۳-۱- مقدمه

در بررسی‌های اکتشافات ناحیه‌ای که به منظور ارزیابی پتانسیل کانی‌سازی منطقه‌ای وسیع صورت می‌گیرد، علاوه بر مطالعات رسوبات آبراهه‌ای ، مطالعه کانی سنگین نیز به عنوان راهنمای اکتشافی به کار برده می‌شود. یک تفاوت اصلی این دو روش آن است که در مطالعه کانی سنگین فاز کانی‌سازی احتمالی تشخیص داده می‌شود. برای مثال یافتن گالن یا کالکوپیریت می‌تواند ما را به اکتشاف کانی‌سازی سولفوری فلزات پایه هدایت کند. درحالی‌که در روش رسوبات آبراهه ای مقدار یک عنصر خاص در یک نمونه، اغلب بدون توجه به کانی‌شناسی آن مورد توجه قرار می‌گیرد. از آنجا که پیدایش یک عنصر در فازهای مختلف ارزش اکتشافی متفاوت دارد، صرفاً اندازه‌گیری کمیت آن ملاک نمی‌باشد. تفاوت بسیار مهم دیگر این دو روش در احتمال خطا در داده‌هاست، بدین معنی که در داده‌های رسوبات آبراهه ای با توجه به طبیعت اندازه‌گیری در داده‌ها امکان بروز آنومالی‌های کاذب بسیار زیاد است که این نوع آنومالی‌ها عموماً مربوط به آلودگی زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی است اما بروز چنین خطایی در نمونه‌های کانی سنگین عملاً غیرممکن است. به عنوان مثال زمانی که آنومالی بالایی از عنصری مانند سرب بدست می‌آید ممکن است این آنومالی ناشی از وجود برخی از فعالیت‌های انسانی باشد اما زمانی که این آنومالی همراه با گالن در نمونه‌های کانی سنگین باشد بی‌شک فعالیت‌های کانی‌زایی در پیدایش این آنومالی دخیل بوده است. بنابراین آنالیز شیمیایی یک عنصر و مقادیر غیرعادی بالای آن زمانی می‌تواند به عنوان راهنمای اکتشافی قرار گیرد که فاز پیدایش آن نیز مشخص باشد. با توجه به مزیت بررسی‌های کانی سنگین، یعنی اندازه‌گیری مستقیم فراوانی یک فاز معین از یک عنصر خاص، می‌توان از آن به عنوان ابزاری در کوتاه کردن عملیات اکتشافی و نتیجه‌گیری در مورد نقاط پرپتانسیل استفاده نمود. البته در مقابل این امتیازات روش کانی سنگین، یک نقطه ضعف عمده دارد و آن عدم تحرک فازهای کانیایی نسبت به یون فلزات است. این امر باعث می‌گردد که هاله‌های کانی سنگین در محدوده‌های معین گسترش یابند.

بر اساس مقدمه فوق و در نظر گرفتن مزایا و معایب این روش با سه هدف اقدام به انجام نمونه‌برداری کانی سنگین از منطقه گردید که عبارتند از:

الف) تأیید آنومالی‌های استخراجی با روش ژئوشیمی آبراهه‌ای

ب) تعیین فاز پراکندگی عناصر مختلف

ج) پوشش خلأ اطلاعاتی که ممکن است از ضعف روش نمونه‌برداری و یا آماده‌سازی اکتشافات رسوبات آبراهه‌ای به وجود آید و لذا همپوشانی اطلاعات حاصله از این دو روش می‌تواند به دید واقعی‌تر از محیط اکتشافی کمک کند.

۳-۲- طراحی شبکه نمونه‌برداری و برداشت نمونه‌ها

جهت رسیدن به اهداف تشریح شده فوق و برداشت نمونه‌های کانی سنگین اقدام به طراحی شبکه نمونه برداری کانی سنگین گردید و محل این نقاط به گونه‌ای در نظر گرفته شد که حداکثر پوشش را در ناحیهٔ مورد اکتشاف ایجاد نماید. برداشت کانی‌های سنگین در خرداد ماه ۱۳۸۸ هم‌زمان با برداشت نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای صورت پذیرفت. در نهایت پس از حذف تعدادی نمونه (به دلیل پوشش واقع شدن در مکان‌های نامناسب و یا از بین رفتن آبراهه‌های طبیعی) و اضافه کردن تعدادی نمونه کانی سنگین در برخی نقاط بنابر نظر کارشناس مربوطه تعداد ۱۶۳ نمونه کانی سنگین برداشت گردید (نقشه شماره ۲-۱). نقشه‌های پیوست نشان دهنده نمونه‌های کانی سنگین برداشت شده در این ورقه است. در محدوده‌های تعیین شده، برای حصول نتایج بهتر نمونه‌برداری از نقاطی که دارای شرایط زیر باشد انجام پذیرفت:

الف) عیار کانی سنگین در آن بهینه باشد؛ مانند وسط مسیل‌ها، رودپیچ‌ها

ب) رسوبات شن و ماسه‌ای در این نقاط به حد کافی ضخیم باشند.

ج) مقدار گل رسوبات حداقل باشد.

در این محل‌ها پس از کنار زدن مواد سطحی چاله‌ای به عمق ٤٠ تا ٦٠ سانتی‌متر حفر شد و برداشت از عمق چاله و به مقدار حدوداً ۲۰ لیتر انجام پذیرفت. سپس این نمونه‌ها در کیسه‌های مخصوص ریخته و پس از شماره‌گذاری، جهت طی مراحل آماده‌سازی و مطالعه به کارگاه نمونه شویی ارسال گردید. نمونه‌ها پس از لاوک‌شویی در مایعات سنگین غوطه‌ور گردیدند و سپس در مرحله مگنت‌گیری به سه دسته مواد مغناطیسی (دارای شدت مغناطیسی کم)، پارامغناطیسی (داراش شدت مغناطیسی متوسط) و فرومغناطیسی (دارای شدت مغناطیسی بالا) تقسیم گردیدند.

۳-۳- نحوه مطالعه کانی‌های سنگین

روش مطالعه مبتنی بر تشخیص نوع کانی‌ها با استفاده از میکروسکوپ دو چشمی و با توجه به خصوصیات فیزیکی کانی‌ها همچون رنگ، سیستم تبلور، جلا، سختی، رخ، ماکل، شفافیت، وزن مخصوص و مواردی مشابه بوده است. در این روش نحوه کار بدین صورت است که ابتدا حجم گروه‌های مختلف یک نمونه را اندازه‌گیری می‌نمایند. در این ورقه مقدار مطالعه شده کانی‌های سنگین در نمونه‌های متفاوت از چند تا چند ده سی‌سی متغیر است. این مقدار معادل ۱۰ فرض شده و با توجه به نسبت آن در سه گروه (بر اساس خاصیت مغناطیسی) تقسیم می‌گردند و مطالعه هر یک به طو رمجزا ادامه می‌یابد. در نمونه‌های کانی سنگین اخذ شده از ورقه چوپانان در مجموع ۵۸ کانی گزارش گردید که نتیجه این مطالعات در پیوست (ب) انتهای گزارش ارائه گردیده است.

جدول شماره ۳-۱ نیز نشان دهنده درصد و تعداد نمونه‌های حاوی کانی‌های مورد نظر است. با توجه به این جدول کانی‌های سیلیکات‌های آلتره، کربنات، هماتیت، کوارتز فلدسپار و مگنیت (۱۰۰٪)، اپیدوت و گارنت (۹۹٪~)، آپاتیت، روتیل و آمفیبول (۹۸٪~)، پیریت‌های اکسیده (۹۷٪~)، لیمونیت(۸۷٪~)، باریت (۸۵٪~)، لوکوکسن (۸۰٪~)، کلریت و سلستین(۷۷٪~)، شیست و مارتیت (۷٤٪~)، آندالوزیت (۷۳٪~)، سریسیت (۵٤٪~)، پیریت لیمونیت (٤۶٪~)، ایلمینیت (۳۸٪~)، دیستن (۲٤٪~)، بیوتیت (۱۸٪~) فراوان‌ترین اجزاء تشکیل دهنده نمونه‌های کانی سنگین موجود در چوپانان می‌باشند. با توجه به این نتایج تقریباً تمامی کانی‌ها به غیر از باریت یا بطور طبیعی و اولیه در سنگ‌ها وجود دارند و یا در اثر آلتراسیون و هوازدگی کانی‌های اولیه بدست آمده‌اند. آمفیبول، پیروکسن، فلدسپار، آپاتیت و بیوتیت جزء اجزای تشکیل دهنده سنگ‌های آذرین می‌باشند و حضور آنها در نمونه‌ها کاملاً طبیعی است. هماتیت، گوتیت، کلریت، پیریت‌های اکسید شده، اپیدوت، روتیل، آناتاز، لیمونیت، لوکوکسن و اسفن سیلیکات‌ها و یا اکسیدهایی هستند که بطور طبیعی در بسیاری از مواد تشکیل‌دهنده خاک‌ها و یا سنگ‌های آلتره دیده می‌شوند. البته حضور مگنتیت، هماتیت و سایر اکسیدهای آهن در بسیاری از نمونه‌ها در خور تأمل بوده و می‌تواند بیانگر حضور فعالیت‌های گرمابی باشد، البته به تنهایی نمی‌توان در این مورد قضاوت کرد. باریت کانی‌ای است که در بسیاری از نمونه‌ها دیده می‌شود. از طرف دیگر حضور سلستین (۷۷٪~)، نیز می‌تواند به این نکته اشاره کند که پتانسیل‌هایی دال بر وجود باریت قابل توجه در منطقه وجود دارد.

نکته قابل توجه در این ورقه حضور گسترده کانی‌های مختلف سرب، روی به همراه کانی‌های مالاکیت و پوئلیت ($CaMoO_4$) می‌باشد که می تواند نشانگر وجود کانی‌زایی‌هایی از سرب، روی و مس و مولیبدن در منطقه باشد. اما با توجه به تعداد پایین نمونه‌های حاوی این کانی‌ها می بایست گفت که کانی‌زایی‌ها چندان وسیع نبوده و ممکن است از گسترش کمی برخوردار باشند.

جدول ۳-۱- درصد کانی‌های موجود در نمونه‌های کانی‌سنگین ورقه چوپانان همراه با تعداد نمونه‌هایی که در آن‌ها این کانی‌ها مشاهده شده‌اند.

Mineral Name	Magnetite	Apatite	Zircon	Rutile	Anatase	Sphene	Leucoxene	Barite	Pyrite	Schist
Sample Count	161	159	161	159	5	103	129	137	15	119
Percentage	100.0	98.8	100.0	98.8	3.1	64.0	80.1	85.1	9.3	73.9
Mineral Name	**Carbonates**	**FQ**	**Nigrine**	**Celestite**	**Galena**	**Cerussite**	**Malachite**	**Gold**	**Sapphire**	**Staurolite**
Sample Count	161	161	11	123	17	22	7	0	5	6
Percentage	100.0	100.0	6.8	76.4	10.6	13.7	4.3	0.0	3.1	3.7
Mineral Name	**Cinnabar**	**Scheelite**	**Fluorite**	**Silver**	**Muscovite**	**Andalusite**	**Disthene**	**Strontianite**	**Sphalerite**	**Jarosite**
Sample Count	1	5	15	0	13	118	39	4	10	1
Percentage	0.6	3.1	9.3	0.0	8.1	73.3	24.2	2.5	6.2	0.6
Mineral Name	**Smithsonite**	**Nativelead**	**Vanadinite**	**Mimetite**	**Maciqute**	**Realgar**	**Orpiment**	**Powellite**	**Wulfenite**	**Altreadsillicate**
Sample Count	17	11	2	9	7	2	2	10	6	161
Percentage	10.6	6.8	1.2	5.6	4.3	1.2	1.2	6.2	3.7	100.0
Mineral Name	**Pyromorphite**	**Stibnite**	**Hematite**	**Goethite**	**Limonite**	**Pyriteoxide**	**Pyritelimonite**	**Oligiste**	**Pyroxens**	
Sample Count	4	0	161	159	141	156	74	44	161	
Percentage	2.5	0.0	100.0	98.8	87.6	96.9	46.0	27.3	100.0	
Mineral Name	**Amphibols**	**Epidots**	**Garnets**	**Chlorite**	**Biotite**	**Phlogopite**	**Ilmenite**	**Martite**	**Sericite**	
Sample Count	157	160	160	125	29	4	61	120	87	
Percentage	97.5	99.4	99.4	77.6	18.0	2.5	37.9	74.5	54.0	

۳-۴- تبدیل مقادیر کیفی کانی‌های سنگین به مقادیر عددی (gr/t)

بسیاری اوقات در کارهای رسوبات آبراهه ای احتیاج به مقادیر عددی کانی‌ها (gr/t) می‌باشد. این در حالی است که مقادیر کانی‌های سنگین به طور عددی معلوم نبوده و به صورت کیفی گزارش می‌گردند. هر چند اساساً برداشت نمونه‌های کانی سنگین برای تفسیرهای کمی نیست (و بیشتر کیفی و تا حدی نیمه کمی استفاده می‌شوند) اما با این حال روش‌هایی نیز برای تبدیل مقادیر کیفی به مقادیر کمی وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان از فرمول زیر برای تبدیل مقادیر کیفی با مقادیر کمی استفاده کرد:

$$\frac{gr}{t}(ppm) = \frac{X.Y.B.10^4}{A.C} \times \frac{D}{D'}$$

که در آن A مقدار کل نمونه برداشت شده از صحرا به سانتی‌متر مکعب، B مقدار کل نمونه بعد از شست و شو بر حسب سانتی‌متر مکعب، C مقدار نمونه مورد مطالعه بر حسب سانتی‌متر مکعب، Y مقدار نمونه مورد مطالعه بعد از جدایش با بروفرم بر حسب سانتی‌متر مکعب و D و D′ به ترتیب وزن مخصوص کانی و وزن مخصوص رسوب می‌باشند (وزن مخصوص رسوب معمولاً ۲/۷ گرم بر تن انتخاب می‌شود).

با انجام تبدیل فوق مقادیر نمونه‌ها تبدیل به مقادیر کمی می‌شود اما نکته‌ای که باید بدان اشاره کرد این امر است که برای برخی از کانی‌ها، به خصوص کانی‌های با ارزش، چون تنها ذراتی از آنها دیده می‌شود امکان این تبدیل وجود ندارد زیرا مقدار حجمی و یا وزنی این کانی‌ها آنقدر کم است که نمی‌توان آنها را تبدیل کرد. با این حال برای برخی از کانی‌ها، به خصوص آنهایی که دارای مقادیر قابل توجهی هستند مانند کانی‌های سنگ‌ساز این تبدیلات با خطای خوبی قابل کاربرد است. در واقع این نوع تبدیل را می‌توان برای مقایسه بین مقادیر یک کانی مشابه در نمونه‌ها بکار برد و اساساً مقایسه بین مقادیر تبدیل یافته کمی بین دو کانی متفاوت نمی‌تواند در این نوع نمونه‌ها چندان صحیح باشد. پردازش‌های عددی و آماری بر روی این مقادیر چندان قابل اعتماد نیست و تنها برای ارائه یک دید اولیه بکار می‌رود، به همین خاطر تنها برخی از پردازش‌ها بر روی این داده‌ها صورت پذیرفته است.

مشکل اساسی‌ای که در داده‌های کانی‌سنگین ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ چوپانان برای تبدیل به مقادیر کمی وجود دارد تعداد بالای نمونه‌هایی است که در آنها تعدادی از کانی‌های مهم تنها به صورت ذراتی مشاهده شده است به طوری که امکان تبدیل آنها به داده‌های کمی وجود ندارد و اگر بخواهیم آنها را با داده‌های رسوبات آبراهه ای مقایسه کنیم می‌توان به آنها داده‌های سنسورد لقب داد یعنی اینکه در نمونه وجود دارند ولی امکان تبدیل آنها به مقادیر کمی وجود ندارد. این مشکل همراه با مشکل کمبود داده (یعنی برای برخی از کانی‌ها در بسیاری از نمونه‌ها مقداری وجود

ندارد) مشکلات اساسی‌ای در تبدیلات کمی بوجود می‌آورد با این حال برای حل مشکل اول اقدام بـه اسـتفاده از روش حذف داده‌های سنسورد شد هر چند با توجه به تعداد بالای این داده‌ها این کار در اصل درست نمی‌باشد اما باید بیـان گردد که نتیجه‌گیری اساسی بر روی این داده‌ها نخواهد شد و صرفاً به عنوان داده‌هـای کمکـی مـورد اسـتفاده قـرار خواهند گرفت. همانطور که قبلاً بیان گردید، جدول (۳-۱) نشان‌دهنده کانی‌های شناسایی شده در این ورقه به همراه تعداد نمونه‌هایی است که این کانی‌ها در آنها بدست آمده و بعلاوه نشان دهنده تعداد نمونه‌هایی اسـت کـه تنهـا در آنها این کانی‌ها مشاهده شده‌اند (PTS) و امکان تبدیل عددی برای آنها وجود ندارد.

۳-۵- پردازش داده‌های کمی

برای انجام بسیاری از آنالیزهای آماری نیاز به جوامعی نرمال است. اما امکان نرمال‌سازی در داده‌های کانی سنگین این ورقه وجود ندارد. دلیل این امر را می‌توان از تعداد بالای داده‌های سنسورد و در نتیجه چولگی شدید و کـاذب در داده‌ها دانست. از طرف دیگر اگر از این داده‌ها استفاده نشود با کمبود شدید داده روبرو باید شد. در نتیجـه بهتـرین کار استفاده از روش‌های ناپارامتری است و در این بین تنها روش ناپارامتری مناسب روش آنالیز همبسـتگی اسـپیرمن می‌باشد.

از سوی دیگر برای برخی از کانی‌ها عملاً امکان استفاده از آنها وجود ندارد زیرا تعداد داده‌های آنها بسیار کم است. بنابراین اقدام به حذف این کانی‌ها از این پردازش گردید. در نهایت کـانی‌هـای باقیمانـده عبارتنـد از: سـیلیکات‌هـای آلتره، آمفیبول، آناتاز، آپاتیت، باریت، بیوتیت، کلسیت، سلستین، کلریت، اپیدوت، فلدسپار، گوتیت، هماتیت، ژاروسیت، مگنتیت، پیریت (اکسیده)، پیروکسن، سرپانتین و زیرکن. سایر کانی‌های موجود یا در تعداد محدودی از نمونه‌ها دیده شده‌اند و یا اصولاً فاقد داده عددی می‌باشند و تنها به صورت ذرات بیان گردیده‌اند.

با توجه به توضیحات ارائه شده، آنالیز ناپارامتری همبستگی اسـپیرمن بـر روی داده‌هـای کمـی کـانی سـنگین ایـن نمونه‌ها انجام پذیرفت. نتیجه این آنالیز در جدول (۳-۲) ارائه شده است.

بر اساس این جدول، همبستگی خوبی بین زیرکن با آپاتیت و مگنتیت دیده می‌شود که کاملا طبیعی می‌باشد.

همبستگی بین کانی‌های گالن با سروزیت، اسمیت زونیت و سرب خالص و اسمیت زونیت با سروزیت و اسـفالریت ، میمتیت با ولفنیت نشان از کانی‌زایی کانی‌های سرب و روی در این برگه می‌باشد.

همچنین کانی‌های هماتیت با پیریت‌های اکسیده و مارتیت، سریسیت با شیسـت و اپیـدوت بـا آمفیبـول و کلریـت همبستگی دارند.

جدول ۳-۲- قطع A3

۳-۶- رسم نقشه‌ها و تفسیر نتایج حاصله

اساسی‌ترین روش برای نمایش توزیع کانی‌های سنگین استفاده از نقشه‌های نمادین (Symbol Map) می‌باشد. در این روش مقادیر موجود برای هر کانی با نشانه‌های خاص که برای محدوده‌های مقداری خاص بکار می‌رود نمایش داده می‌شود. در نقشه‌های این ورقه برای نمایش بهتر و برای داشتن دید بهتری از چگونگی توزیع کانی‌های سنگین اقدام به ترکیب چند کانی با هم در یک نقشه گردید، بطوریکه سعی بر آن شد تا کانی‌های با رفتار مشابه و یا ویژگی‌های خاص مشابه (مانند حضور عنصری خاص در آنها) همزمان در یک نقشه بتصویر کشیده شوند.

مشکل خاصی که در داده‌های این ورقه وجود دارد، وجود مقادیر فراوانی از داده‌هاست که تنها در آنها ذراتی از کانی مورد نظر دیده شده ولی امکان تبدیل عددی وجود نداشته است. برای سطح‌بندی مقادیر در این نقشه‌ها می‌بایست از پارامترهای آماری استفاده شود.

با این حال برای برخی از کانی‌ها تعداد داده‌ها بسیار پایین بوده و امکان استفاده از پارامترهای آماری نبوده و در این مواقع سعی بر آن شده تا با تکیه بر تجربه، گروه‌بندی این داده‌ها صورت پذیرد.

بر این اساس نقشه‌های ٤٧ تا٥٩ رسم گردیده و در قطع A3 در انتهای گزارش ارائه شده‌اند.

با توجه به نقشه‌های کانی سنگین رسم گردیده بالاترین عیارهای کانی‌های سرب مربوط به بخش جنوبی ورقه ۱:۵۰،۰۰۰ الله آباد، بخش شمال غرب ورقه ۱:۵۰،۰۰۰ نوق‌آباد و بخش جنوب شرقی ورقهٔ ۱:۵۰۰۰۰ چوپانان می‌باشد. بالاترین عیارهای سرب در نمونه‌های ٤٦١، ٥٢٨، ٥٥٩، ٤٦١ به صورت کانی های گالن و سروزیت می‌باشد.

پراکندگی‌های کانی‌های روی‌دار نیز مانند کانی‌های سرب می باشد.

کانی مالاکیت در شمال و شمال غرب ورقه ۱:۵۰۰۰۰ نوق آباد بیشترین پراکندگی را دارد و بالاترین عیار آن در نمونه ۲۹۸ می‌باشد. کانی پوئلیت نیز در سه نمونه ٥٢٨، ٤٧٩، ٤٧٠ دارای عیار بالا و قابل توجه می‌باشد. این کانی در جنوب ورقه الله‌آباد و یک نمونه در ورقه نوق آباد مشاهده می‌شود.

کانی‌های اکسید آهن و هیدروکسید آهن (نقشه شماره ٤٧ و ٤٨ در انتهای گزارش) تقریباً در تمام برگه‌ها پراکنده‌اند، این وضعیت در مورد توزیع کانی‌های پیریت، پیریت‌های اکسیده و پیریت ـ لیمونیت (نقشه شماره ٤٩) است.