac{z \cdot s}{\sqrt{N}}$$

که  $\pm \lambda$  خطای محاسبه میانگین برای یک احتمال معین است،

$S$  انحراف استاندارد نمونه از مقادیر است،

$N$  تعداد نمونه ها در سری است،

$Z$  متغیر تابع نرمالیزه شده لاپلاس است، که بر حسب مقدار احتمال معین میزان خطایی که با آن ارزیابی می شود، (جدول ۶۳)، تغییر می کند. بکار بردن ۵٪ معنی دار بودن که مربوط به احتمال ۹۵ درصد است،

مرسوم می باشد. در این مورد  $Z = 1.96$  (تقریباً  $Z = 2$ ) و

$$\pm \lambda = 0.5\% = \frac{z \cdot s}{\sqrt{N}} \quad (11)$$

در مثال داده شده:

$$\pm \lambda \text{ \%} = \frac{2 \times 23 / 4}{\sqrt{149}} = \frac{46 / 4}{12.2} = 3.88 \approx 4$$

$$\bar{x} = 37 \pm 4 \text{ ppm}$$

خطای میانگین تعیین شده در ۵ درصد از سطح معنی دار بودن، فاصله اطمینان بین ۳۳ و ۴۱ ppm را برای توزیع لیتیم در گرانیت‌ها معین می‌کند.

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz \quad \text{جدول ۶۳- تابع آنالیزه شده لاپلاس}$$

z	صدم									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000	040	080	120	160	199	239	279	319	359
0.1	398	438	478	517	557	596	636	675	714	753
0.2	793	832	871	910	948	987	1026	1064	1103	1141
0.3	0.1179	217	255	293	331	368	406	443	480	517
0.4	554	591	628	664	700	736	772	808	844	879
0.5	915	950	985	1019	1054	1088	1123	1157	1190	1224
0.6	0.2257	291	224	357	389	422	454	486	517	549
0.7	580	611	645	673	703	734	764	794	823	852
0.8	881	910	939	967	995	1023	1051	1078	1106	1133
0.9	0.3159	186	212	238	264	289	315	340	365	389
1.0	413	437	461	485	508	531	554	577	599	621
1.1	643	665	686	708	729	749	770	790	810	830
1.2	849	869	888	907	925	944	962	980	997	1015
1.3	0.4032	049	066	082	099	115	131	147	162	177
1.4	192	207	222	236	251	265	279	292	306	319
1.5	332	345	357	370	382	394	406	418	429	441
1.6	452	463	474	484	495	505	515	525	535	545
1.7	554	564	573	582	591	599	608	616	625	633
1.8	641	649	656	664	671	678	686	693	699	706
1.9	713	719	726	732	738	744	750	756	761	767
2.0	772	778	783	788	793	798	803	808	812	817
2.1	821	826	830	834	838	842	846	850	854	857
2.2	860	864	867	871	874	877	880	883	886	889
2.3	892	895	898	900	903	906	908	911	913	915
2.4	918	920	922	924	926	928	930	932	934	936
2.5	937	939	941	942	944	946	947	949	950	952
2.6	953	954	956	957	958	959	960	962	963	964
2.7	965	966	967	968	969	970	971	971	972	973
2.8	974	975	975	976	977	978	978	979	980	980
2.9	0.4981	981	982	983	983	984	984	985	985	986
3.0	986	986	987	987	988	988	988	989	989	989
3.1	990	990	990	991	991	991	992	992	992	992
3.2	993	993	993	993	994	994	994	994	994	994
3.3	995	995	995	995	995	995	996	996	996	996
3.4	996	996	996	996	997	997	997	997	997	997
3.5	997	997	997	997	997	998	998	998	998	998
3.6	998	998	998	998	998	998	998	998	998	998
3.7	998	998	999	999	999	999	999	999	999	999
3.8	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
3.9	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4.0	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4.1	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4.2	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4.3	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4.4	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
4.5	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999
5.0	999	999	999	999	999	999	999	999	999	999

بسیاری از اوقات، زمین‌شناسان اکتشافی، برآوردهای میانگین مقادیر عنصر را بدون آگاهی از صحت آنها بکار می‌برند. این امر ممکن است منجر به استنباط و نتیجه‌گیریهای غلطی گردد که اگر شناسایی نشوند، می‌توانند اثری منفی در اکتشاف داشته باشند.

لزوم تعیین صحت پارامترهای بدست آمده (بویژه صحت میانگین مقادیر عناصر ویژه) برای تجزیه و تحلیل نتایج بررسیهای ژئوشیمیایی، بوسیله مثال زیر روشن می‌شود.

میانگین مقادیر توریم ( $\bar{x}_{Th} = 26 \text{ ppm}$ ) و میانگین ( $\bar{x}_{Cu} = 52 \text{ ppm}$ ) در گرانیت‌های دگرسان شده متاسوماتیکی، بر اساس ۱۲ نمونه که بطور سیستماتیک انتخاب شده‌اند، تعیین شد.

در بحثی در باره این کار، می‌توان برآوردهای میانگین بدست آمده را ارائه داد، و داوری در باره معرف (نماینده) بودن داده‌های گزارش شده را به عهده خواننده گذاشت. البته، می‌توان نشان داد که در انجام این کار، خواننده و نویسنده ممکنست در باره سودمندی آگاهیهای منتشر شده، گمراه شوند.

در زیر مقادیر پارامترهای توزیع توریم و مس در آپلوگرانیت بیوتیت-آمازونیت-آلبیت، ارائه شده است.

	$\bar{x}$ , ppm	S, ppm	$\nu$ , %
Th	۲۶	۴/۰۵	۱۶
Cu	۵۲	۷۲/۶	۱۴۰

خطای میانگین‌های محاسبه شده را با احتمال ۰/۹۵ (سطح معنی دار بودن ۵ درصد)، با استفاده از فرمول (۱۱) تعیین می‌کنیم:

$$\pm \lambda \text{ \%} = \frac{2 \times 4 / 0.5}{\sqrt{12}} = 2/3 \quad \text{برای توریم}$$

$$\pm \lambda \text{ \%} = \frac{2 \times 72 / 6}{\sqrt{12}} = 42/0 \quad \text{برای مس}$$

بنابراین خطای نسبی در تعیین میانگین مقدار توریم ( $\bar{x}_{Th} = 26 + 2/3 \text{ ppm}$ ) کمتر از ده درصد است، در حالیکه برای مس ( $\bar{x}_{Cu} = 52 \pm 42 \text{ ppm}$ ) بیش از ۸۰ درصد است. در ۹۵ مورد از ۱۰۰ مورد برای داده‌های همانند،  $\bar{x}_{Cu}$  ممکنست از ۱۰ تا ۹۲ ppm باشد، که اشاره بر کم‌اعتبار بودن مقدار میانگین مس در سنگ دارد. قابلیت اعتبار کم  $\bar{x}_{Cu}$  در این مثال در نتیجه پراکنش غیریکنواخت در توزیع مقدار مس در توده آپلوگرانیت، و شمار نسبتاً کم نمونه‌های برداشته شده می‌باشد. (پراکنش وسیع در توزیع مقادیر ممکن است به سبب صحت ناکافی روش تجزیه (تکرارپذیری) نیز باشد).

اگر برآورد دقیقتری از مقدار میانگین مس در یک سنگ مورد نظر باشد (حداًقل با یک خطای نسبی برابر با ۲۰٪ یا ۳۰٪)، بایستی تعداد نمونه‌های بیشتری برداشته شود. با دانستن توزیع استاندارد مقادیر عنصر و با استفاده از فرمول (۱۱)، محاسبه شمار نمونه‌های لازم در سری، امکان‌پذیر می‌شود.

برای پیشگیری از بروز خطاهای جدی، ارزیابی دقت پارامترهای زمین‌شناسی برآورده شده، در تعیین کیفیت کانسارهایی که در نتیجه اکتشاف کشف شده‌اند، ضروری است. ارزیابی توان کانساری در اکتشاف، معمولاً بر پایه نتایج تجزیه‌ای بدست آمده از تعداد محدودی از نمونه‌ها است. ارزیابی خطای محتمل که در تعیین میانگین، با  $A$ ، سرورکار داریم، در چنین مواردی بطور درخور ملاحظه‌ای در واقعیت هر تفسیر بعدی شرکت می‌کند.

### تعیین قانون توزیع

برای مشخص نمودن این مسئله که یک سری آماری مربوط به جمعیتی نرمال یا لوگ نرمال است، از دو ویژگی استفاده می‌شود، که عبارتند از نامتقارنی و اوج پخش نمونه. نامتقارنی اندازه‌ای است که درجات چولگی (فرورفتگی) یک توزیع را بیان می‌کند. باین معنی که آیا بزرگترین انحراف‌ها بزرگتر از میانگین هستند و یا کوچکتر. مقدار آن چنین محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{m_3}{S^3}$$

که  $m_3$  گشتاور مرکزی نوع سوم است که بوسیله فرمول زیر تعیین می‌گردد:

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{N}$$

بنابراین

$$A = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^3}{S^3 \cdot N}$$

در یک منحنی توزیع نرمال،  $A$  مساوی صفر است.

برای مشخص کردن وج یک منحنی توزیع (تجربی) نسبت به منحنی نرمال، از اندیسی به نام ستیج (E) استفاده می‌شود.

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{N} \quad E = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{S^4 \cdot N} - 3 \quad (13)$$

در یک منحنی نرمال، ستیج برابر با صفر است زیرا نسبت  $(\frac{m_4}{S^4})$  مساوی ۳ است.

برای تعیین پیوستگی نسبی یک توزیع معین به قانون نرمال، برآورد چولگی (فرورفتگی) و ستیج ضروری است. از آن‌روز خطای ممکن در چنین برآوردهایی که مقدماً به شمار نمونه‌ها بستگی دارد،

بایستی تعیین گردد که آیا انحراف  $A$  و  $E$  از صفر، طبیعت تصادفی دارد یا اینکه قابل ملاحظه است. انحراف استاندارد از  $A$ ،  $E$  چنین محاسبه می‌شود.

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6}{N}} ; \quad \sigma_E = 2\sqrt{\frac{6}{N}} \quad (14)$$

اگر فرض شود که همه مقادیر واقعی فرورفتگی (چولگی) و ستیج برای یک جمعیت معین از داده‌های بدست آمده از نمونه‌برداری، به ترتیب  $A_1$  و  $E_1$  باشد، در اینصورت بر طبق قانون اصلی آمار ریاضی (قانون سه سیگما) و انحراف این مقادیر تجربی از صفر، در مورد توزیع نرمال، نبایستی بیش از قدر مطلق  $3\sigma_A$ ،  $3\sigma_E$  باشد (سه برابر انحراف استانداردهای این مقادیر). در نتیجه، شرط کاربردی برای یک توزیع نرمال، تأیید آن بوسیله نامعادلات زیر است:

$$\frac{A}{\sqrt{\frac{6}{N}}} \leq 3 ; \quad \frac{E}{2\sqrt{\frac{6}{N}}} \leq 3. \quad (15)$$

اگر این شرایط برقرار باشد، می‌توان گفت که فرورفتگی (چولگی) و ستیج، معنی‌دار نیستند و توزیع از قانون نرمال پیروی می‌کند، همچنین، کتابهای مرجع آمار ریاضی و تئوری احتمالات روشهای دیگری را بمنظور بررسی پیوستگی یا ناپیوستگی با یک توزیع نرمال ارائه می‌دهند. در هر حال روش فوق بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در بررسی‌های ژئوشیمیایی رسیدگی و تحقیق در مورد تطبیق توزیع مقادیر با قانون نرمال، اغلب چولگی (فرورفتگی) مثبت قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد، که معمولاً در هنگام بررسی عینی داده‌ها که در جدولی مرتب شده، می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و هنگامیکه منحنی توزیع رسم شود این امر کاملاً آشکار می‌گردد. در اینمورد، توزیع مورد بررسی، با قانون نرمال انطباق و پیوستگی ندارد و پارامترهای آن نمی‌تواند در تحلیل آماری استاندارد مورد استفاده قرار گیرد (اگر یک چولگی (فرورفتگی) مثبت قطبی در منحنی توزیع وجود داشته باشد، در آنصورت نیازی به محاسبه انحراف استاندارد یا پراش (واریانس) نیست). در این محاسبه میانگین بر مبنای لگاریتم مقادیر صورت می‌گیرد.

$$\overline{\lg x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \lg x_i \cdot n_i \quad (16)$$

همچنین پراش نمونه و انحراف استاندارد نمونه‌ها بر مبنای لگاریتم مقادیر طبق فرمولهای زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{\lg}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\lg x_i - \overline{\lg x})^2 \cdot n_i \quad (17)$$



بطوریکه ملاحظه می‌شود، پخش مقادیر لیتیم در گرانیته‌ها چولگی مثبت و آشکاری را نشان می‌دهد و می‌توان استنتاج نمود که توزیع با قانون نرمال پیوستگی و انطباق ندارد.

برای اثبات پیوستگی توزیع مقادیر لیتیم در سنگهای گرانیته‌ی لیتیم با قانون لوگ نرمال و بمنظور تعیین پارامترهای توزیع از بزرگترین و کوچکترین ارقام سری مندرج در جدول ۶۱، لگاریتم اعشاری گرفته می‌شود، فاصله تا حد اعشار لگاریتم یک می‌باشد، لگاریتمها به ترتیب ۰/۶۹۹۰ و ۲/۰۷۹۲ می‌باشند. تفاضل این دو عدد در حدود ۱/۴ است. در نتیجه اگر بخواهیم سری گروه‌بندی شده‌ای از داده‌های دربرگیرنده ۸ فاصله را بدست آوریم، اندازه فاصله بایستی برابر با ۰/۲ باشد (جدول ۶۴).

جدول ۶۴- محاسبه پارامترهای توزیع لوگ نرمال

فاصله log x	مکرر log x <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	n <sub>i</sub> lg x <sub>i</sub>	$\frac{\sum \lg x_i}{n} - \lg \bar{x}$	(lg x <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(lg x <sub>i</sub> ) <sup>3</sup>	(lg x <sub>i</sub> ) <sup>4</sup>	(lg x <sub>i</sub> ) <sup>5</sup>	(lg x <sub>i</sub> ) <sup>6</sup>
0,6-0,8	0,7	1	0,7	-0,79	0,62	0,62	-0,49	-0,49	0,39
0,8-1,0	0,9	7	6,3	-0,59	0,35	2,45	-0,21	-1,47	0,12
1,0-1,2	1,1	13	14,3	-0,39	0,15	1,95	-0,06	-0,78	0,02
1,2-1,4	1,3	35	45,5	-0,19	0,04	1,40	-0,01	-0,35	0,00
1,4-1,6	1,5	34	51,0	0,01	0,00	-	0,00	-	0,00
1,6-1,8	1,7	42	71,4	0,21	0,04	1,68	0,01	0,42	0,00
1,8-2,0	1,9	14	26,6	0,41	0,17	2,38	0,07	0,98	0,03
2,0-2,2	2,1	3	6,3	0,6	0,37	1,11	0,23	0,69	0,14
		N 149	Σ 222,1			Σ 11,59	Σ -1,00		Σ 2,33

میانگین نمونه، پراش و انحراف معیار لگاریتمهای مقادیر چنین محاسبه می‌شوند.

$$\overline{\lg x} = \frac{222,1}{149} = 1,49, \quad S_{lg}^2 = \frac{11,59}{149} = 0,0783, \quad S_{lg} = 0,280$$

مقادیر پارامترهای توزیع لیتیم که بدون گروه‌بندی بدست آمده‌اند، برابرند با  $\overline{\lg x} = 1,504$  و  $S_{lg} = 0,256$ ، یعنی تفاوت زیادی با مقادیر بدست آمده از سری گروه‌بندی شده ندارند. حال پیوستگی توزیع لگاریتمهای مقادیر لیتیم با قانون نرمال را کنترل می‌کنیم.

$$S_{lg}^3 = 0,0219, \quad A_{lg} = \frac{-1,0}{0,219 \times 149} = -0,306;$$

$$\frac{-0,306}{\sqrt{\frac{6}{149}}} = \frac{-0,306}{0,2} = -1,53;$$

$$S_{lg} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (\lg x_i - \overline{\lg x})^2 \cdot n_i} \quad (18)$$

ضریب تغییرات مقادیر در مورد توزیع لوگ نرمال از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$v = (e^{\mu 20_{lg}^2} - 1) \quad (19)$$

که جدولهایی بر پایه انحراف استاندارد لگاریتمها برای آن موجود است.

به منظور کنترل پیوستگی و انطباق یک توزیع با قانون لوگ نرمال، چولگی (فرورفتگی) و ستیغ با استفاده از فرمولهای زیر محاسبه می‌شود.

$$A_{lg} = \frac{\sum_{i=1}^n (\lg x_i - \overline{\lg x})^3 \cdot n_i}{N \cdot S_{lg}^3}; \quad E_{lg} = \frac{\sum_{i=1}^n (\lg x_i - \overline{\lg x})^4 \cdot n_i}{N \cdot S_{lg}^4} \quad (20)$$

انحرافهای استاندارد از  $A_{lg}$  و  $E_{lg}$  به روشی که در پردازش آماری سری مقادیر عمل می‌شود، محاسبه می‌گردد.

شرط لازم برای یک توزیع لوگ نرمال، پیوستگی و انطباق آن با نامعادلات زیر است:

$$\frac{A_{lg}}{\sqrt{\frac{6}{N}}} \leq 3 \quad \frac{E_{lg}}{2\sqrt{\frac{6}{N}}} \leq 3 \quad (21)$$

در نتیجه آنچه در زیر می‌آید برآوردهای آماری پارامترهای پخش لوگ نرمال است:

$$\overline{\lg x}; \quad S_{lg}^2; \quad S_{lg}; \quad A_{lg}; \quad E_{lg}$$

در مثال بالا، فرورفتگی برای منحنی توزیع مقدار لیتیم حتی هنگامیکه سری مقادیر گروه‌بندی شده‌اند، کاملاً چشمگیر است. در چنین مواردی، ارزیابی چولگی ممکن است حذف گردد و مقدار میانگین با استفاده از لگاریتم مقادیر محاسبه گردد. با این همه محاسبه چولگی (فرورفتگی) با استفاده از داده‌های جدول ۶۲ بشرح زیر اعمال می‌شود.

$$S^3 = 12813, \quad A = \frac{30 \cdot 1289}{12813 \times 149} = 1/8, \quad \frac{1/8}{\sqrt{\frac{6}{149}}} = \frac{1/8}{\sqrt{0,04}} = 9$$

$$S_{lg}^4 = 0.0061, \quad E_{lg} = \frac{2/33}{0.0061 \times 149} - 2 = -0.443;$$

$$\frac{-0.443}{2\sqrt{\frac{6}{149}}} = -1/10.2$$

چنانکه دیده شد، مقادیر چولگی (فرورفتگی) و ستیخ برای توزیع لگاریتم مقادیر لیتیم در سنگهای گرانیتوئیدی اختلاف محسوسی با صفر ندارد. در نتیجه توزیع لیتیم در سنگهای گرانیتوئیدی با قانون لوگ نرمال تطبیق می‌دهد. در این امر امکان استفاده از مقادیر میانگین، پراش، انحراف استاندارد لگاریتم مقادیر لیتیم را بعنوان پارامترهای مورد استفاده در محاسبات آماری فراهم می‌کند.

### محاسبه حدهای نوسان در مقادیر عناصر

در انجام نقشه ردارزی و اکتشافات ژئوشیمیایی، اغلب با مساله برآورد دامنه نوسان مقادیر یک عنصر شاخص در یک نوع سنگ معین، مواجه می‌باشیم.

در بالا به پارامترهای اصلی که توزیع مقادیر عنصر را در سازندهای زمین‌شناسی مختلف مشخص می‌کنند (میانگین پراش و انحراف استاندارد) و همچنین روشهای محاسبه آنها، پرداختیم. افزون بر این، توصیه می‌شود که حدهای نوسان مقادیر عنصر، با احتمال 0.1/ برای مقادیر مرزی محاسبه شود. این پارامتر، که از پارامترهای توزیع اصلی نتیجه شده است، یک نمایش ترسیمی (گرافیکی) از پراش را برای مقادیر ویژه تهیه می‌بیند.

معادلات زیر در محاسبات مورد نظر بکار می‌روند.

$$a_{\max} = \bar{x} \pm ts \quad (22) \text{ برای قازن نرمال}$$

$$lg a_{\max} = lg \bar{x} + ts_{lg} \quad (23) \text{ برای قازن لگاریتمی نرمال}$$

که  $a_{\max}$  و  $a_{\min}$  مقادیر مرزی حداکثر و حداقل برای عنصر مورد نظر در یک سری است (یا لگاریتم مقادیر در مورد توزیع لوگ نرمال). این مقادیر با یک احتمال معین، مشخص می‌گردند،  $\bar{x}$ ،  $lg \bar{x}$  به ترتیب میانگین مقادیر و میانگین لوگ نرمال مقادیر است،  $S$ ،  $S_{lg}$  به ترتیب انحراف استاندارد مقادیر و انحراف استاندارد لگاریتم مقادیر است.

مقدار تئوری  $z$  برای یک احتمال یک - سر (یا دم) بمقدار 0.1/ برابر است با 2/33. مقادیر  $t$  برای سریهای معین که بیش از 500 نمونه را دربر می‌گیرند، بطور محسوسی با مقدار تئوری تفاوت دارند و در

جدولهای توزیع استیودنت (Student) که در بسیاری از کتابهای مرجع آمار ریاضی موجود است (به جدول 65 مراجعه شود)، یافت می‌شوند.

حال به تعیین دامنه تغییرات مقدار لیتیم با احتمال 0.1/ برای مقادیر مرزی، در جمعیت یاد شده که توزیع این عنصر در گرانیت‌ها را از قاره‌های مختلف جهان نشان می‌دهد، می‌پردازیم.

مقادیر پارامترهای توزیع لوگ نرمال لیتیم در زیر آمده است:

$$lg x = 1/49, \quad S_{lg} = 0/28$$

$$lg a_{\max} = 1/49 \pm t \times 0/280; \quad t \text{ (برای یک سری شامل 149 نمونه)}$$

$$lg a_{\max} = 1/49 + 2/35 \times 0/280 = 1/49 + 0/658 = 2/148$$

با استفاده از جدول لگاریتم آنتی لگاریتم مقادیر فوق بشرح زیر است:

$$a_{\max} = 1/41 \text{ ppm} \quad lg a_{\min} = 1/49 - 0/658 = 0/832$$

در حالیکه  $a_{\min} = 6/79 \approx 7$  است، دامنه تغییرات از 7 تا 141 ppm می‌باشد.

بنابراین، محاسبه شده است که در جمعیت معرف گرانیت‌ها از قاره‌های مختلف تنها یک یا دو نمونه از صد نمونه ممکن است کمتر از 7 ppm و بیشتر از 141 ppm لیتیم داشته باشد.

جدول 65 - مقادیر  $q$  (بر حسب درصد) حدها برای توزیع استیودنت  $t$  بر حسب تعداد درجه‌های آزادی  $f$ .

q \ f	q									
	10.0	5.0	2.5	2.0	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	دوطرفه
1	5.0	2.5	1.25	1.0	0.5	0.25	0.15	0.1	0.05	یک طرفه
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6.314	12.706	25.452	31.821	63.657	127.3	212.2	318.3	636.6	
2	2.920	4.303	6.205	6.965	9.925	14.089	18.216	22.327	31.600	
3	2.353	3.182	4.177	4.541	5.841	7.453	8.891	10.214	12.922	
4	2.132	2.776	3.495	3.747	4.604	5.597	6.435	7.173	8.610	
5	2.015	2.571	3.163	3.365	4.032	4.773	5.376	5.893	6.869	
6	1.943	2.447	2.969	3.143	3.707	4.317	4.800	5.208	5.959	
7	1.895	2.365	2.841	2.998	3.499	4.009	4.442	4.785	5.408	
8	1.860	2.306	2.752	2.896	3.355	3.853	4.199	4.501	5.041	
9	1.833	2.262	2.685	2.821	3.250	3.690	4.024	4.297	4.781	
10	1.812	2.228	2.634	2.764	3.169	3.581	3.892	4.144	4.587	
12	1.782	2.179	2.560	2.681	3.055	3.428	3.706	3.930	4.318	
14	1.761	2.145	2.510	2.624	2.977	3.326	3.583	3.787	4.140	
16	1.746	2.120	2.473	2.583	2.921	3.252	3.494	3.686	4.015	
18	1.734	2.101	2.445	2.552	2.878	3.193	3.428	3.610	3.922	
20	1.725	2.086	2.423	2.528	2.845	3.153	3.376	3.552	3.849	
22	1.717	2.074	2.405	2.508	2.819	3.119	3.335	3.505	3.792	
24	1.711	2.064	2.391	2.492	2.797	3.092	3.302	3.467	3.745	
26	1.706	2.056	2.379	2.479	2.779	3.067	3.274	3.435	3.704	
28	1.701	2.048	2.369	2.467	2.763	3.047	3.250	3.408	3.674	
30	1.697	2.042	2.360	2.457	2.750	3.030	3.230	3.386	3.646	
~	1.645	1.960	2.241	2.325	2.576	2.807	2.968	3.090	3.291	

در عمل، مرزهای احتمال نوسانات مقادیر عنصری در جمعیت ژئوشیمیایی، در انتخاب معیارهایی برای تمایز و تفریق میان کمپلکس‌های زمین‌شناسی با ترکیب متفاوت، بکار می‌روند. این مساله را با ارائه مثالی از لیتیم مورد بحث قرار می‌دهیم.

در یکی از گستره‌ها، نوسانات مقدار لیتیم برای مقادیر مرزی با احتمال ۰/۰۱ برای دو نوع سنگ گرانیتوئید موجود در ناحیه، محاسبه شد. گرانیت‌های یکی از این دو نوع (نوسانات مقدار لیتیم از ۲۰ تا ۵۰۰ ppm) از نظر نهشته‌های عنصر کمیاب، بالقوه امیدبخشند، گرانیت‌های نوع دیگر (نوسانات مقدار لیتیم از ۵ تا ۵۰ ppm) عملاً سترون می‌باشند. در این مورد مقدار ۵۰ ppm را می‌توان بعنوان یک معیار تلقی نمود، احتمال پیدایش لیتیم در این گرانیت‌های سترون تنها یک یا دو نمونه (آزمون) درصد نمونه است. برای آنکه گرانیت‌های امیدبخش با گرانیت‌های سترون اشتباه نشود، بایستی احتمال برخورد به مقادیر لیتیمی برابر با ۵۰ ppm یا بیشتر در کمپلکس‌های گرانیتوئیدی بالقوه امیدبخش، مشخص گردد. احتمال مقادیر بیشتر (یا کمتر) از مقدار فوق، به کمک تابع انتگرالی لاپلاس  $\Phi(z)$  محاسبه می‌شود، که در کتابهای مرجع آمار ریاضی و تئوری احتمالات، جدولهایی از این قبیل موجود است (به جدول ۶۳ مراجعه شود). فرمول‌های زیر برای این منظور بکار می‌روند:

$$Z = \frac{a - \bar{x}}{s} \quad ; \quad P_{X > a} = 1 - \Phi(z) \quad (24)$$

که  $a$  مقدار دلخواه تعیین شده بوسیله پژوهشگر است (یا لگاریتم مقدار در مورد توزیع لگاریتمی).  
 $\bar{x}$  و  $s$  به ترتیب مقادیر میانگین حسابی و انحراف استاندارد مقادیر (یا لگاریتم مقادیر) است.  
 $\Phi(z)$  تابع انتگرالی لاپلاس است،  
 $P_{X > a}$  احتمال مقادیری بیشتر از  $a$  معین می‌باشد.

در این مثال، مقدار  $a$  داده شده، ۵۰ ppm است. با توجه به این واقعیت که لیتیم در گرانیت‌ها به صورت لوگ نرمال توزیع شده، در محاسبات بایستی بجای مقادیر حسابی پارامترهای پخش، لگاریتم مقدار عنصر در سنگهای گرانیتوئیدی بالقوه امیدبخش، بکار رود ( $\lg x = 2/0.05$  و  $S_{\lg} = 0/296$ ):

$$\lg 50 = 1/699 \quad ; \quad Z = \frac{1/699 - 2/0.05}{0/296} = 1/04$$

از جدولهای تابع انتگرالی لاپلاس مقادیر زیر بدست می‌آید:

$$\Phi(z) = - (0/351) \\ P_{X > 50} = 1/0 - (-0/351) \quad ; \quad P_{X > 50} = 0/351$$

در نتیجه، در جمعیت ژئوشیمیایی بررسی شده، ۸۵ نمونه از صد نمونه بایستی حداقل ۵۰ ppm لیتیم داشته باشند، یا در هر سری ده نمونه‌ای برداشته شده از یک پشته گرانیتی ضمن نقشه برداری، بایستی حاوی

چند مقدار مختلف لیتیم که برای گرانیت‌های نابارور بحرانی هستند، باشد. این معیار تباین مکفی را فراهم می‌کند (یک نمونه درصد نمونه و ۸۵ نمونه درصد نمونه) و می‌توان آنرا برای نقشه‌هایی که تمرکزهای محتمل را نشان می‌دهند، توصیه نمود.

مساله مشخص نمودن مقادیر ناهنجار عناصر شاخصی که بر طبق نتایج نمونه برداری در یک سری ژئوشیمیایی (Geochemical set) ویژه گروه بندی شدند، به روش همانندی حل می‌شود. از نقطه نظر آمار ریاضی هر مقداری از یک عنصر شیمیایی، که خارج از یک سری ژئوشیمیایی معین قرار گیرد، ناهنجاری بشمار می‌رود. وجود چنین مقادیری در یک سری ژئوشیمیایی، دارای طبیعت تصادفی است و این احتمال وقوع را می‌توان به کمک تحلیل آماری، ارزیابی نمود که در این مورد، به برآورد میزان احتمال برخورد به یک مقدار «ناهنجار» در یک جمعیت ژئوشیمیایی محدود می‌شود.

در تحلیل آماری یک سری ژئوشیمیایی، مقادیر بزرگ (ناهنجار) بایستی مورد آزمون قرار گیرند تا مکفی بودن فاصله مقادیر ناهنجار با مقادیر عادی (کم) که در مجاورت آنها قرار دارند مشخص گردد. میزان احتمال برخورد به مقادیر مشکوک به «ناهنجاری» در یک جمعیت معین به روش یاد شده فوق مورد ارزیابی قرار گرفته است.

نمونه‌هایی از یک سری که، حاصلضرب احتمال در تعداد نمونه (P.N) بسیار کمتر از یک است، ناهنجار بشمار می‌آیند.

اگر فرض شود که سری بررسی شده پیشین دارای صد پنجاهمین نمونه باشد و مقدار لیتیم در این نمونه ۵۰۰ ppm باشد، بین این مقدار و مقدار ۱۲۰ ppm بعدی خلاء فاصله‌ای زیادی وجود دارد. این امر نشانگر آنست که مقدار ۵۰۰ ppm لیتیم یک ناهنجاری است.

اگر این مقدار ناهنجار (۵۰۰ ppm) نیز در این سری گنجانده شود، سبب تغییرات معنی داری در مقادیر پارامترهای توزیع لیتیم در سری پیشین ( $\lg \bar{x} = 1/5$ ،  $S_{\lg} = 0/296$ ) نخواهد شد و این امر به دلیل بزرگی قابل توجه این سری (۱۵۰ عضو) می‌باشد.  
 با این همه، برآورد میزان احتمال برخورد به یک مقدار ۵۰۰ ppm در این جمعیت، طبیعت ناهنجار آن را نشان می‌دهد:

$$\lg 500 = 2/699 \quad ; \quad Z = \frac{2/699 - 1/5}{0/296} = 4/0 \quad ; \quad \Phi(z) = 0/4999$$

$$P_{X > a} = 1/0 - 0/4999 = 0/0001$$

در نتیجه، احتمال وجود یک مقدار ۵۰۰ ppm یا بیشتر در یک جمعیت معین تنها یک در ده هزار نمونه است، حاصلضرب  $P.N = 0/15$  بسیار کمتر از یک است، که نشانگر یک خصلت ناهنجار برای مقدار ۵۰۰ ppm لیتیم است که تیپیک سری ژئوشیمیایی داده شده نیست.

اکنون بایستی بررسی شود که آیا مقدار ۱۵۰ ppm لیتیم برای سری ژئوشیمیایی مورد بررسی یک ناهنجاری است یا نه.

$$\lg 150 = 2/176, z = \frac{2/176 - 1/49}{\sqrt{280}} = 2/45, \phi(z) = 0/4928$$

$$P_{x > a} = 0/5 - 0/4928 = 0/0072$$

احتمال برخ رد نمونه‌هایی با مقدار لیتیمی برابر 150 ppm یا بیشتر در این مورد، به 7 نمونه در هزار می‌رسد. حاصله رب  $P(N) = 1/06$  است. بنابراین مقدار 150 ppm لیتیم برای سری مورد نظر که دربرگیرنده 149 حبه است (بطور تئوری ممکن است تنها یک نمونه با این ویژگی موجود باشد) ناهنجاری نیست. این واقعیت که در این مورد خاص به این مقدار برخورد نشده است به علت طبیعت تصادفی نمونه برداری است.

$P.N > 1$

### مقایسه میان سری‌های (Series) توزیع

در عملیات تشابه برداری و اکتشافات ژئوشیمیایی که سعی بر آشکار ساختن نمونه‌های مشترک یا تفاوت‌های موجود میان برخی از سازندهای زمین‌شناسی است، اغلب مجبور به مقایسه سریهای نمونه‌های برداشته شده از واح سنگهایی که از نظر لیتولوژیکی همانندند، می‌باشیم. معنی دار بودن یا معنی دار نبودن تفاوت میانگین‌ها و پراشهای سریهایی که با هم مقایسه می‌شود، بایستی اثبات گردد. اگر این مقایسه انجام نشود، سریهایی که تنها بطور تصادفی متفاوتند ممکن است به اشتباه ناهمانند بشمار آیند یا برعکس، سریهایی که تفاوت کم ولی مهمی دارند ممکن است به اشتباه یکسان تصور شوند. به منظور مقایسه میانگین‌های دو سری، ابتدا برابر بودن پراشهای  $S_1^2$  و  $S_2^2$  (یا  $S_{1g}^2$  و  $S_{2g}^2$ ) بایستی اثبات شود. برای این منظور آزمون فیشر (F) بکار می‌رود. جدولهای مقادیر بحرانی F برای سطوح معنی دار بودن 0 درصد و یک درصد را در کتابهای مرجع آمار ریاضی می‌توان یافت. مقدار F چنین تعیین می‌شود:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (25)$$

پراش بیشتر، در خروج قرار می‌گیرد. شمار درجه‌های آزادی برابر است با شمار نمونه‌ها منهای عدد  $(K = N - 1)$  که بر روی سری تعیین می‌شود. اگر مقدار بدست آمده کمتر از مقدار موجود در جدول و برای سطح معنی دار بودن معینی باشد، در آنصورت تفاوت میان پراشها، بی‌اهمیت تلقی می‌شود. در مورد دوم مقایسه میان میانگین‌های  $\bar{x}_1$  و  $\bar{x}_2$  (یا میان  $\lg \bar{x}_1$  و  $\lg \bar{x}_2$ ) انجام می‌شود. برای اینکار از آزمون استیودنت (t) با استفاده از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}} \quad (26)$$

اگر مقدار t بدست آمده بیش از 1/96 باشد، تفاوت میان میانگین‌ها مهم بشمار می‌آید (این رقم مربوط به 0 درصد تراز اطمینان می‌باشد). در غیر اینصورت وجود تفاوت فرضی میان میانگین‌ها، رد می‌شود. هم‌ارزی آزمون شده میان میانگین‌ها و پراشها معمولاً به عنوان شاخص همانندی بین سریهای مقایسه شده در نظر گرفته می‌شود.

در عملیات اکتشاف زمین‌شناسی و نیز در فرهنگ زمین‌شناسی، مواردی دیده شده، که نتیجه گیریهای اصلی تئوری یا عملی، بر اساس شمار محدودی از دانسته‌های تجزیهای یا حتی تنها بر پایه اندازه گیریهای تجربی، استوار بوده است. پژوهشگری که طبیعت تصادفی دانسته‌های تجزیهای را بحساب نمی‌آورد، اغلب ممکن است به نتیجه گیری اشتباه و یا غیرمتمولی برسد، بدون آنکه حتی مشکوک به خطا باشد. این امر را می‌توان با مثالهایی نشان داد.

در بررسی توزیع تانتالیم در میکاهای موجود در پگماتیت‌ها، به منظور یافتن معیارهای ژئوشیمیایی اکتشاف برای پگماتیت‌های تانتالیم‌دار در یک نهشته پگماتیستی، پارامترهای توزیع این عنصر در موسکوویت و بیوتیت اندازه گیری شد.

n	$\bar{x}$ , ppm	$\lg \bar{x}$	$\frac{2}{S_g^2}$	$S_g$	$\nu, \%$
10	50	1.60	0.205	0.453	بیوتیت
12	37	1.416	0.190	0.436	موسکوویت

با توجه به اینکه در مراحل آخر تشکیل پگماتیت، موسکوویت جای بیوتیت را می‌گیرد، امکان دارد چنین تعبیر کرد (بر پایه مقادیر میانگین تانتالیم در میکاها) که در روند موسکوویتی شدن بیوتیت تانتالیم خارج می‌شود. افزون بر این، معقول است که ادعا شود این خروج همراه با تشکیل کلمبیت-تانتالیت که خصلت پگماتیت‌های موسکوویت‌دار است، هماهنگی دارد. سئوالی که پیش می‌آید اینست که آیا این تعبیر، که بر پایه تفاوت‌های قابل ملاحظه مقادیر تانتالیم در بیوتیت و موسکوویت استوار است، بوسیله این داده‌ها بخوبی و بطور بسنده اثبات می‌شوند، آیا تفاوت 18 ppm تانتالیم در این مورد معنی دار و قابل توجه است، و اگر چنین است، آیا این امر به سبب تفاوت‌هایی که در توزیع این عنصر در بیوتیت و موسکوویت وجود دارد، نمی‌باشد؟ اهمیت تفاوت مقدار تانتالیم در موسکوویت و بیوتیت را می‌توان به کمک آزمون فیشر (F) و آزمون استیودنت (t) و با استفاده از فرمولهای معادلات (25) و (26)، ارزیابی نمود.

t	F	n
$1/0(1/96)^*$	$1/08(2/90)^*$	10
		12

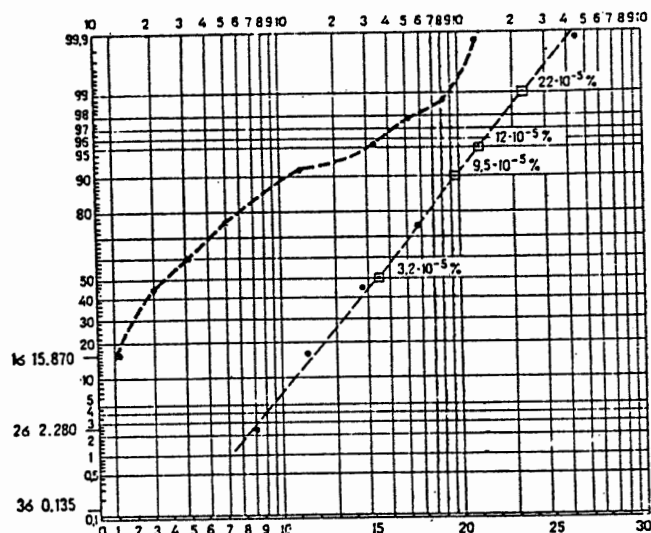
\* مقادیر داخل پرانتز برای سطح معنی دار بودن 0.5% می‌باشد.

مقادیر محاسبه شده F و t (برای 0.5% سطح معنی دار بودن) بسیار کمتر از مقدار استخراجی آن از جدول

### روش ترسیمی برای تعیین تابع و پارامترهای توزیع عنصر

علاوه بر روش تحلیلی یاد شده برای تعیین تابع و پارامترهای توزیع در بررسیهای ژئوشیمیایی، روشهای ترسیمی نیز وجود دارند. آسانتر از همه روشی است، متکی بر استفاده از کاغذ احتمال که اولین بار بوسیله رازوموفسکی<sup>۱</sup> در ژئوشیمی بکار برده شد.

این کاغذ نموداری، دارای شبکه‌ای است که به شکل ویژه‌ای خط‌کشی شده است. به این ترتیب که مقادیر عنصر را در امتداد محور X ها در مقیاس خطی، در پائین و در مقیاس لگاریتمی، در بالا نشان داده می‌شود. در امتداد محور Y ها نیز فراوانی انباشتی نسبی مقادیر رسم شده است. خطی که نقاط موجود در روی شبکه احتمال را بهم وصل می‌کند، منحنی فراوانی انباشتی نسبی را نشان می‌دهد (شکل ۹۳).



شکل ۹۳. شبکه احتمال رازوموفسکی که برای تعیین ترسیمی قانون توزیع برآوردهای آماری، و پارامترهای توزیع در یک جمعیت ژئوشیمیایی بکار می‌رود.

خط مستقیم یک توزیع نرمال (اگر مقادیر در مقیاس خطی رسم شوند) یا لوگ نرمال (اگر مقادیر در مقیاس لگاریتمی رسم شوند) مشاهدات را نشان می‌دهد. پس از آنکه طبیعت تابع توزیع مشخص و تثبیت شد، پارامترهای بنیادی توزیع میانگین ( $\bar{X}$ ) و انحراف استاندارد (S)، را می‌توان به شکل ترسیمی، تعیین نمود.

می‌باشد، به این معنی که امکان ندارد تفاوت‌های ملاحظه شده میان مقادیر میانگین تانتالیم در بیوتیت‌ها و موسکویت‌ها را مهم و درخور توجه دانست. بنابراین، دانسته‌های کنونی برای اثبات خروج تانتالیم در خلال موسکویتی شدن بیوتیت‌ها، بسنده نیست.

اغلب خط‌های مشابهی در نمونه‌برداری از نهشته‌های کانی غیریکنواختی که توزیع سازنده‌های مفید آنها نایکنواخت است، رخ می‌دهد. هنگامیکه چنین مواردی مقایسه می‌شوند، وجود اختلاف کم میان میانگین‌ها، که به علت نوسانات طبیعی در نمونه‌برداری است، ممکن است با تفاوت‌های واقعی اشتباه شود، که نتیجه آن ارزیابی غیرحقیقی (دروغین) یک کاوش ویژه است. اکنون به بررسی سه رخداد جیوه می‌پردازیم، که یکی از آنها در مرحله اکتشاف، اشتباه ارزیابی شده بود (جدول ۶۶).

جدول ۶۶- ارزیابی پارامترهای پخش جیوه در سه ذخیره معدنی واقع در سنگ آهکها (توزیع لاک نرمال).

رخداد کانسنگ	شمار نمونه‌ها	میانگین حسابی		Sig	S <sub>lg</sub> <sup>2</sup>
		lg $\bar{x}$	$\bar{x}$ , %		
I	۱۵۰	-۰/۸۳۰	۰/۲۴	۰/۴۶	۰/۲۱۰
II	۲۰	-۱/۰۹۷	۰/۰۹	۰/۶۱	۰/۳۷۰
III	۶۰	-۰/۹۵۰	۰/۱۶	۰/۴۸	۰/۲۳۰

با وجود تفاوت‌های ظاهری مقادیر میانگین، هیچ توجیح آماری وجود نداشت که چنین نتیجه‌گیری شود، که توزیع جیوه در این سه رخداد با یکدیگر تفاوت دارد. این نتیجه‌گیری پس از مقایسه آماری میان پراشها و میانگین‌های لگاریتم مقادیر بدست می‌آید.

رخداد کانسنگ	F	t
II, I	۱/۷۷ (۲/۰۰)*	۱/۸۴ (۱/۹۶)
III تا I	۱/۱۰ (۱/۶۰)	۱/۱۰ (۱/۶۰)

در هر دو مورد، مقادیر تئوری F و t بیش از برآوردهای تجربی استخراج شده از سریها است. این امر دلالت بر آن دارد که تفاوت‌های ملاحظه شده، بی‌اهمیتند. صد نمونه دیگر (اضافی) که از رخداد دوم برداشته شده است امکان برآورد دقیقتر مقدار میانگین جیوه را که به ۰/۱۹ افزایش می‌یابد، فراهم می‌کند.

\* - مقادیر داخل پرانتز مقادیر جدولی هستند (F با سطح معنی‌دار بودن ۱٪، t با سطح معنی‌دار بودن ۵٪).

جدول ۶۷- توزیع اورانیم در گرانیت‌ها

فراوانی انباشتی (تجمعی)	فراوانی	فاصله مقادیر (به تصاعد هندسی)* $n \times 10^{-5} \%$	فراوانی انباشتی	فراوانی	فاصله مقادیر (به تصاعد عددی) $n \times 10^{-5} \%$
۲/۱۲۷	۲/۱۲۷	۱ تا	۱۶/۱۲۹	۱۶/۱۲۹	۲ تا ۰
۱۵/۹۰۳	۱۳/۷۷۶	۲-۱	۴۱/۹۳۵	۲۵/۸۰۶	۴-۲
۴۰/۳۷۱	۲۴/۴۶۸	۴-۲	۵۸/۰۶۴	۱۶/۱۲۹	۶-۴
۷۳/۳۴۸	۳۲/۹۷۷	۸-۴	۷۵/۲۶۸	۱۷/۲۰۴	۸-۶
۹۴/۶۲۴	۲۱/۲۷۶	۱۶-۸	۸۶/۰۲۰	۱۰/۷۵۲	۱۰-۸
۹۸/۸۷۹	۴/۲۵۵	۳۲-۱۶	۹۱/۳۹۶	۵/۳۷۶	۱۲-۱۰
۹۹/۹۴۲	۱/۰۶۳	۶۴-۳۲	۹۲/۴۷۱	۱/۰۷۵	۱۴-۱۲
			۹۶/۱۵۹	۲/۶۸۸	۱۶-۱۴
			۹۷/۸۴۷	۲/۶۸۸	۱۸-۱۶
			۹۸/۹۲۲	۱/۰۷۵	۲۰-۱۸
			۹۹/۹۹۷	۱/۰۷۵	۲۲-۲۰

\* شناسایی و تعیین فاصله‌های مقادیر در تصاعد هندسی با شناسایی و تعیین فاصله‌های مقادیر در تصاعد حسابی (عددی) هم‌ارز است.

این ضریب به عنوان میزان همبستگی، تنها در صورتی توجیه می‌شود که متغیرهای اتفاقی  $x$  و  $y$  از یک قانون توزیع پیروی کنند: توزیع نرمال یا لوگ نرمال. ضریب همبستگی از  $-1$  تا  $+1$  تغییر می‌کند. علامت مثبت نشان‌دهنده همبستگی مثبت است، بدین معنی که افزایش یکی از متغیرهای مقایسه‌ای با افزایش در متغیر دیگر همراه است. در مورد همبستگی منفی (علامت منها)، افزایش (کاهش) در یکی از متغیرها همراه با کاهش (افزایش) متغیر دیگر است. هر چه مقدار ضریب همبستگی به یک نزدیکتر باشد، همبستگی میان متغیرها قویتر است.

$$\bar{x} = \frac{51/7}{12} = 4/3 \quad \bar{y} = \frac{3600}{12} = 300$$

$$\bar{x}^2 = \frac{225/12}{12} = 18/76 \quad \bar{y}^2 = \frac{1296000}{12} = 107500$$

$$\overline{xy} = \frac{16050}{12} = 1337/5 \quad S_x = \sqrt{18/76 - 18/49} = \sqrt{0/27} = 0/52$$

برای روشن شدن روش برآورد ترسیمی، برای مثال از توزیع اورانیم قابل استخراج سریع، به اصطلاح اورانیم پویا، در گرانیت‌ها، استفاده می‌کنیم.

توزیع اورانیم در گرانیت‌ها بوسیله فراوانیهای ارائه شده در جدول ۶۷، مشخص می‌شود. جمع فراوانیها تقریباً برابر ۱۰۰ درصد است.

در این مثال، طوریکه بوسیله خط راست نمودار، در یک مقیاس لگاریتمی نشان داده می‌شود، تابع توزیع مقادیر اورانیم با قانون اوگ نرمال انطباق دارد.

منحنی‌های تصاعد (انباشتی) ممکن است در تعیین پارامترهای زیر مورد استفاده قرار گیرند.  
الف - میانگین و انحراف استاندارد. در مثال بالا، میانگین لگاریتم مقادیر بوسیله مقدار منحنی فراوانی انباشتی در نقطه  $1/5$  برآورد می‌شود. انحراف استاندارد، بوسیله تفاضل مقادیری که مربوط به هشتاد و چهارمین «صدی» و میانگین است، برآورد می‌شود.

ب - احتمال خورد به مقادیری بیش از آنچه در داده‌ها مشخص شده است. این امر با استفاده از فرمول  $P = 100 - \alpha$ ،  $\alpha$  فراوانی انباشتی مربوط به مقدار معینی است، صورت می‌گیرد. این امر به روش تعیین تمرکزهای ناهنجار در سطوح مختلف معنی‌دار بودن مربوط می‌شود. تعیین تمرکزهای ناهنجار منحصر به حل مسأله‌ای عکس آنچه در بالا بیان شد، می‌گردد. برای مثال بمنظور تعیین کمترین مقادیر ناهنجاری در سطح معنی‌دار بودن ۱ درصد (در یک سر منحنی) به کمک منحنی انباشتی، تنها کافایت که مقدار مربوط به فراوانی انباشتی ۹۹ درصد را روی محور  $x$ ها بدست آوریم، برای سطح معنی‌دار بودن ۵ درصد مقدار مربوطه در منحنی انباشتی، ۹۵ درصد خواهد بود و به همین ترتیب (فراوانیهای انباشتی مورد نیاز ممکن است به کمک فرمول  $P = 100 - \alpha$  که  $P$  سطح معنی‌دار بودن مشخص شده بر حسب درصد است، تعیین شود).

در مثال بالا، مقادیر ناهنجار اورانیم برای سطح معنی‌دار بودن ۱، ۵ و ۱۰ درصد به ترتیب برابر است با  $10^{-5}$ ،  $10^{-1}$ ،  $10^{-2}$ ،  $10^{-5}$ ،  $10^{-9}$ ،  $10^{-13}$  درصد (به شکل ۹۳ مراجعه شود). از اینرو روش ترسیمی برای مشخص نمودن نوع تبع و اندازه‌گیری پارامترهای توزیع مورد نظر، به نسبت، ساده است. البته دقت آن از روش‌های تجزیه‌ای کمتر است. بنابراین روش اخیر بایستی برای کنترل و نیز در مواردی که مقادیر دقیق پارامترها مورد نیاز باشد مورد استفاده قرار گیرد.

### تعیین همبستگی میان متغیرها

در بررسیهای ژئوتیمیایی، تعیین همبستگی میان متغیرها، بویژه میان مقادیر عناصر گوناگون در سازندهای زمین‌شناسی، بخصوص، اغلب ضرورت پیدا می‌کند. همبستگی ممکن است خطی یا خط-منحنی باشد. در مورد اول، تغییرات یک متغیر، تناسب مستقیم با تغییرات متغیر دیگر دارد. در مورد همبستگی خط-منحنی، شرط وابستگی، تناسبی نقض می‌شود و رابطه پیچیده‌تری حاصل می‌گردد.  
ضریب همبستگی، مقداری است که وابستگی میان متغیرهای اتفاقی  $x$  و  $y$  را نشان می‌دهد. البته کاربرد

هنگامیکه ضریب همبستگی نمونه محاسبه شد، می توان آنرا از نظر سطح معنی دار بودن آزمایش کرد. این عمل با استفاده از جدولهایی که مقادیر بحرانی ضریب همبستگی در آنها قید گردیده، انجام می شود، در این جدول مقدار  $r$  برای درجات آزادی مختلف  $f = n - 2$ ، که  $n$  تعداد نمونه هاست تعیین شده است. چنین جدولهایی در ضمیمه های کتابهای مرجع و دستورات عملهای آمار ریاضی موجودند. در مثال ما (شکل ۹۴ جدول ۶۹)،  $f = 12 - 2 = 10$ .

مقدار بحرانی جدولی ضریب همبستگی برای سطح معنی دار بودن ۵ درصد در  $f = 10$ ،  $r = 0.576$  است، که کمتر از مقدار محاسبه شده برای  $r$  است. بنابراین نتیجه می گیریم که همبستگی میان مقادیر پتاسیم و روییدیم حقیقی است.

$$S_y = \sqrt{107500 - 90000} = \sqrt{17500} = 132/3$$

$$r = \frac{1327/5 - 1290}{0.52(0)132/3} = \frac{47/5}{68/796} = +0.69$$

در عملیات ژئوشیمیایی هنگامیکه شمار عنصرها در یک سری محدود باشد، مقدار تقریبی ضریب همبستگی،  $r$ ، محاسبه می شود، نه مقدار حقیقی آن  $\rho$ . ضریب همبستگی نمونه،  $r$ ، از فرمول زیر محاسبه می گردد.

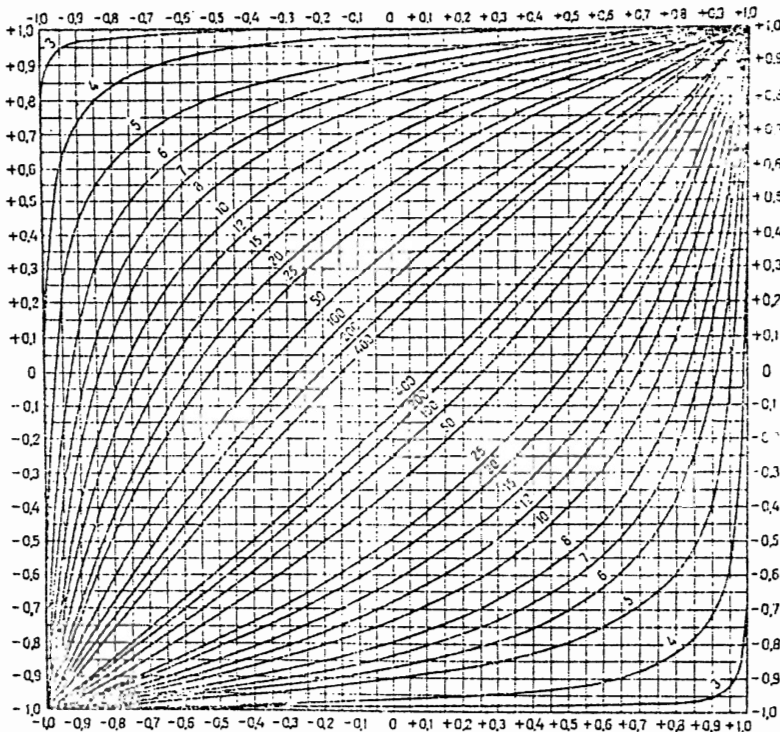
$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{S_x S_y} \quad (27)$$

$$S_x = \sqrt{\overline{x^2} - (\bar{x})^2} \quad S_y = \sqrt{\overline{y^2} - (\bar{y})^2} \quad (28)$$

معادله (۲۷) در مورد توزیع نرمال داده ها، بکار می رود. در مورد توزیع لوگ نرمال، در فرمولهای بالا به ترتیب  $x_i$ ،  $lg x_i$ ،  $lg y_i$ ،  $lg y$ ،  $lg x$ ،  $\bar{x}$ ،  $\bar{y}$  و  $\bar{v}$  قرار می گیرند. محاسبه ضریب همبستگی میان مقادیر (در ۱۲ نمونه) پتاسیم و روییدیم را در تراکتها بعنوان یک توزیع نرمال، با مثال زیر، مورد بررسی قرار می دهیم (جدول ۶۸).

جدول ۶۸- محاسبه ضریب همبستگی  $r$

xy	$y^2$	$x^2$	مقدار روییدیم ppm	مقدار پتاسیم %
۳۳۰	۱۰/۰۰۰	۱۰/۸۹	۱۰۰	۳/۳
۹۰۰	۶۲/۵۰۰	۱۲/۹۶	۲۵۰	۳/۶
۵۸۵	۲۲/۵۰۰	۱۵/۲۱	۱۵۰	۳/۹
۶۱۵	۲۲/۵۰۰	۱۶/۸۱	۱۵۰	۴/۱
۱/۲۶۰	۹۰/۰۰۰	۱۷/۶۴	۳۰۰	۴/۲
۱/۴۷۰	۱۲۲/۵۰۰	۱۷/۶۴	۳۵۰	۴/۲
۱/۹۸۰	۲۰۲/۵۰۰	۱۹/۳۶	۴۵۰	۴/۴
۶۰۰	۲۲/۵۰۰	۲۱/۱۶	۴۵۰	۴/۶
۲/۰۷۰	۲۰۲/۵۰۰	۲۱/۱۶	۴۵۰	۴/۶
۱/۸۰۰	۱۶۰/۰۰۰	۲۰/۲۵	۴۰۰	۴/۵
۱/۷۵۰	۱۲۲/۵۰۰	۲۵/۰۰	۳۵۰	۵/۰
۲/۸۰۰	۲۵۰/۰۰۰	۲۷/۰۴	۵۰۰	۵/۲
۱۶/۰۵۰	۱/۲۹۰/۰۰۰	۲۲۵/۱۲	۳۶۰۰	۵۱/۶



شکل ۹۴. فاصله های اطمینان برای ضریب همبستگی یک جمعیت اصلی (احتمال اطمینان ۰/۹۵ است).

f	۹			
	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵
۱	۰/۹۹۹۹۸۸	۰/۹۹۹۸۷۷	۰/۹۹۹۵۰۷	۰/۹۹۹۹۲
۲	۰/۹۹۹۰۰	۰/۹۹۰۰۰۰	۰/۹۸۰۰۰	۰/۹۵۰۰۰
۳	۰/۹۹۹۱۱۶	۰/۹۵۸۷۳	۰/۹۳۴۳۳	۰/۸۷۸۳
۴	۰/۹۷۴۰۶	۰/۹۱۷۲۰	۰/۸۸۲۲	۰/۸۱۱۴
۵	۰/۹۵۰۷۴	۰/۸۷۴۵	۰/۸۳۲۹	۰/۷۵۴۵
۶	۰/۹۲۴۹۳	۰/۸۳۴۳	۰/۷۸۸۷	۰/۷۰۷
۷	۰/۸۹۸۲	۰/۷۹۷۷	۰/۷۴۹۸	۰/۶۶۶۴
۸	۰/۸۷۲۱	۰/۷۶۴۶	۰/۷۱۵۵	۰/۶۳۱۹
۹	۰/۸۴۷۱	۰/۷۳۴۸	۰/۶۸۵۱	۰/۶۰۲۱
۱۰	۰/۸۲۳۳	۰/۷۰۷۹	۰/۶۵۸۱	۰/۵۷۶۰
۱۱	۰/۸۰۱۰	۰/۶۸۳۵	۰/۶۳۳۹	۰/۵۵۲۹
۱۲	۰/۷۸۰۰	۰/۶۶۱۴	۰/۶۱۲۰	۰/۵۳۲۴
۱۳	۰/۷۶۰۳	۰/۶۴۱۱	۰/۵۹۲۳	۰/۵۱۳۹
۱۴	۰/۷۴۲۰	۰/۶۲۲۶	۰/۵۷۴۲	۰/۴۹۷۳
۱۵	۰/۷۲۴۶	۰/۶۰۵۵	۰/۵۵۷۷	۰/۴۸۲۱
۱۶	۰/۷۰۸۴	۰/۵۸۹۷	۰/۵۴۲۵	۰/۴۶۸۳
۱۷	۰/۶۹۳۲	۰/۵۷۵۱	۰/۵۲۸۵	۰/۴۵۵۵
۱۸	۰/۶۷۸۷	۰/۵۶۱۴	۰/۵۱۵۵	۰/۴۴۳۸
۱۹	۰/۶۶۵۲	۰/۵۴۸۷	۰/۵۰۳۴	۰/۴۳۲۹
۲۰	۰/۶۵۲۴	۰/۵۳۶۸	۰/۴۹۲۱	۰/۴۲۲۷
۲۵	۰/۵۹۷۴	۰/۴۸۶۹	۰/۴۴۵۱	۰/۳۸۰۹
۳۰	۰/۵۵۴۱	۰/۴۴۸۷	۰/۴۰۹۳	۰/۳۴۹۴
۳۵	۰/۵۱۸۹	۰/۴۱۸۲	۰/۳۸۱۰	۰/۳۲۴۶
۴۰	۰/۴۸۹۶	۰/۳۹۳۲	۰/۳۵۷۸	۰/۳۰۴۴
۴۵	۰/۴۶۳۸	۰/۳۷۲۱	۰/۳۳۸۴	۰/۲۸۷۵
۵۰	۰/۴۴۳۳	۰/۳۵۴۱	۰/۳۲۱۸	۰/۲۷۳۲
۶۰	۰/۴۰۷۸	۰/۳۲۴۸	۰/۲۹۴۸	۰/۲۵۰۰
۶۵	۰/۳۷۹۹	۰/۳۰۱۷	۰/۲۷۳۷	۰/۲۳۱۹
۷۰	۰/۳۵۶۸	۰/۲۸۳۰	۰/۲۵۶۵	۰/۲۱۷۲
۸۰	۰/۳۳۷۵	۰/۲۶۷۳	۰/۲۴۲۲	۰/۲۰۵۰
۹۰	۰/۳۲۱۱	۰/۲۵۴۰	۰/۲۳۰۱	۰/۱۹۴۶
۱۰۰	۰/۳۰۵۰	۰/۲۳۰۱	۰/۲۱۹۶	۰/۱۸۳۸

همبستگی رتبه‌ای

روشهای تجزیه نیمه کمی، بویژه روش تجزیه نیمه کمی اسپکتروگرافی نشری در بررسیهای ژئوشیمیایی نهشته‌های معدنی بطور گسترده‌ای بکار می‌روند. داده‌های حاصل از چنین تجزیه‌هایی، اغلب از قانون نرمال (لوگ نرمال) پیروی نمی‌کنند، به این دلیل است که روش مشروح در بالا بطور معمول در مورد آنها بکار نمی‌رود.

روش محاسبه ضریب همبستگی رتبه‌ای را می‌توان برای تعیین همبستگی میان مقادیر عناصر مختلف با استفاده از نتایج تجزیه نیمه کمی بکار برد.

ویژگی این روش، آسانی انجام محاسبات است. و کاربرد آن به قانون توزیع داده‌های حاصل محدود نمی‌شود. روش محاسبه ضریب همبستگی رتبه‌ای میان مقادیر سرب و روی در هاله‌های اندونیک پیرامون توده‌های کانساری چندفلزی را، با مثالی، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

ستون ۱، جدول ۷۰، شمار نمونه‌ها و ستون ۲، مقادیر سرب را ارائه می‌دهد. در ستون ۳، نمونه‌ها بر طبق افزایش مقدارشان رتبه‌بندی شده‌اند. در مواردی که چند نمونه مقدار یکسانی دارند (ناشی از تجزیه اسپکتروگرافی نشری نیمه کمی) به هر نمونه رتبه‌ای برابر با میانگین رتبه‌های متوالی داده شده است. برای مثال، در جدول ۷۰، سه نمونه به شماره‌های ۱ و ۶ و ۸ با شماره رتبه‌های ۲ و ۳ و ۴، مقدار سرب برابری دارند (۰/۰۱ تا ۰/۰۳) میانگین رتبه آنها بطوریکه در ستون ۴ نشان داده شده است، برابر  $\frac{۲+۳+۴}{۳}$  است.

جدول ۷۰- محاسبه ضریب رتبه

شماره ردیف	مقدار سرب %	شماره رتبه		مقدار روی %	شماره رتبه		مربع تفاوتها Δ۲
		مقدماتی	تنظیم شده		مقدماتی	تنظیم شده	
۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
۱	۰/۰۱	۳	۴	۰/۰۳	۸	۸/۵	۳۰/۲۵
۲	۰/۰۱	۹	۹	۰/۰۳	۹	۸/۵	۰/۲۵
۳	۰/۰۳	۵	۵	۰/۳	۱۱	۴/۵	۲۰/۲۵
۴	۱/۰	۱۲	۱۲	۱/۰	۱۲	.	.
۵	۰/۰۳	۶	۶	۰/۰۳	۷	۶/۵	.
۶	۰/۰۱	۳	۳	۰/۰۱	۳	۲/۵	۰/۲۵
۷	۰/۰۱	۱۰	۱۰	۰/۰۱	۴	۶/۵	۴۲/۲۵
۸	۰/۰۱	۲	۲	دیده نشده	۱	۲/۰	۴/۰
۹	۰/۰۳	۷	۷	۰/۰۱	۵	۱/۵	۲/۲۵
۱۰	۰/۰۳	۸	۸	۰/۰۳	۶	۶/۵	.
۱۱	۰/۰۱	۱۱	۱۱	۰/۰۱	۱۰	۱۰/۵	۰/۲۵
۱۲	۰/۰۱	۱	۱	۰/۰۱	۲	۲/۵	۲/۲۵
Σ (Δ)² = ۱۰۲							



جدول ۷۱- مقادیر بحرانی مجموع مربعات اختلافهای میان شماره‌های سری

تراز معنی دار بودن، %		تعداد نمونه‌ها	تراز معنی دار بودن، %		تعداد نمونه‌ها
۱	۵		۱	۵	
۱۱۱۵-۳۴۸۵	۱۳۷۰-۳۲۳۰	۲۴	۰-۴۰	۵	
۱۲۸۷-۳۹۱۳	۱۵۷۰-۳۶۳۰	۲۵	۰-۷۰	۶	
۱۴۷۵-۴۳۷۵	۱۷۸۹-۴۰۶۱	۲۶	۴-۱۰۸	۱۲-۱۰۰	۷
۱۶۸۱-۴۸۷۱	۲۰۲۸-۴۵۲۴	۲۷	۱۰-۱۵۸	۲۲-۱۴۶	۸
۱۹۰۶-۵۴۰۲	۲۲۸۷-۵۰۲۱	۲۸	۲۴-۲۱۶	۴۰-۲۰۰	۹
۲۱۴۹-۵۹۷۱	۲۵۶۹-۵۵۵۱	۲۹	۳۹-۲۹۱	۶۱-۲۶۹	۱۰
۲۴۱۴-۶۵۷۶	۲۸۷۳-۶۱۱۷	۳۰	۵۸-۳۸۲	۸۸۳۵۲	۱۱
۲۷۰۰-۷۲۲۰	۳۱۹۹-۶۷۲۱	۳۱	۸۴-۴۸۸	۱۲۱-۴۵۱	۱۲
۳۰۰۸-۷۹۰۴	۳۵۰۰-۷۳۶۲	۳۲	۱۱۵-۶۱۳	۱۶۳-۵۶۵	۱۳
۳۳۳۸-۸۶۳۰	۳۹۲۶-۸۰۴۲	۳۳	۱۵۴-۷۵۶	۲۱۳-۶۹۷	۱۴
۳۶۹۳-۹۳۸۷	۴۳۲۸-۸۷۶۲	۳۴	۲۰۱-۹۱۹	۲۷۲-۸۴۸	۱۵
۴۰۷۳-۱۰۲۰۷	۴۷۵۷-۹۵۲۳	۳۵	۲۵۷-۱۱۰۳	۳۴۲-۱۰۱۸	۱۶
۴۴۷۶-۱۱۰۶۴	۵۲۱۳-۱۰۳۲۷	۳۶	۳۲۲-۱۳۱۰	۴۲۳-۱۲۰۹	۱۷
۴۹۰۸-۱۱۹۶۴	۵۶۹۸-۱۱۱۷۴	۳۷	۳۹۸-۱۵۴۰	۵۱۵-۱۴۲۳	۱۸
۵۳۶۶-۱۲۹۱۲	۶۲۱۳-۱۲۰۶۵	۳۸	۴۸۴-۱۷۹۶	۶۲۱-۱۶۵۹	۱۹
۵۸۵۳-۱۳۹۰۷	۶۷۵۸-۱۳۰۰۲	۳۹	۵۸۳-۲۰۷۷	۷۴۰-۱۹۲۰	۲۰
۶۳۶۷-۱۴۹۵۳	۷۳۳۴-۱۳۰۸۶	۴۰	۶۹۵-۲۳۸۵	۸۷۳-۲۲۰۷	۲۱
			۸۲۰-۲۷۲۲	۱۰۲۲-۲۵۲۰	۲۲
			۹۶۰-۳۰۸۸	۱۱۸۷-۲۸۶۱	۲۳

مقادیر بحرانی بازاء شمار نمونه‌ها، و در سطوح معنی دار بودن ۵٪ و ۱٪ در جدولهای مربوطه (با احتمال ۹۵ و ۹۹ درصد) در دسترس می‌باشد. اگر مجموع بدست آمده کمتر از حد پائینی مقادیر موجود در جدول (جدول ۷۱) باشد، در آن صورت ضریب همبستگی معنی دار بوده و همبستگی مثبتی را نشان می‌دهد. اگر بیش از حد بالایی باشد، ضریب همبستگی معنی دار است ولی همبستگی منفی را نشان می‌دهد. اگر حاصل مجموع بدست آمده در فاصله‌های موجود در جدول قرار گیرد، همبستگی معنی دار تلقی نمی‌شود.

در این مثال، حاصل مجموع مربعات اختلاف بین رتبه‌ها بعد از تصحیح، برابر ۱۱۱/۵ است. در جدولهای مقادیر بحرانی، این حاصل جمع وجود همبستگی مثبت معنی داری را میان مقادیر سرب و روی نشان می‌دهد. این امر تنها در مورد سطح معنی دار بودن ۵٪ صدق می‌کند. البته، تجربه نشان داده است که

درجه‌های رتبه‌ای برای روی نیز بهمین طریق تعیین می‌شوند (ستونهای ۶ و ۷). سپس میزان اختلاف (ستون ۸) و مربع اختلافها (ستون ۹) برای سرب و روی محاسبه می‌شود. همبستگی رتبه‌ای با استفاده از فرمول زیر تعیین می‌گردد.

$$r_n = 1 - \frac{6 \sum (\Delta^2)}{n(n^2 - 1)} \quad (29)$$

که  $\sum (\Delta^2)$  مجموع مربع اختلاف رتبه‌ها و  $n$  شمار نمونه‌ها است. به علت آنکه در مثال بالا برخی رتبه‌ها خیلی بهم نزدیکند، محاسبه همبستگی رتبه‌ای طبق معادله زیر انجام می‌شود.

$$r_n = 1 - \frac{6 (\sum (\Delta^2) \pm T_x + T_y)}{n(n^2 - 1)} \quad (30)$$

که  $T_x$ ،  $T_y$  تصحیح‌های مربوط به هر یک از رتبه‌های نزدیک بهم را نشان می‌دهد. این تصحیح‌ها بوسیله فرمول زیر تعیین می‌شوند:

$$T_x = \sum \frac{t_i^3 - t_i}{12} \quad (31)$$

در مثال فوق برای سرب درجه‌های نزدیک بهم عبارتند از:  $(i=3)$ ،  $۰/۱$  تا  $۰/۰۳$ ،  $۰/۰۳$  تا  $۰/۰۳$ ،  $(t=4)$ ،  $۰/۰۱$  تا  $۰/۰۱$ .

$$T_x = \frac{(3^3 - 3) + (4^3 - 4) + (2^3 - 2)}{12} = \frac{94}{12} \approx 8$$

همچنین برای روی

$$T_y = \frac{(2^3 - 2) + (3^3 - 2) + (2^3 - 2)}{12} = \frac{18}{12} = 1/5$$

بنابراین همبستگی رتبه‌ای محاسبه شده عبارتست از:

$$r_n = 1 - \frac{6(102 + 8 + 1/5)}{12 \times 143} = 1 - 0/39 = +0/61$$

معنی دار بودن همبستگی با بکار بردن حاصل جمع مربع تفاوت‌های میان درجه‌های رتبه‌ای  $(\sum (\Delta^2))$  و تصحیح‌های فراوانی مقادیر، ارزیابی می‌شود.

سطح معنی‌دار بودن ۰.۰۵٪ (احتمال ۰.۹۵٪) در تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی قابل قبول است.

روش تحلیل هد بستگی در اکتشافات ژئوشیمیایی حل مسائل اصلی زیر را ممکن می‌سازد:

الف - شناسایی عناصر شاخص از طریق ارزیابی قدرت همبستگی میان مقادیر عناصر با ارزش اقتصادی و عناصر همراه. مواد طبیعی گوناگون و نیز برای تعیین همبستگی میان مقادیر عناصر در سرهای: گیاه- خاک، خاک- سنگ بستر، گیاه- خاک- سنگ بستر.

ب - برآورد تغییرات مرتبط به موقعیت فضائی ماده مورد بررسی، نسبت به توده کانساری، بر طبق ویژگیهای تغییرات همبستگی بیان عناصر شاخص.

ج - مشخص نمودن سوره مختلف خاستگاه سازندهای زمین‌شناسی به کمک تحلیل همبستگی میان عناصر شاخص.

وجود همبستگی میان: یک عنصر (کانساری) اقتصادی و کانیهای همراه، امکان می‌دهد که این کانیها در اکتشاف به عنوان مشخصه‌های توده‌های کانساری بکار روند. برای مثال وجود همبستگی روشنی میان لیتیم که عنصر تیمورف اپل گرانیت‌های تانتالیم‌دار است و فلوتور، روبیدیم، بریلیم و قلع در هاله‌های ژئوشیمیایی اندوژنیک که در مجاورت توده‌های آپلوگرانیت بوجود آمده از شلیست، (جدول ۷۲)، معیار مهمی در اکتشاف برای کانی‌سازی تانتالیم محسوب می‌شود.

جدول ۷۲. همبستگی میان عناصر شاخص در هاله‌های ژئوشیمیایی توده‌های آپلوگرانیت تانتالیم‌دار (از لئونتوا (L.A. Leonteva)).

F	Sn	Be	Rb	Li	
۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۹۰	۰/۹۱	۰/۹۴	Li
۰/۷۹	۰/۷۲	۰/۸۸		۰/۱۰۰	Rb
۰/۸۴	۰/۶۸		۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	Be
۰/۷۵		HC	HC	HC	Sn
	HC	HC	۰/۷۷	۰/۸۰	F
ماسه‌پسنگ					
توجه: H <sub>۲</sub> O یعنی «همبستگی ضعیف»					

استفاده از تغییرات چگال‌نگی همبستگی میان عناصر در هاله‌های اندوژنیک، برای ارزیابی ژرفای یک توده کانساری فرسایش یافته دهن شده، از توجه درخور ملاحظه‌ای برخوردار است. کاربرد این معیارهای ژئوشیمیایی، در آینده، برآورد پتانسیل ذخیره‌های کانسارهای تازه کشف شده را ممکن می‌سازد و در هدایت اکتشافات ژئوشیمیایی به سری امیدبخش‌ترین مناطق اکتشافی کمک شایانی می‌باشد.

این فصل تنها شرحی است بر کاربرد مقدماتی روشهای آماری که در پردازش نتایج ژئوشیمیایی بدست آمده از اکتشافات ژئوشیمیایی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هنگامیکه نیاز به تحلیل ریاضی پیچیده‌تری از دانسته‌های ژئوشیمیایی باشد، بایستی از کتابهای پیشرفته‌تری استفاده شود. برای سرعت بخشیدن به محاسبات، استفاده از کامپیوتر، توصیه می‌شود. در پایان بایستی یادآور شد که کاربرد روشهای آماری کمکی اساسی در پردازش داده‌ها در بررسیهای ژئوشیمیایی است. تجربه نشان داده است که غفلت در بکار بردن روشهای آماری و استفاده از کامپیوترها، می‌تواند به تفسیرهای نادرستی بیانجامد. با اینهمه، از افراط در این کار نیز بایستی خودداری شود، یعنی نبایستی بدون انجام تحلیل کامل مناسبی از چندوچون زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، که استفاده منطقی از یک روش ویژه در کار بررسیهای ژئوشیمیایی را تعیین می‌کند، محور روشهای آماری که در پردازش داده‌ها، معمولند، گردید.

#### ضمیمه

جدول بکار رفته در تعیین اندازه یک سری (set) ژئوشیمیایی با احتمال تضمین شده ۰.۹۵ درصد، که در آن مقدار شاخص ویژه بدفعات معینی، بسته به احتمال تئوریک برخوردار به این مقدار شاخص در جمعیت ژئوشیمیایی، پدیدار می‌شود\*. (برای  $m \geq 1, 3, 5, 8, 10$  بار)

$$N = f(p; P_m \geq 1, 3, 5, 8, 10)$$

که N اندازه سری ژئوشیمیایی با احتمال ۰/۹۵، در بردارنده حداقل m نمونه با مقادیر شاخص معین یا مقادیر بیشتر است.

P احتمال برخوردار به مقداری برابر یا بیشتر از مقدار شاخص در جمعیت ژئوشیمیایی است،  $P_m \geq 1, 3, 5, 8, 10$ ، احتمال برخوردار به حداقل m نمونه با مقادیر شاخص معین یا مقادیری بیشتر در سری ژئوشیمیایی در بردارنده N نمونه است. این احتمال برابر است با ۰/۹۵.

#### مثالی از چگونگی استفاده از جدول

احتمال برخوردار به مقادیری از نسبت Mg/Li کمتر یا مساوی با ۳۰ در گرانیت‌های مادر نهشته‌های لیتیم، بریلیم، تنگستن و تانتالیم‌دار، ۰/۲۷ یا بیشتر است. هدف تعیین تعداد نمونه‌ی است که بایستی از گرانیت‌های بارآور گرفته شود تا با احتمال تضمین شده ۰/۹۵ به حداقل سه نمونه با نسبت Mg/Li برابر یا کمتر از ۳۰ در سری ژئوشیمیایی برخوردار شود.

$$\text{حل: طبق شرط } p = 0/27, m \geq 3, P_m \geq 3 = 0/95$$

با استفاده از جدول، خط افقی‌ای را که مربوط به مقدار  $p = 0/27$  است، پیدا می‌کنیم و از تقاطع  $m \geq 3$  از ستون قائم، با خط افقی مربوط به  $p = 0/27$ ، اندازه سری ژئوشیمیایی را بدست می‌آوریم:  $N = 21$

\* - این جدول بر اساس جدولهایی است که شماری از آزمونها را دربرمی‌گیرد، که به احتمال تضمین شده اتفاقی بوقوع پیوسته، که حداقل بدفعات معینی رخ داده و نیز به احتمال اتفاق مورد نظر در یک آزمون بستگی دارد (چرنیسکی ۱۹۵۷).

در نتیجه به منظور بدست آوردن یک سری ژئوشیمیایی دربرگیرنده حداقل سه نمونه با مقادیر بحرانی نسبت Mg/Li، لازمست ۲۱ نمونه برداشته شود.

### فرهنگ اصطلاحات

از نظر تفاوتی که در کاربرد برخی از اصطلاحات میان زبان روسی و انگلیسی وجود دارد، و بدلیل آنکه پاره‌ای از اصطلاح‌هایی که بطور روزمره در روسی بکار می‌رود، در انگلیسی اساساً شناخته شده نیستند، این فرهنگ لغات کوتاه برای کمک به کسانی که این کتاب را می‌خوانند، تهیه شده است.

**anomaly ratio:** نسبت ناهنجاری - نسبت هر مقدار از ناهنجاری (یا میانگین آن) به مقدار میانگین زمینه می‌باشد و هم‌ارز «تباین» است.

**boundary value:** مقدار مرزی - مقادیر خیلی زیاد یا خیلی کم محاسبه شده با یک احتمال معین.

**clarke:** کلارک - به روسی هم‌ارز «مقدار میانگین (فراوانی پوسته‌ای) یک عنصر» می‌باشد. این اصطلاح بوسیله فرسمن معرفی شد.

**decade:** دهه - یک اصطلاح «تاریخی»، که اولین بار بوسیله ورنادسکی بکار رفته است و در آن عناصر بر پایه یک تفاوت ده برابر (و از اینرو «دهه») در فراوانی پوسته‌ای‌شان به دسته‌هایی گروه‌بندی می‌شوند. دوازده دهه‌ای که عناصر ممکن است در آنها گروه‌بندی شوند، در جدول ۴ ارائه شده است.

**dispersed mineralization:** کانی‌سازی پراکنده - تمرکزهای غیراقتصادی عناصر و کانیها. این اصطلاح هم‌ارز افشان نیست، زیرا که برخی کانی‌سازیه‌ای افشان، مانند نهشته‌های مس پرفیری، می‌توانند اقتصادی باشند.

**distribution parameters:** پارامترهای توزیع - پارامترهای آماری عمده، میانگین، پراش و انحراف استاندارد (در شرایط معینی، ممکن است پارامترهای آماری دیگری را دربرگیرد).

**endogenic:** اندوژنیک - نهشته‌ها و هاله‌ها و جز اینها، تشکیل شده در پوسته زمین در شرایطی که بوسیله درجه حرارت و فشار زیاد مشخص می‌شوند.

exogenic: اگزو نیک - نهشته‌ها، هاله‌ها و جز اینها، تشکیل شده در محیط‌های سطحی و محیط‌های سوپرژن دیگر که بوسیله درجه حرارت و فشار کم مشخص می‌شوند.

hydrographic network (or system): شبکه (یا سیستم) هیدروگرافی یا آبنگاری - سیستم رودخانه‌ای.

hydrographic survey: بررسی هیدروگرافی - بررسی حوضه زهاب (آبریزها).

large scale (mapping): (نقشه برداری) بزرگ - مقیاس - (نقشه برداری) تفصیلی.

linear productivity: باروری (قدرت تولید) خطی - مقدار میانگین یک عنصر یا گروه‌هایی از عناصر (به درصد) سر بر مسافت خطی (به متر)، بر روی یک هاله، منطقه کانساری، و غیره که به متر درصد بیان می‌شود.

lithochemical survey: بررسی‌های لیتوژئوشیمیایی - در ادبیات انگلیسی، یک بررسی لیتوژئوشیمیایی هم‌ارز است با بررسی «سنگ». البته، در ادبیات روسی، لیتوژئوشیمیایی به معنی وسیع‌تری بکار می‌رود. ممکن است افزودن بر بررسی سنگ شامل بررسی رسوبات رودخانه‌ای و خاک نیز باشد.

minimum allowable content: حداقل مقدار ناهنجاری - آستانه

poly metallic deposit: نهشته چند فلزی - نهشته‌هایی مرکب از سرب، روی و سولفورهای مس با خاستگ‌های گوناگون، گرچه ممکن است در برخی موارد در این کتاب اصطلاح «چند عنصری» (که عنصری بجز سرب، روی و مس را مشخص می‌کند)، بکار رود، ولی معمولاً به معنی پلی‌متالیک است.

small scale mapping: (نقشه برداری) کوچک - مقیاس - (نقشه برداری) ناحیه‌ای.

standard cross section: مقطع عرضی استاندارد - مسیرهایی که از روی نهشته کانسنگی یا رخداد کانی که خصوصیات ژئوشیمیایی و دیگر ویژگی‌های آن شناخته شده است، عبور می‌کند، بررسی‌های توجیهی در یک مقطع عرضی استاندارد برای مقایسه با ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی در گستره‌های دیگر، انجام می‌شود.

supergene zone: منطقه یا زون سوپرژن - این اصطلاح، همچنانکه در ادبیات روسی بکار می‌رود، دربرگیرنده بخش بالایی پوسته زمین است که در آن آب و هوازدگی صورت می‌گیرد و انتقال سیالات از همه نوع (آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی، آبهای شور) بوقوع می‌پیوندد. این منطقه همچنین شامل بیوسفر و بخش‌های پائینی اتمسفر حداقل بطور یقین تا ارتفاعاتی که بررسی‌های گازسنجی و برخی از بررسی‌های ژئوفیزیکی هوایی (نظیر پرتوگاما) انجام می‌گیرد، می‌شود. اصطلاح «سوپرژن»: در ادبیات روسی بسیار گسترده‌تر از آن در ادبیات انگلیسی است.

typomorphic (ous) minerals: کانیهای تیپومورف - کانیهایی که ترکیب شیمیایی آنها و یا برخی خواص فیزیکی مانند خواص عادی و ظاهری ویژه برخی فرآیندهای کانی‌سازی است. برای مثال، مقدار عنصر ایک و شکل بلور کاستیریت در پگماتیت‌ها با کاستیریت‌های پیدا شده در انواع دیگر نهشته‌ها فرق دارد.

zonality: زون‌بندی. مفهوم منطقه‌بندی یا زون‌بندی در ادبیات روسی، یعنی تقسیم‌بندی به منطقه‌هایی با

ویژگی‌های طبیعی بر مبنای هر معیار ممکن. این مفهوم منحصر به ژئوشیمی نیست، بلکه در ژئوفیزیک، کانی‌شناسی و جز اینها نیز بکار می‌رود. در اکتشافات ژئوشیمیایی این اصطلاح برای نشان دادن تغییرات طبیعی مقادیر عنصری بکار می‌رود، این تغییرات ممکن است به صورت زون‌های با شکلهای گوناگون (نظیر قائم، افقی) رخ داده باشد.

### هم‌ارزها

٪ وزن	ppm	ppb
۱/۰٪	= ۱۰/۰۰۰ ppm	= ۱۰ <sup>-۲</sup> ٪
۰/۱٪	= ۱/۰۰۰ ppm	= ۱۰ <sup>-۱</sup> ٪
۰/۰۱٪	= ۱۰۰ ppm	= ۱۰ <sup>-۲</sup> ٪
۰/۰۰۱٪	= ۱۰ ppm	= ۱۰ <sup>-۳</sup> ٪
۰/۰۰۰۱٪	= ۱ ppm = ۱/۰۰۰ ppb	= ۱۰ <sup>-۴</sup> ٪
۰/۰۰۰۰۱٪	= ۰/۱ ppm = ۱۰۰ ppb	= ۱۰ <sup>-۵</sup> ٪
۰/۰۰۰۰۰۱٪	= ۰/۰۱ ppm = ۱۰ ppb	= ۱۰ <sup>-۶</sup> ٪
۰/۰۰۰۰۰۰۱٪	= ۰/۰۰۱ ppm = ۱ ppb	= ۱۰ <sup>-۷</sup> ٪
۰/۰۰۰۰۰۰۰۱٪	= ۰/۰۰۰۱ ppm = ۰/۱ ppb	= ۱۰ <sup>-۸</sup> ٪

### برای آبها (محلولهای رقیق)

۱ mg/l = ۱۰ <sup>-۳</sup> g/l = ۱۰۰۰ ppb	یا ۱ ppm
۱۰ <sup>-۴</sup> g/l = ۱۰۰ ppb	
۱۰ <sup>-۵</sup> g/l = ۱۰ ppb	
۱ μg/l = ۱۰ <sup>-۶</sup> g/l = ۱ ppb	
۱۰ <sup>-۷</sup> g/l = ۰/۱ ppb	

## لغت نامه

### آ

<i>eluvium</i>	آبرفت
<i>alluvial</i>	آبرفتی
<i>surface drainages</i>	آبریزهای سطحی
<i>phytoplankton</i>	آبزی
<i>ground water</i>	آب زیرزمینی
<i>salt water</i>	آب شور
<i>fresh water</i>	آب شیرین
<i>hydromorphic</i>	آبگونه
<i>Abies balsamea</i>	آبیزبالسامیا
<i>apogranitic</i>	آپوگرانیت
<i>alkali volcanic</i>	آتشفشان قلیائی
<i>ore showing</i>	آثار معدنی
<i>tectonic- igneous</i>	آذرین - تکتونیکی
<i>echelon- arrangement</i>	آرایش پلکانی
<i>test</i>	آزمون
<i>aspen</i>	آسپن
<i>threshold</i>	آستانه
<i>astragalus</i>	آستراگالوس
<i>deteting</i>	آشکارسازی
<i>impregnate</i>	آغشته شدن
<i>limited information</i>	آگاهیهای محدود

geochemical provinces	استانهای ژئوشیمیایی
readily extractable	استخراج سریع
extract	استخراجی
stephanite	استفانیت
asthenosphere	استنوسفر
stoichiometric	استوئیکیومتری
stibnite	استینیت
acid- forming	اسیدساز
saturated	اشباع شده
the principle of shift in the equilibrium	اصل تغییر مکان در تعادل
Le Chateliers principle	اصل لوشاتلیه
original	اصلی
bold numbers	اعداد درشت
whole numbers	اعداد صحیح
progressive increase	افزایش تصاعدی
simultaneous	افزایش همزمان
additive	افزایشی
added	افزوده
disseminated	افشان
fibrous- disseminated	افشان لیفه‌ای
mottled- disseminated	افشان قطه‌ای
crustal horison	افق پوسته‌ای
representative sampling horizon	افق نمونه‌برداری معرف
plane	افقی
acacia	اقاقیا
prospecting	اکتشافی
oxidizing- reducing	اکسیدکنندگی - احیاءکنندگی
oxidizer	اکسیدکننده
eclogite	اکلوژیت
electrostatic	الکترواستاتیک
orbital electrons	الکترونهای مداری
pattern	الگو

albitization	آلبیتی شدن
alloy	آلیاژ
admixed- admixture	آمیخته
immiscible	آمیزش ناپذیر
clastic	آواری
anion- producing	آنیون‌زا

ا - آ

epidotized	اپیدوتیت شده
epicenters	اپی ساتر
atmosphere	اتمسفر
atmochemical	اتموشیمیایی
interfering effect	اثر تداخل
element association	اجتماعات عنه ری
heavy fractions	اجزاء سنگین
ore components	اجزاء کانه‌ای
one- tailed probability	احتمال یک - ر
probability of occurrence	احتمال وقوع
reduced	احیاء
inclusion	ادخال
genetic affiliation	ارتباط ژنتیکی
evaluating	ارزیابی
assessment of ore showings	ارزیابی آثار معانی
boundary values	ارقام مرزی
Armenia	ارمنستان
correlation spectrometer	اسپکترومتر طیفی
spain	اسپین
dwarf stellaria	استاریای کوتاه
province	استان
standard elevation	استاندارد مقادیر
subprovinces	استان فرعی

redeposition	بازنهیست
elevation	بالآمدگی
upstream	بالارود
ascending	بالارونده
potential governing components	بالقوه تعیین کننده
sounding ballons	بالونهای صوتی
dissolved state	بحالت حل شده
critical	بحرانی
equality	برابر بودن
uplift	برآمدگی
autochthonous	برجا
disected relief	برجستگی جدا از هم
brich	برج
rock survey	بررسی سنگ
core samples	بررسی مغزه ها
tree foliage	برگ درختان
reversible	برگشت پذیر
coniferous needles	برگهای سوزنی در مخروطیان
lava breccias	برشهای گدازه ای
survey	بررسی
mineralogical studies	بررسیهای کانی شناسی
brecciated	برشی شده
superimposition	برنهاد (انطباق)
superimposed	برنهادی
superimposition	برهم نهادن
extrapolation	برون تخمینی (برون پوشش)
exogenic	برونزاد
outcrop	برونزد
ore outcrops	برونزدهای معدنی
coagulation	بسته شدن
adsorbed form	بشکل جذب شده
synthesizing	بطور مصنوعی

seismic wave	امواج زمین لرزه
promising	امیدبخش
accumulation	انباشت
accumulation denudation	انباشت برهنگی
biogenic accumulation	انباشت بیوژنتیکی
relative accumulation	انباشت نسبی
transporter	انتقال دهنده
transport of substance	انتقال مواد
laplace integral	انتگرال لاپلاس
standard deviation	انحراف استاندارد
optimal size	اندازه مطلوب
living organisms	اندامهای زنده
trace	اندک
additive index	اندیس افزایشی یا جمعی
numerical intensity index	اندیس عددی شدت
tribution	انشعابهای فرعی
coincidence in space	انطباق فضایی
impetus	انگیزه
species	انواع
Operayushchaya	اوپریا یوشچایا
peakedness	اوج
sooty uraninite	اورانینیت دوده ای
objectives	اهداف
isomorphic (isomorphous)	ایزومورف

ب

peat bogs; marshy	باتلاقی
productive	بارآور
linear productivity	بارآوری خطی
rearrangement	بازآرایی
residual	بازمانده

<i>smooth</i>	پردازش
<i>processing</i>	پردازش
<i>statistical processing</i>	پردازش آماری
<i>porphyroblastic</i>	پرفیروبلاستیک
<i>enrichment</i>	پرماگی
<i>promezhutochnyi</i>	پرومژوتوکنی
<i>peridotite</i>	پریدوتیت
<i>post- igneous</i>	پسماگمائی
<i>endogenic post- magmatic</i>	پسماگمائی درونزاد
<i>massif</i>	پشته
<i>Ukrainian Crystalline massif</i>	پشته بلورین اوکراین
<i>pegmatite- producing</i>	پگماتیت‌زا
<i>ceramic pegmatites</i>	پگماتیت‌های سرامیکی
<i>echelon- like</i>	پلکانی
<i>pulverization</i>	پودر شدن
<i>bark</i>	پوست درخت
<i>crust</i>	پوسته
<i>veneers</i>	پوششی
<i>mantle</i>	پوشه
<i>mobile</i>	پویا
<i>mobility</i>	پویایی
<i>pyrolite</i>	پیرولیت
<i>picearubens</i>	پیسارابنز
<i>basement</i>	پی سنگ
<i>prediction</i>	پیش‌بینی
<i>geochemical prediction</i>	پیش‌بینی ژئوشیمیائی
<i>scientific predictions</i>	پیش‌بینی علمی
<i>natural body</i>	بیکر طبیعی
<i>prospecting</i>	پی‌گردی
<i>deep lithochemical survey</i>	پیمایش لیتوژئوشیمیائی ژرف
<i>formational affiliation</i>	پیوستگی سازندی
<i>relative conformity</i>	پیوستگی نسبی

<i>ordinate</i>	بُعد
<i>organic remains</i>	بقایای آلی
<i>exploited</i>	بهره‌برداری
<i>linked</i>	بهم پیوسته
<i>exposure</i>	بیرون‌زدگی
<i>ovoid</i>	بیضوی
<i>bilberry</i>	بیلبری
<i>irregularity</i>	بی‌نظمی
<i>biosphere</i>	بیوسفر (زیست کر)

## پ

<i>Patrinia sibirica</i>	پاترینیای سبیری
<i>background distribution parameters of the elements</i>	پارامترهای توزیع زینا عناصر
<i>global and regional distribution parameters</i>	پارامترهای توزیع گس و ناحیه‌ای
<i>local parameters</i>	پارامترهای محلی
<i>deustate</i>	پارگی
<i>fragmental</i>	پاره‌ای
<i>stability</i>	پایداری
<i>migration- stable</i>	پایدار مهاجرتی
<i>downstream</i>	پائین‌رود
<i>redox potential</i>	پتانسیل احیاء
<i>redistribution</i>	پخش دوباره
<i>phenomena</i>	پدیده
<i>variance</i>	پراش (واریانس)
<i>dispersion</i>	پراکندگی
<i>epigenetic dispersion</i>	پراکندگی روزادی
<i>syngenetic</i>	پراکندگی هم‌زایشی
<i>dispersed</i>	پراکنده
<i>finely dispersed</i>	پراکنده ریز
<i>scaller</i>	پراکنش



porosity	تخلخل
confidence level	تراز اطمینان
level of erosion	تراز فرسایش
significance level	تراز معنی‌دار
seepage; percolation	تراوش
water discharge	تراوشهای آبی
trench	ترانشه
chemical composition	ترکیب شیمیائی
constituent	تشکیل دهنده
progressive	تصاعدی
correction	تصحیح
mechanical suspensions	تعلیقهای مکانیکی
delineation	تعیین حدود
random variable	تغییر اتفاقی
internal changes	تغییرات درونی
vertical variation	تغییرات قائم
variability	تغییرپذیری
abrupt change	تغییر ناگهانی
differentiation	تفریق
spatial differentiation	تفریق فضایی
dissociated	تفکیک شده
intersection	تقاطع
subdivision	تقسیم‌بندی فرعی
evolution	تکامل
evolution of matter	تکامل ماده
monoelement	تک عنصری
monomineralic	تک کانی
pumping	تلمبه زدن
concentration	تمرکز
economic concentration	تمرکز اقتصادی
endogenic ore concentration	تمرکز اندوژنیک کانه
tennatite	تنانتیت

mixed- bond
continuous linkage
chemical bonding
ionic bond
bonding
distribution function
tetrahedrite
exponentially
maximum effective
interaction
optimal effective
Tadzhikistan
anticline
constant exchange
contrast
evaporation
volatility
conversion
phase transformations
diagenetic transformation
fractional crystallization
recrystallization
foot hill
affinity
decomposition
partial chemical analysis
association
correlation analysis
large boulders
supergene destruction

ت

پیوند آمیخته
پیوند پیوسته
پیوند شیمیائی
پیوند یونی
پیوندی
تابع توزیع
تتراهدریت
تابع نمایی
تأثیر حداکثر
تأثیر متقابل
تأثیر مطلوب
تاجیکستان
تاقدیس
تبادل ثابت
تباين
تبخیر شدن
تبخیرپذیری
تبدیل
تبدیلات فازی
تبدیل دیاژنتیکی
تبلور جزء به جزء
تبلور دوباره
تپه‌ای
ترکیبی
تجزیه
تجزیه شیمیائی جزئی
تجمع
تحلیل همبستگی
تخته‌سنگهای بزرگ
تخریب سوپرژن

*substituting*  
*incorporation, emplacement*  
*isolating*  
*separation*  
*periodic table*  
*absorption*  
*absorbed*  
*mass*  
*crustal mass*  
*fraction*  
*search*  
*collector*  
*additive*  
*hidden flanks*  
*vegetative shoots*  
*solar atmosphere*  
*poor sorting*  
*meteoric*

جایگزین شدن  
 جایگیری  
 جداسازی  
 جدا شدن  
 جدول تناوبی  
 جذب  
 جذبی  
 جرم  
 جرم پوسته‌ای  
 جزء  
 جستجو  
 جمع‌کننده  
 جمعی  
 جناح نهفته  
 جوانه‌های روئیده  
 جو خورشیدی  
 جورشدگی ضعیف  
 جوی

### ج

*pitting*  
*pit*  
*cycle*  
*erosional sources*  
*thermal springs*  
*density*  
*mode of transport*  
*alpine meadows*  
*multiplicative*  
*distribution polygon*  
*multielement*

چاله  
 چاهک  
 چرخه  
 چشمه‌های فرسایشی  
 چشمه‌های گرمایی  
 چگالی  
 چگونگی انتقال  
 چمن‌های آلپی  
 چندبارگی  
 چند ضلعی توزیع  
 چند عنصری

*alternation*  
*agreement*  
*ore potential*  
*ore producing potential*  
*massive*  
*ore bodies*  
*flat-lying ore bodies*  
*intrusive bodies*  
*subvolcanic bodies*  
*peat bog*  
*distribution*  
*redistribution*  
*elemental distribution*  
*vertical distribution*  
*frequency distribution*  
*precipitation*  
*precipitation*  
*sorption precipitation*  
*aquaregia*  
*taiga*

تناوب  
 توافق  
 توان معدنی  
 توان‌کانه‌زایی  
 توده  
 توده‌های معدنی  
 توده‌های معدنی هم‌وار  
 توده‌های نفوذی  
 توده‌های ولکانیکی زیرسطحی  
 تورب‌زار  
 توزیع  
 توزیع دوباره  
 توزیع عنصری  
 توزیع قائم  
 توزیع نوسانی  
 ته‌نشست  
 ته‌نشین شدن  
 ته‌نشینی جذبی  
 تیزاب سلطانی  
 تیگا

### ث

*constant*  
*equilibrium constant*  
*instability constant*

ثابت  
 ثابت تعادل  
 ثابت ناپایداری

### ج

*dislocation*  
*tectonic dislocation*  
*sorbent*  
*residual*

جابجایی  
 جابجایی تکتونیک  
 جاذب  
 جامانده

<i>bending</i>	خمش
<i>neutralization</i>	خنثی شدن
<i>procumbent</i>	خوابیدگی
<i>properties</i>	خواص
<i>inherent properties</i>	خواص ذاتی
<i>gravitational properties</i>	خواص گرانشی
<i>thermal properties</i>	خواص گرمایی

د

<i>processed data</i>	داده‌های پردازش شده
<i>southeastern limb</i>	دامنه جنوب شرقی
<i>depth range</i>	دامنه ژرفا
<i>fluctuation</i>	دامنه نوسان
<i>admixture</i>	درآمیخته
<i>trace element admixture</i>	درآمیخته عنصر اندک
<i>degree of freedom</i>	درجه آزادی
<i>joint</i>	درزه
<i>feather joints</i>	درزه‌های پَرمانند
<i>capillary crack</i>	درز موئینه
<i>across the strike</i>	در طول امتداد
<i>endogenic</i>	درونزاد
<i>instruction</i>	دستورالعمل
<i>set</i>	دسته
<i>buried</i>	دفن کردن
<i>supergene alteration</i>	دگرسانی سوپرژنی
<i>metasomatically alteration</i>	دگرسانی متاسوماتیکی
<i>rock alterations</i>	دگرسانی‌های سنگ
<i>deformity</i>	دگرشکلی
<i>wood horsetail</i>	دم‌اسب جنگل
<i>leaf- stalk</i>	دمبرگ
<i>drift</i>	دنبال برگ

<i>multimineralization</i>	چندکانی‌سازی
<i>multi stage</i>	چند مرحله‌ای
<i>quartering</i>	چهاربیک
<i>stratum</i>	چینه

ح

<i>molten state</i>	حالت گداخته
<i>specific volume</i>	حجم ویژه
<i>analytical detection limit</i>	حد اندازه‌گیری تجزیه
<i>fluctuation limits</i>	حدود نوسان
<i>petroleum pool</i>	حوضچه نفتی
<i>drainage basin</i>	حوضه زهاب
<i>erosional basin</i>	حوضه فرسایشی

خ

<i>removal</i>	خارج شدن
<i>origin</i>	خاستگاه
<i>sedimentary origin</i>	خاستگاه رسوبی
<i>humus</i>	خاک برگ
<i>poorly drained humid soils</i>	خاک مرطوب با زهکشی
<i>remoral</i>	خروج
<i>specialization</i>	خصوصیات
<i>pronounced specialization</i>	خصوصیات بارز
<i>geochemical specialization</i>	خصوصیات ژئوشیمیائی
<i>metallogenic specialization</i>	خصوصیات فلززایی
<i>character of value</i>	خصوصیات مقدار
<i>error</i>	خطا
<i>contour line</i>	خط تراز
<i>streaky</i>	خط دار
<i>curvilinear</i>	خط منحنی
<i>linear</i>	خطی

<i>sedimentary</i>	رسوبی
<i>suite-range</i>	رشته
<i>dispersion trains</i>	رشته‌های پراکنندگی
<i>behavior</i>	رفتار
<i>impoverished</i>	رقیق
<i>veinlet</i>	رگچه
<i>regression</i>	رگرسیون
<i>vein</i>	رگه معدنی
<i>Rhododendron</i>	رودوندرون
<i>run off</i>	رواناب
<i>pore</i>	روزنه
<i>interstitial</i>	روزنه‌ای
<i>interstitial pores</i>	روزنه‌های بین دانه‌ای
<i>analytical method</i>	روش تجزیه‌ای
<i>blaching of leaves</i>	رنگ پریدگی برگها
<i>superimposition</i>	رونهاد
<i>root</i>	ریشه

ز

<i>apophyse</i>	زائده
<i>airbone geological</i>	زمین‌شناسی هوایی
<i>geochemical background</i>	زمینه ژئوشیمیایی
<i>local geochemical background</i>	زمینه ژئوشیمیایی موضعی
<i>zonality</i>	زون‌بندی
<i>contrasting transverse zonality</i>	زون‌بندی عرضی متباین
<i>axial zonality</i>	زون‌بندی محوری
<i>mineral zonality</i>	زون‌بندی معدنی
<i>Yuzhnaya zone</i>	زون یوژنایا
<i>fissure zone</i>	زون درزه
<i>supergene zone</i>	زون سوپرژن
<i>subzone</i>	زون فرعی

<i>mutual</i>	دوجانبه
<i>remote sensing</i>	دورسنجی
<i>dithizone; dithiazone</i>	دی تیوزون
<i>stratigraphic sense</i>	دیدگاه چینه‌شناسی
<i>diopside- sahlite</i>	دیوپسیت سهلیت

ذ

<i>dispersed particles</i>	ذرات ریز پراکنا ه
<i>metalliferous deposits</i>	ذخایر فلزی
<i>prospective ore reserves</i>	ذخایر معدنی قابل استخراج
<i>deposit</i>	ذخیره
<i>Almalyk metalliferous deposit</i>	ذخیره فلزدار آل الملیک
<i>skarn- multicomponent metal deposit</i>	ذخیره فلزی اسکارن، مرکب
<i>melting</i>	ذوب

ر

<i>interrelationship</i>	رابطه داخلی
<i>Rundy Karamazar</i>	رادنی کرم‌دار
<i>tied ranks</i>	رتبه‌های نزدیک بهم
<i>mineral occurrence</i>	رخداد کانی
<i>facies</i>	رخساره
<i>continental nearshore marinefacies</i>	رخساره‌های دریایی نزدیک ساحل قاره‌ای
<i>manifestation</i>	رخنمایی
<i>hydrological regime</i>	رژیم آب شناختن
<i>classification</i>	رده‌بندی
<i>sequence</i>	ردیف
<i>mobility sequence</i>	ردیف پویایی
<i>vegetation</i>	رستنیها
<i>bottom sediments</i>	رسوبات کف
<i>precipitation</i>	رسوب‌دهنده
<i>sedimentation</i>	رسوب‌گذاری

rose- colored	سرخ‌رنگ
consanguinity	سرشت
velocity	سرعت
statistical series	سری آماری
Oyasaisky Suite	سری او یاسایسکی
successive series	سری پیاپی
sequential series	سری ردیفی
sericitization	سریستی شده
Shurabsai Suite	سری شورآب سائی
significance level	سطح اطمینان
equifers	سطحی
equifers	سفره‌های زمینی
celestite	سلسنتین
Kuraminsky Range	سلسله کورامینسکی
jaw breaker	سنگ خردکن
enclosing rock	سنگ درونگیر
metamorphic rock	سنگ دگرگون
rock- forming	سنگ‌ساز
barren rock	سنگ سترون
petrographically	سنگ‌شناسی توصیفی
felsitic rock	سنگ فلسیتیک
intermediate rock	سنگ متوسط
intrusive rock	سنگ نفوذی
sulfophile	سولفید
sulfide dissemination	سولفور پراکنده
pore fluid	سیال درون روزنه‌ای
fracture systems	سیستم‌های شکستگی
silicification	سیلیس شدن
working face; working- section	سینه کار
indicator	شاخص

ش

ore- bearing zone	زون کانه‌دار
local zone	زون محلی
dispersed zones of mineralization	زونهای پراکنده کانی‌سازی
peripheral zones	زونهای پیرامونی
spruge olive	زیتون اسپراچ
subgroup	زیرگروه
upper and lower	زیرین و زبرین
biogenic	زیست‌زا

ژ

geobotanical	ژئوبوتانی
geos	ژئوسفر
basic geochemistry	ژئوشیمی بنیادی
rock geochemistry	ژئوشیمی سنگ
regional metalogenic	ژئوشیمیائی ناحیه‌ای

س

zonal structure	ساختار زونی
major component	سازند اصلی
structural component	سازند ساختاری
ore formation	سازندهای معدنی
Ukrainian Crystalline Shield	سپر بلورین اوکراین
saxaul	ساکسول
barren	سترون
struggle	ستیز
kurtosis	ستیغ
barrier	سد
evaporation barrier	سد تبخیری
geochemical barrier	سد ژئوشیمیائی
reaction barrier	سد واکنش
source	سرچشمه

ط

chance nature                      طبیعت تصادفی  
 uniform nature                    طبیعت یکنواخت  
 reflection spectra                طیف‌های بازتاب شده

ظ

similar appearing                ظاهر همانند  
 valence                              ظرفیت

ع

factor                                عامل  
 oxidizing agent                    عامل اکسیدکننده  
 proportionally factor            عامل تناسب  
 external factor                    عامل خارجی  
 internal factor                    عامل درونی (داخلی)  
 decisive factor                    عامل قطعی  
 reducing agent                    عامل کاهشنده  
 crystallochemical factors      عاملهای بلوری-شیمیائی  
 biological factors                عاملهای زیستی  
 percolating                        عبور کردن  
 lenticular                            عدسی  
 feather grass                      علف فدر  
 across the strike                عمود بر امتداد  
 ore trace elements                عناصر اندک کانه‌ای  
 dispersed elements                عناصر پراکنده  
 rare earth elements                عناصر خاکهای کمیاب  
 rock-forming elements            عناصر سنگ‌ساز  
 minor elements                    عناصر فرعی  
 ore elements                        عناصر کانه‌ای  
 transition elements                عناصر واسطه  
 biogenic factors                    عوامل زیست‌زایی

شاخصهای کانی‌سازی  
 شاخصهای مستقیم  
 شبکه متحرک  
 شدت فرآیند برز مادی  
 شرایط آب و هوای خشک  
 شرکت  
 شستشو  
 شکاف  
 شکستگی  
 شکل تراوشی  
 شور  
 شیاری  
 شیب تند  
 شیرفت  
 شیبتهای بلورین  
 شیوه‌های جایگزی بی  
 شیوه‌های جایگزی بی - سریع‌الانحلال عناصر اندک  
 the readily soluble form of occurrence of trace elements

ص

percentile                            صد یک  
 accuracy                            صحت  
 denominator                        صورت کسر

ض

multiplicative                      ضربی  
 coefficient of contrast            ضریب تباین  
 coefficient of variation            ضریب تغییرات  
 correlation coefficient            ضریب همبستگی

foot wall	فرود یواره (کمر پائین)
acid leaching	فرو شست اسیدی
downdip	فروشیب
downward	فرو نشست
degenerate	فساد
compaction	فشردگی
the most dense packing	فشرده ترین
intergranular space	فضای میاندانه
activity	فعالیت
overall activity	فعالیت کلی
relative activity	فعالیت نسبی
native metals	فلزات اصلی
alkali- earth metals	فلزات قلیائی خاکی
metalliferous	فلزی
metallization	فلزی شدن
fluorite	فلوئوریت
content intervals	فواصل مقداری
siltstone	فور شسنگ
supercritical	فوق بحرانی
supra ore	فوق کانه ای
phytogeochemical	فیتوژئوشیمیائی
phyton	فیتون

### ق

interchangeable	قابل تغییر
reliability	قابلیت اعتبار
fusibility	قابلیت ذوب
adsorbition ability	قابلیت جذب
low of mass action	قانون اثر جرم
distribution low	قانون توزیع
three sigma rule	قانون سه سیگما
strength of correlation	قدرت همبستگی

### lithological factors

overall concentration  
non promising  
non ovoid  
non volatile  
non metalliferous  
abnormal  
non uniform

confidence interval  
ore-bearing interval  
foxglove  
product  
hanging wall  
upward  
frequency; abundance  
crustal abundance  
relative frequency  
process  
glassory  
erosin  
continental erosion  
intergranular space  
hypothetical  
hypotheses = hypothesis; assumption  
disintegration  
disintegrated  
downward

### عوامل سنگ شناسی چینه

### غ

غلظت کلی  
غیر امیدبخش  
غیر بیضوی  
غیر فرار  
غیر فلزی  
غیر معمول  
غیر یکنواخت

### ف

فاصله اطمینان  
فاصله کانه دار  
فاکسگلاو  
فرآورده  
فراد یواره (کمر بالا)  
فراز  
فراوانی  
فراوانی پوسته ای  
فراوانی نسبی  
فرآیند  
فرهنگ اصطلاحات  
فرسایش  
فرسایش قاره ای  
فضای میاندانه  
فرضی  
فرضیه  
فروپاشی  
فروپاشیده  
فرود

acidocomplexes  
 metal acidocomplexes  
 hanging wall  
 quantitative  
 flank  
 dwarfing  
 cosalite  
 wooded mountains  
 covalent  
 desert  
 cosmochemical

کمپلکسهای اسیدی  
 کمپلکسهای اسیدی فلزی  
 کمرکش  
 کمی  
 کناره  
 کوتاه ماندن  
 کوزالیت  
 کوهستانهای جنگلی  
 کووالانس  
 کویر  
 کیهان شیمیائی

گ

soil gass  
 volcanic exhalation  
 gangue  
 magmatic melt  
 magmatic melt  
 ore- conducting  
 gravitational  
 granitoid  
 grossularite- andradite  
 greisen  
 greisenization  
 capture  
 hydrothermal  
 Kirovograd- Zhitomir  
 subsuite  
 nodular  
 Cripple Creek  
 area

گاز خاک  
 گازهای آتشفشانی متصاعد شده  
 گانگ  
 گداخته ماگمایی  
 گدازه‌های ماگمایی  
 گذرگاه کانه  
 گرانشی  
 گرانیتوئید - شبه گرانیت  
 گراوسولریت - اندرادیت  
 گرایزن  
 گرایزنی  
 گرفتن  
 گرمایی  
 گرووگراد - زیتومتر  
 گروه  
 گره‌ای  
 گریپل کریک  
 گستره

shell  
 outer shell  
 head

قشر  
 قشر بیرونی  
 قلّه

ک

underground working  
 transverse working  
 Carpathians  
 Siberian tansy  
 mineral deposit  
 Shurale deposit  
 placer deposit  
 copper deposit  
 ores of deposit  
 ore  
 ore- producing  
 ore- mineralization  
 single ore formation  
 host mineral  
 accessory mineral  
 redox  
 decompression  
 terrigenous carbonate  
 geosphere  
 crustal clark  
 clark of concentration  
 blind diffusion caps  
 chlorammonium  
 chlorosis  
 humic organic colloids  
 complexing

ک

کارگاه زیرزمین  
 کارگاه عرضی  
 کارپات  
 کاسنی سیبری  
 کانسار  
 کانسار شورال  
 کانسار پلاسری  
 کانسار مس  
 کانسنگهای ذخیره  
 کانه  
 کانه‌زا  
 کانی‌سازی  
 کانی‌سازیهای نفوذ  
 کانی‌میزبان  
 کانی همراه  
 کاهش  
 کاهش فشار  
 کربناته خاک ز  
 کره  
 کلارک پوسته  
 کلارک تمرکز  
 کلاهکهای نفوذی ناپیدا  
 کلرور آمونیم  
 کلروفیل زدایی  
 کلونیدهای آلومینا  
 کمپلکس‌سازی



<i>factural material</i>	ماده حقیقی
<i>living matter</i>	ماده زنده
<i>nutrient- supplying substrate</i>	ماده مورد تغذیه
<i>worm drill</i>	مارپیچی
<i>earth satelliter</i>	ماهواره زمینی
<i>volcanic exhalation</i>	متصاعد شدن گازهای آتشفشانی
<i>argument</i>	متغیر
<i>discriminant linear function</i>	متما یزکننده خطی
<i>radioactive decay products</i>	محصولات تلاسی رادیواکتیو
<i>localization</i>	محل
<i>soluble</i>	محلول
<i>aqueous solutions</i>	محلولهای آبی
<i>site</i>	محللی
<i>chemical environment</i>	محیط شیمیائی
<i>numerator</i>	مخرج کسر
<i>chamber</i>	مخزن
<i>magma chamber</i>	مخزن ماگما
<i>marsh</i>	مرداب
<i>probability limits of fluctuation</i>	مرزهای احتمال نوسانات
<i>batholith stage</i>	مرحله باتولیت
<i>stellar stage</i>	مرحله سماوی
<i>greisen stage</i>	مرحله گریزانی
<i>depositional stage</i>	مرحله نهشته شدن
<i>path; traverse</i>	مسیر
<i>flood plain</i>	مسیل
<i>complex- forming agents</i>	معرفهای کمپلکس ساز
<i>suspension</i>	معلق
<i>criteria</i>	معیار
<i>core</i>	مغزه
<i>core drill</i>	مغزه گیر

<i>background areas</i>	گستره های زمینه ای
<i>structural areas</i>	گستره های ساختاری
<i>surface areas</i>	گستره های سطحی
<i>Zhelezny Iron Fault</i>	گسل ژلزی آبرون
<i>Digitalis purpurea</i>	گل انگشتانه فروری
<i>corolla petals</i>	گلبرگ جام گل
<i>mudstone</i>	گلسنگ
<i>borehole</i>	گمانه
<i>gneiss</i>	گنیس
<i>goethite</i>	گوتیت
<i>ditch; pit</i>	گودال
<i>local depression</i>	گودشدگی موضعی
<i>sulfophile</i>	گوگرد دوست
<i>type</i>	گونه
<i>plant species</i>	گونه های گیاهی
<i>terrestrial vegetation</i>	گیاهان زمینی
<i>gramineous grasses</i>	گیاهان شمعدانی
<i>grassy vegetation</i>	گیاهان علفی

<i>larch</i>	لارچ
<i>lamprophyre</i>	لامپروفیر
<i>low- velocity layer</i>	لایه با سرعت کم
<i>transitional layer</i>	لایه گذاز
<i>chip- channel</i>	لبیری - شیاری
<i>legume</i>	لگیوم
<i>leptite</i>	لیپتیت
<i>lithosphere</i>	لیتوسفر
<i>limonite</i>	لیمونیت
<i>tubular</i>	لوله ای

biological migration  
capillary migration  
mean  
arithmetic mean  
moving average  
sample mean  
interlayer  
definite abundance  
anomalous field  
ore field

مهاجرت زیست شناختی  
مهاجرت موئینه‌ای  
میانگین  
میانگین حسابی  
میانگین متحرک  
میانگین نمونه  
میانلایه  
میزان فراوانی معین  
میدانهای ناهنجار  
میدان معدنی

ن

nonproductive  
allocthonous  
instability  
discontinuity  
Conrad discontinuity  
immobilized  
complete wedging out  
asymmetry  
dissimilarity  
contradiction  
heterogeneous  
anomaly  
minimum- anomaly  
geochemical anomaly  
isolated anomaly  
noble  
rate of reaction  
mollusks  
ratio

ناپارور  
نابرجا  
ناپایداری  
ناپیوستگی  
ناپیوستگی کنراد  
ناپویا  
نازک شدن کامل  
نامتقارن  
ناهمانندی  
ناهماهنگی  
ناهمگن  
ناهنجاری  
ناهنجاری حداقل  
ناهنجاری ژئوشیمیایی  
ناهنجاری مجزا  
نجیب  
نرخ واکنش  
نرم‌تنان  
نسبت

concept  
abnormally high contents  
numerical values  
elemental contents  
bounding values  
indicator ratio values  
resistivity measurements  
critical value  
average value  
crustal scale  
global scale  
melanterite  
temperate zone  
permafrost  
symmetrical curve  
distribution curve  
traget curve  
coinciding  
landscape  
landscape- climate  
marshy landscape  
objects  
nutrient  
extrusive tuffaceous materials  
unconsolidated  
rock material  
distribution balance  
capillary  
moraine  
local  
localizing  
migration

مفهوم  
مقادیر بطور غیرم، مو، زیاد  
مقادیر عددی  
مقادیر عنصری  
مقادیر مرزی  
مقادیر نسبت شانه صر  
مقاومت‌سنجی  
مقدار بحرانی  
مقدار میانگین  
مقیاس پوسته‌ای  
مقیاس کلی  
ملا تریت  
مناطق معتدله  
منجمد  
منحنی متقارن  
منحنی توزیع  
منحنی هدف  
منطبق بر  
منظر  
منظر اقلیمی  
منظر مردابی  
مواد  
مواد تغذیه‌ای  
مواد توفی خرو بی  
مواد سخت‌نشد  
مواد سنگی  
موازنه توزیع  
موئینه  
مورن  
موضعی  
موقعیت  
مهاجرت