فصل سوم

مطالعات کانی‌سنگین

۳-۱- مقدمه

نمونه‌برداری از رسوبات و نهشته‌های آبرفتی به روش مطالعاتی کانی‌سنگین یکی از روش‌های تعیین کننده و شاخص در معرفی نواحی کانسارساز و مناطق امید بخش معدنی به شمار می‌رود. تجربیات چند ساله اخیر نشان داده است که روش‌های آنالیز دستگاهی بر روی نمونه‌های ژئوشیمیایی به تنهایی نمی‌تواند راهنمای مناسبی در جهت دستیابی به مناطق امید بخش معدنی گردد. مزایای زیادی در روش مطالعاتی کانی‌سنگین موجود بوده که بصورت چکیده به برخی از آنها اشاره می‌نماییم:

۱- کنترل آنومالی‌های ژئوشیمیایی بدست آمده با مطالعه نمونه‌های کانی‌سنگین.

۲- بررسی مستقیم کانی و مشاهده گروه عمده کانی‌های اقتصادی.

۳- قرارگرفتن قریب به اتفاق کانی‌های ارزشمند اقتصادی در گروه کانی‌های سنگین.

۴- شناخت فاز شکل‌گیری کانی‌ها و بکارگیری این اطلاعات از زمینه مطالعات فنی و اقتصادی و برآورد چگونگی بازیابی مواد معدنی، بطور مثال می‌توان با مطالعه کانی‌های سنگین به شناخت فازهای سولفیدی کانی‌ها (گالن، پیریت، اسفالریت) فازهای اکسیدی (هماتیت، منیتیت،کرومیت و...) و فازهای عنصری (طلا، نقره، مس طبیعی، سرب طبیعی، پلاتین و ...) دست یافت، در صورتی که در آنالیز عنصری بسته به نوع حلال بکار برده شده در بسیاری از فازهای سیلیکاته که در صنعت و فلزیابی قابل بازیابی نباشند نیز محاسبه می‌شوند، که این امر در بسیاری موارد تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی را مورد تردید قرار می‌دهد.

۵- شناخت انحصاری برخی از کانی‌ها که تنها به روش مطالعاتی کانی‌سنگین قابل شناسایی و شناخت بوده است. بطور مثال در پروژه اکتشافات ژئوشیمیایی در محور یزد - سبزواران نوعی از مونازیت به نام رابدوفان مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفته که تنها به وسیله این روش مطالعاتی قابل شناسایی بوده است. برخی از کانی‌های جواهری که آنالیز شیمیایی قادر به اندازه‌گیری آنها نمی‌باشد همانند آمیتیست، سافیر، کرندوم، روبی و ... تنها به این روش مطالعاتی قابل شناخت و اندازه گیری می‌باشند. تجمعی از کانی‌های صنعتی همانند گارنت‌ها و زیرکن که در صنایع ساینده و الکتریکی و زینتی مصارف عمده‌ای دارند می‌توانند در ذخایر پلاسری انباشتگی‌های قابل توجهی را تشکیل دهند.

۶- کسب اطلاعات ارزشمند از شکل و اندازه دانه و نحوه فرم هر کانی که معرف دوری و نزدیکی از منشأ کانی‌سازی و میزان فرسایش می‌باشد.

۷- پاراژنزهای ساخته شده کانی‌های سنگین حتی در صورت فقدان کانی‌های ارزشمند تا حدود زیادی معرف پتانسیل حوضه‌های آبریز می‌باشند، بطور مثال در پاره‌ای از نمونه‌ها شناسایی و مطالعه کانی‌های باریت، پیریت، پیریت اکسیدی، پیریت لیمونیت، گارنت و ... منجر به دستیابی نواحی ارزشمندی از کانسارهای سرب، روی و طلا شده است.

۸- کوتاه کردن زمان یک پروژه اکتشافی و در پی آن صرفه جویی در هزینه و وقت.

۹- یافتن الگوی پراکندگی رسوبات و تعیین وضعیت رخساره‌های سنگی گسترش یافته در ناحیه و خاستگاه بالقوه کانی‌های ارزشمند اقتصادی.

۳-۲- نمونه‌برداری

در منطقه مورد مطالعه و در وسعتی به تقریبی ۶۳ کیلومترمربع ۱۳۳ نمونه کانی سنگین از رسوبات آبرفتی گسترش یافته برداشت شده که تراکم نمونه‌برداری به ازای هر کیلومترمربع برابر با ۲/۱ نمونه است. نمونه‌های برداشت شده به حجم ۱۰ لیتر و بدون دانه‌بندی و از رسوبات غیر همگن برداشت شده است.

آماده‌سازی نمونه‌های کانی‌سنگین شامل گل‌شویی و لاوک‌شویی است. قبل از انجام این مراحل، حجم کل نمونه اندازه‌گیری می‌شود در مرحله لاوک شویی، نمونه به درون ظرف مخصوص ریخته شده و پس از غوطه‌ور کردن نمونه در آب و حرکات دورانی مناسب آن، مواد سبک شستشو و از آن خارج و جزء سنگین‌تر باقی می‌ماند. این نمونه که نسبت به نمونه اولیه حجم بسیار کمتری دارد، خشک شده و مورد حجم سنجی قرار می‌گیرد و اعداد حاصل در فرم مربوطه ثبت می‌شود. مرحله بعدی شامل کاهش وزن نمونه از طریق تقسیم کن شانه‌ای است. بخشی از این جزء از طریق برموفرم‌گیری به دو قسمت جزء سبک و جزء سنگین تقسیم می‌گردد. پس از برموفرم گیری حجم هر یک از دو بخش سنجیده می‌شود و سپس از طریق بکارگیری آهنربای دستی با شدت قوی و ضعیف جزء سنگین به سه بخش تقسیم و حجم هر یک تعیین می‌شود.

جزء فرومغناطیسی دارای خاصیت مغناطیسی شدید بوده و به طور عمده شامل منیتیت و گاهی ایلمنیت می‌باشد. جزء دیگر دارای خاصیت مغناطیسی متوسطی است و بیشتر شامل کانی‌های مافیک مانند پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت می‌باشد و جزء غیرمغناطیسی، خاصیت مغناطیسی نداشته و اغلب کانی‌های فرعی مانند آپاتیت، زیرکن و بسیاری از کانه‌ها مانند کاسیتریت، شئلیت و طلا در آن متمرکز می‌شوند. در این پروژه هر سه بخش با استفاده از میکروسکوپ بینوکولار مورد مطالعه چشمی قرار گرفته است. در این روش، مشخصات فیزیکی کانی‌ها مانند رنگ، سیستم تبلور، جلا، سختی، شفافیت و ... اساس تشخیص می‌باشد. از این طریق نسبت درصد هر کانی در نمونه به طریق حجمی برآورد می‌گردد. برای محاسبهٔ فراوانی نسبی کانی‌های سنگین در نمونه اصلی (به صورت برداشت شده) از فرمول زیر استفاده گردیده است:

$$\text{فراوانی کانی‌سنگین (گرم در تن)} = \frac{X \times Y \times B \times D \times 10000}{A \times C \times D'}$$

در این فرمول متغیرها عبارتنداز:

X: درصد کانی مورد نظر در جرم فراکسیون مربوط به آن پس از جدایش مغناطیسی

Y: حجم نمونه پس از بروموفرم گیری

B: حجم نمونه پس از شستشو

D: وزن مخصوص کانی مورد مطالعه

A: حجم کل نمونه برداشت شده در صحرا (پس از الک کردن)

C: حجم نمونه انتخابی برای جدایش با بروموفرم گیری

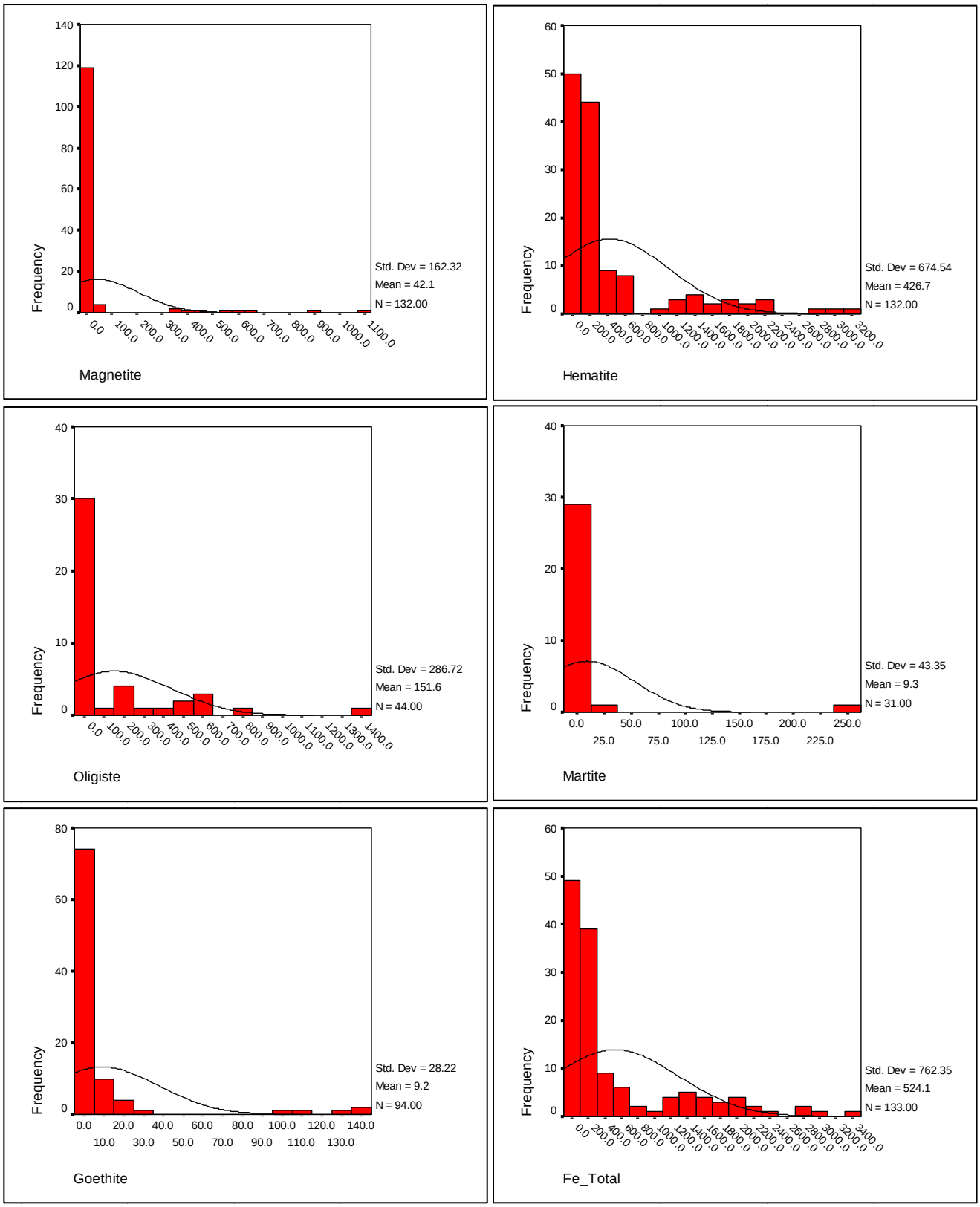
D´: وزن مخصوص رسوب برداشت شده در صحرا است که در این پروژه معادل ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است.

نتایج کامل مطالعه نمونه‌ها در پیوست آورده شده است.

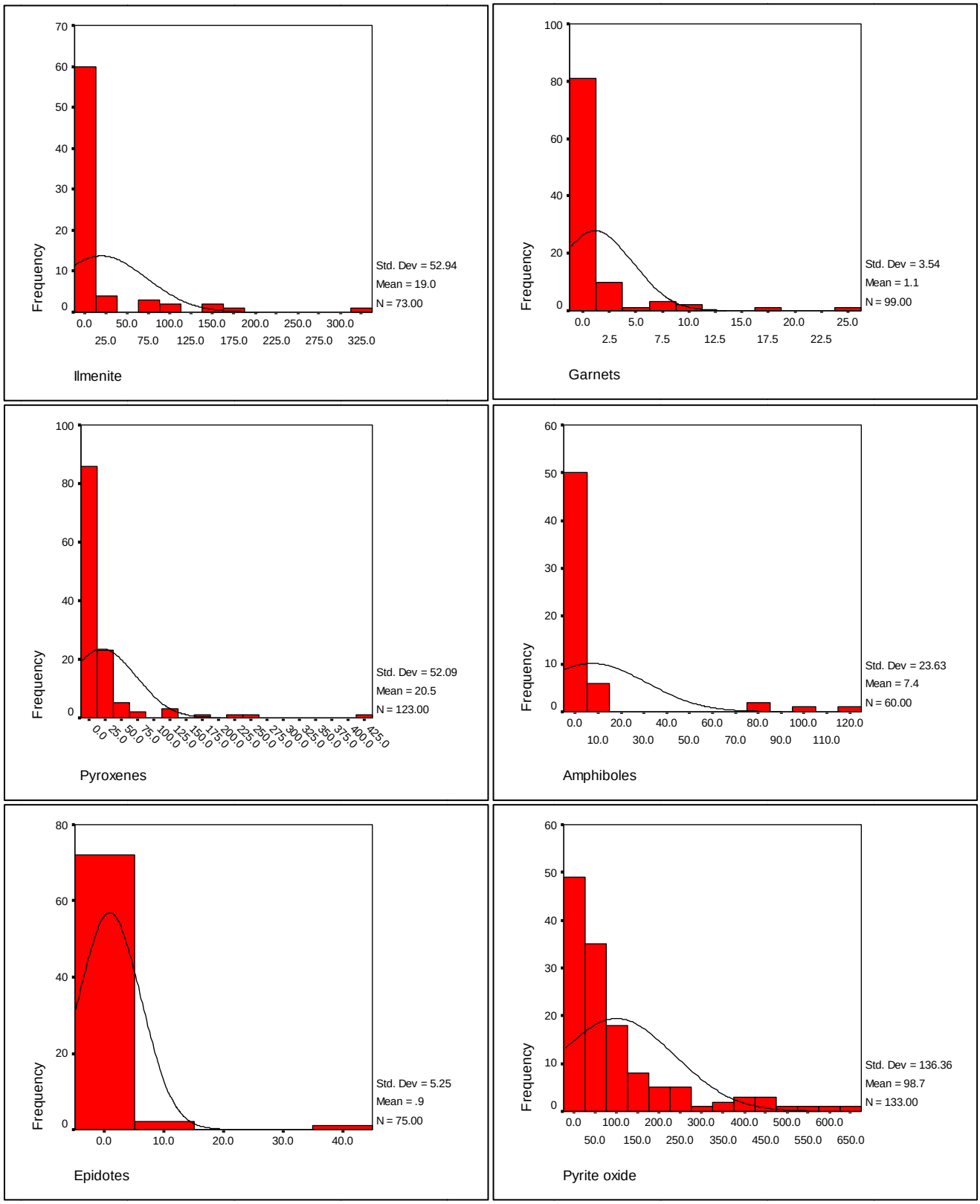
۳ -۳ - رسم هیستوگرام متغیرهای کانی‌سنگین

جهت بررسی نوع توزیع متغیرهای کانی‌سنگین در منطقه مورد مطالعه اقدام به ترسیم هیستوگرام آنها شده است. مهمترین اطلاعاتی که در این نمودارها گنجانده شده است عبارتند از: تعداد مشاهدات هر کانی، تعداد مشاهدات مربوط به هر کلاس (مقدار) و شکل تابع توزیع مربوط به آن کانی. این هیستوگرام‌ها تنها برای کانی‌هایی‌که تعداد مشاهدات در آنها در حد قابل توجه بوده و هیستوگرام معنی‌داری می‌دهند، ترسیم شده است. همچنین متذکر می‌شویم که این هیستوگرام‌ها بعلت اینکه تعداد مشاهدات کانی‌های مختلف متفاوت است، در مقایسه با یکدیگر ارزش یکسانی ندارند. هیستوگرام‌های ترسیم شده در اشکال (۳- ۱ تا ۳- ۶) نشان داده شده‌اند.

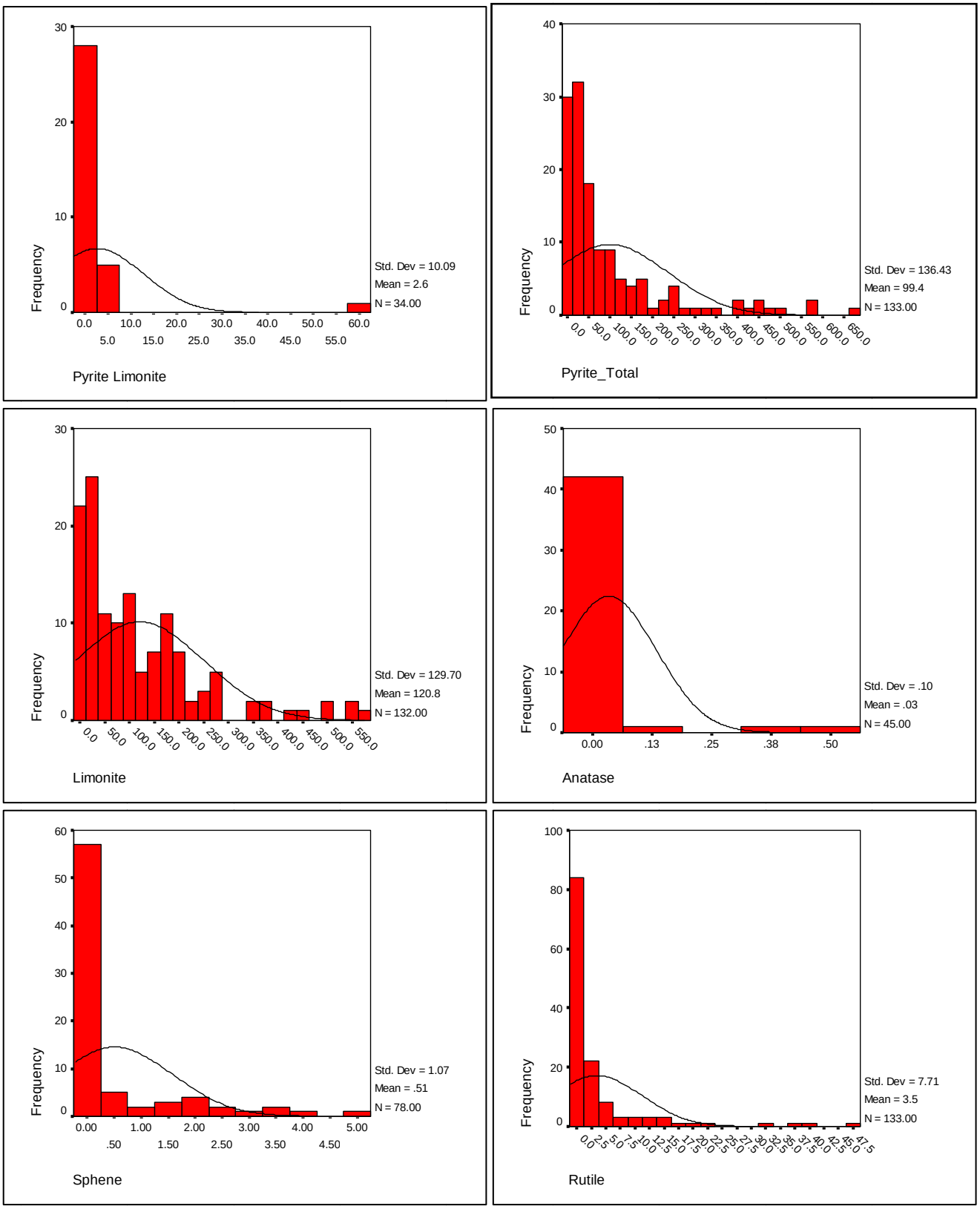
در برخی مواقع مقادیر کانی‌های مختلف از یک عنصر و یا کانی‌های مشابه با یکدیگر جمع شده و تحت عنوان یک متغیر مورد بررسی قرار گرفته است. براین اساس گروه‌های زیر تعریف شدند که نام کانی‌های زیرگروه آنها در بخش توضیحات هر کانی آمده است: گروه کانی‌های سرب‌دار، گروه‌کانی‌های مس‌دار، گروه کانی‌های آهن‌دار، گروه کانی‌های تیتان‌دار و گروه کانی‌های پیریت.



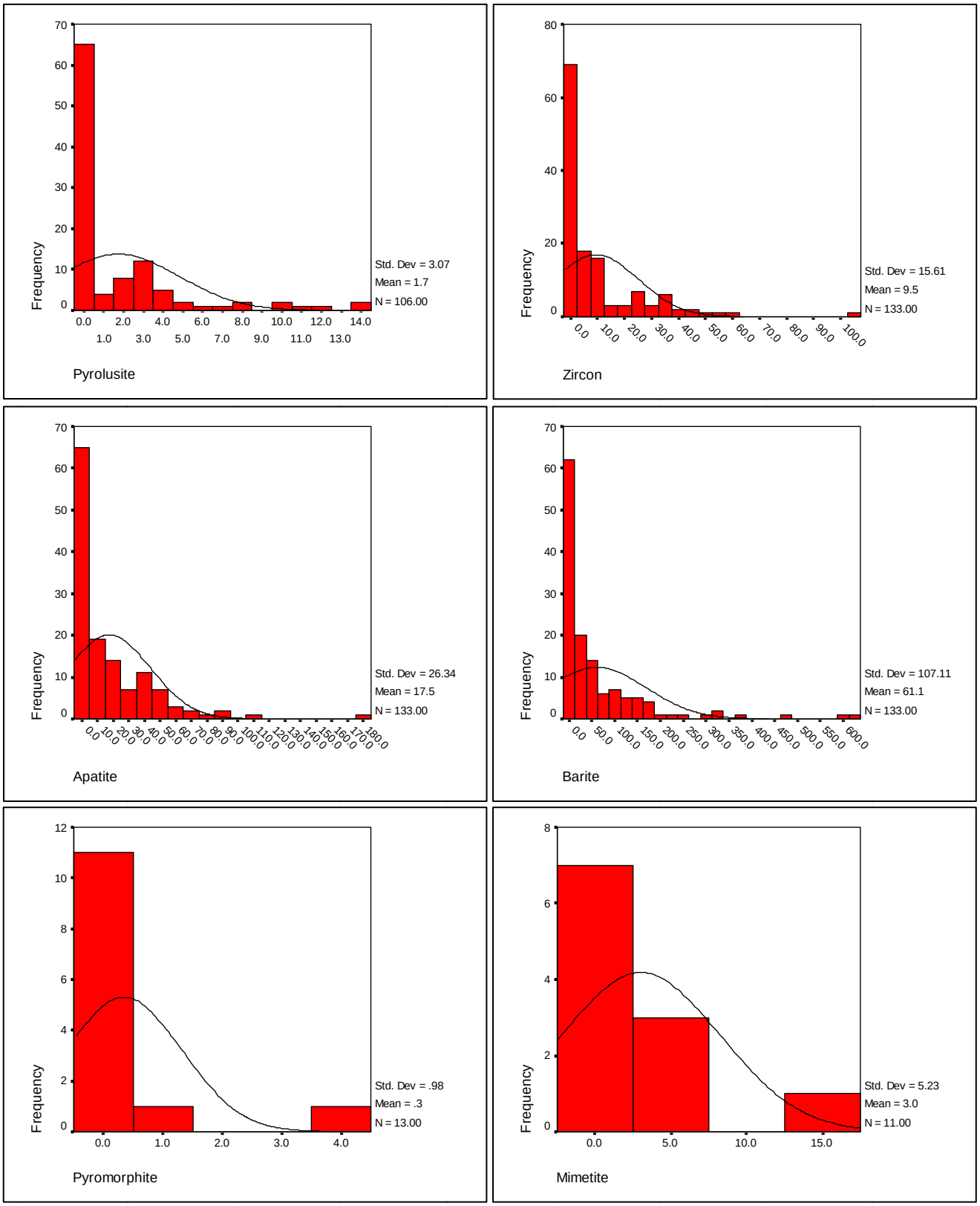
شکل (۳- ۱): هیستوگرام کانی‌های سنگین مگنتیت، هماتیت، اُلیژیست، مارتیت، گوتیت و گروه آهن



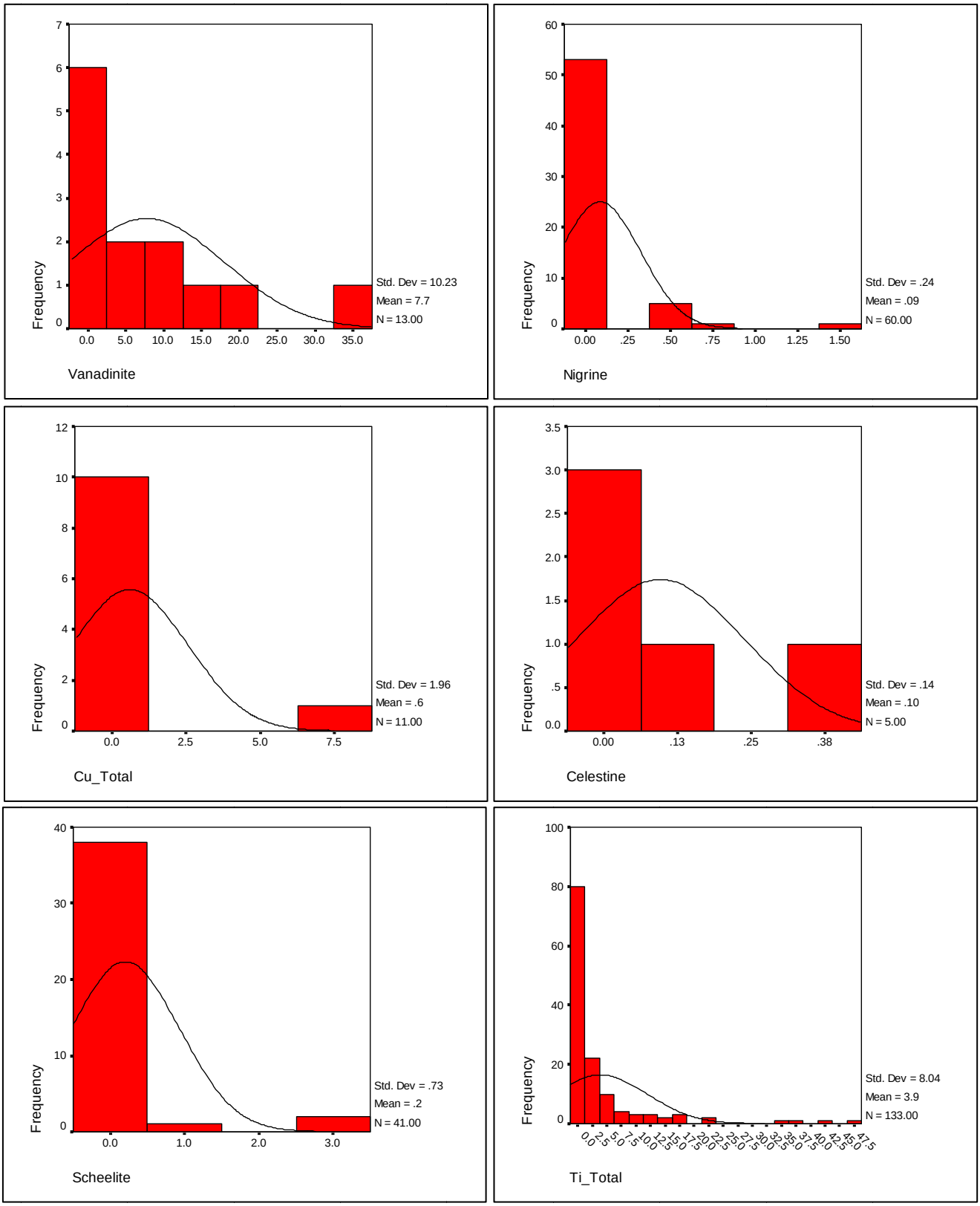
شکل (۳- ۲): هیستوگرام کانی‌های سنگین ایلمنیت، گارنت، پیروکسن، آمفیبول، اپیدوت و پیریت اکسید



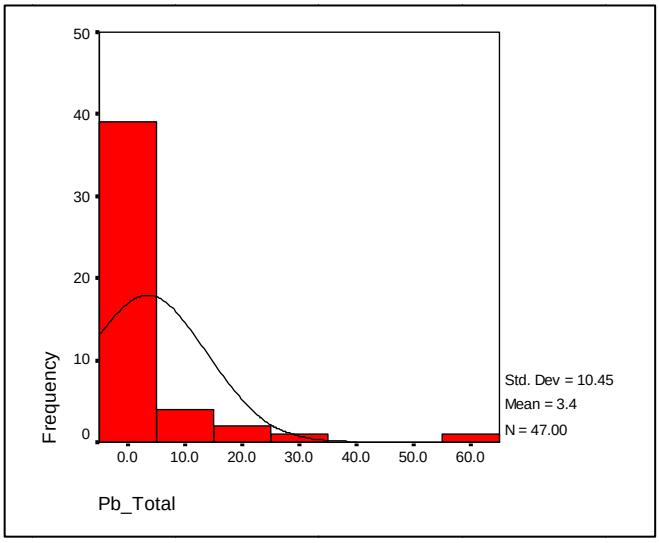
شکل (۳- ۳): هیستوگرام کانی‌های سنگین پیریت، لیمونیت، گروه پیریت، لیمونیت، آناتاز، اسفن و روتیل



شکل (۳- ۴): هیستوگرام کانی‌های سنگین پیرولوزیت، زیرکن، آپاتیت، باریت، پیرومورفیت و میمتیت



شکل (۳- ۵): هیستوگرام کانی‌های سنگین وانادینیت، نیگرین، گروه مس، سلستین، شئلیت و گروه تیتان



شکل (۳- ۶) : هیستوگرام کانی‌های سنگین گروه سرب

۳-۳-۱- طلا

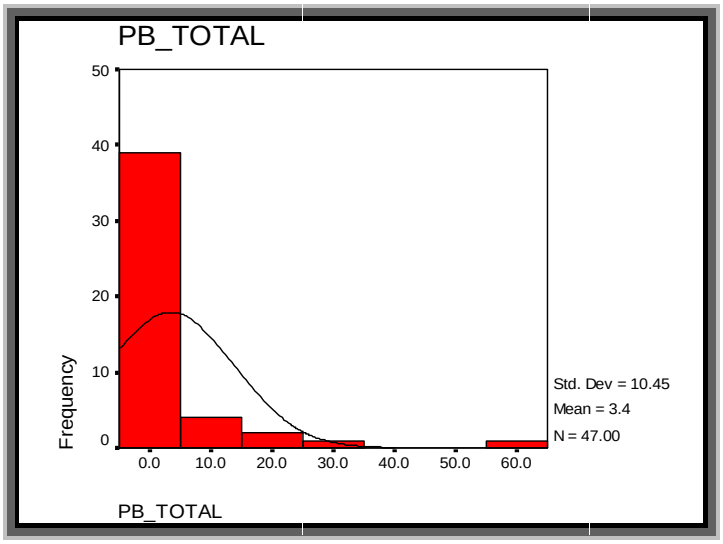
طلا تنها در دو نمونه به شماره‌ای KD-138 , KD-42 و در هر کدام به تعداد یک ذره مشاهده شده است. ذره واقع در نمونه۴۲ لامپی شکل و نیمه زاویه‌دار است و اندازه آن ۲۵۰×۹۶۰ میکرون است و ذره واقع در نمونه ۱۳۸، فیلمی شکل و زاویه‌دار بوده و اندازه آن ۱۷۷×۲۶۰ میکرون است.

حضور طلا در این دو نمونه با توجه به اینکه با هیچکدام از آنومالی‌ها منطبق نیست و در هر کدام تنها یک ذره طلا مشاهده شده است، چندان حائز اهمیت نمی‌باشد.

۳-۳-۲- خانواده کانی‌های سرب

مهمترین کانی‌های خانواده سرب که در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده‌اند، به ترتیب فراوانی(در نمونه‌های مشاهده شده) عبارتند از: گالن، پیرومورفیت، وانادینیت، سروزیت، میمتیت، سرب خالص و لیتارژ.

در مجموع تعداد ۴۷ نمونه کانی‌سنگین حاوی آثاری از کانی‌های سرب می‌باشند که مقدار آن از ۰/۰۱ گرم در تن (در ۱۹ نمونه) تا ۶۲/۹۵ گرم در تن متغیر است. هیستوگرام کانی‌های سرب‌دار در شکل (۳- ۷) نشان داده شده است.



شکل (۳- ۷): هیستوگرام کانی‌های سرب‌دار

حضور مقادیر بالای کانی‌های سرب در نمونه‌های کانی سنگین بجز در نمونه ۱۶۷ (که تنها منطبق بر آنومالی عنصر گوگرد می‌باشد) در سایر موارد ارتباط معنی‌داری با آنومالی‌های ژئوشیمیایی دارد. بخصوص که در نمونه‌های KD-24, KD-246, KD-47 منطبق بر آنومالی‌های سرب است و در نمونه‌های KD-46, KD-233 که آنومالی‌های سرب در آنها ثبت نشده است، حضور مقادیر قابل توجه کانی‌های سرب همراه با آنومالی‌های واقع در جنوب غرب این نمونه‌ها، یک روند منطقی از آنومالی سرب را در این منطقه نشان می‌دهد.

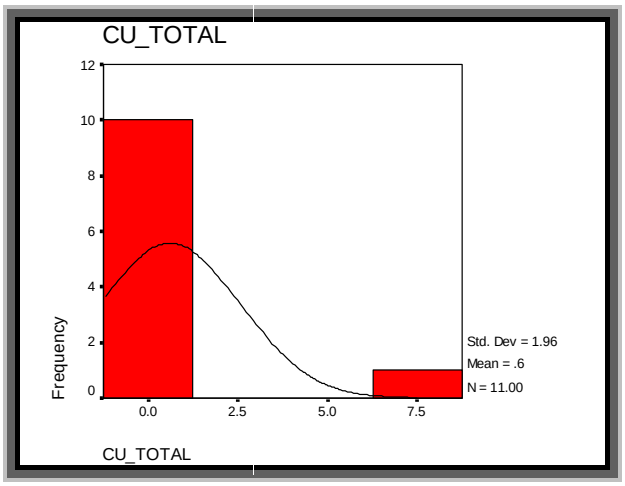
در نمونه KD-174 نیز حضورکانی‌های سرب‌دار با حضور آنومالی‌های مس، نیکل، کروم، تیتان و آهن همپوشانی نزدیکی دارد.

۳-۳-۳- خانواده مس

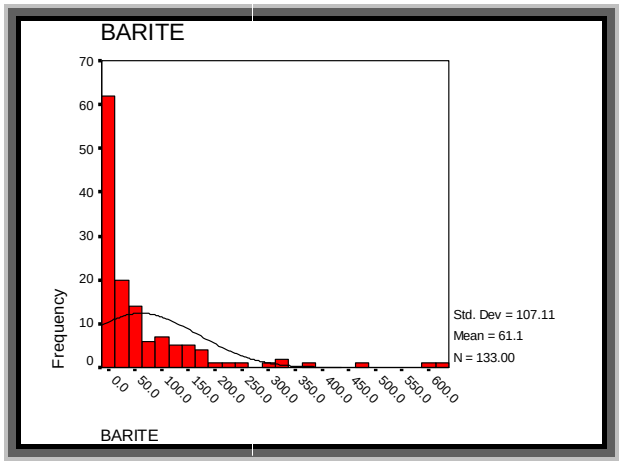
کانی‌های مس‌دار مشاهده شده در این منطقه شامل کالکوپیریت، کوپریت، آزوریت و مس خالص است. هیستوگرام کانی‌های مس‌دار در شکل (۳- ۸) نشان داده شده است. علی رغم این تنوع کانی‌شناسی کانی‌های مس‌دار تنها در یازده نمونه مشاهده شده است. که در این میان در ۱۰ نمونه در حد ۰/۰۱ گرم در تن می‌باشند و تنها در نمونه KD-240 مس خالص در حد قابل توجه وجود دارد (۶/۵۳ گرم در تن). حضور قابل توجه مس در نمونه کانی سنگین فوق علی رغم اینکه ارتباطی با آنومالی‌های ثبت شده مس در منطقه ندارد، ولی ارتباط و انطباق آن با حضور قابل توجه کانی‌های سرب‌دار و آنومالی‌های سرب در این نقطه بر ارزش حضور این کانی افزوده و آن را حائز اهمیت می کند.

۳-۳-٤- باریت

کانی باریت در ۱۲۸ نمونه از ۱۳۳ نمونه مطالعه شده حضور دارد. این نکته بیانگر حضور باریت به صورت زمینه در کل محدوده مورد مطالعه است. هیستوگرام باریت در شکل (۳- ۹) نشان داده شده است. مقدار باریت در ۹ نمونه بیش از ۲۰۰ گرم در تن و در ۲۴ نمونه بیش از ۱۰۰ گرم در تن است.



شکل (۳- ۸): هیستوگرام کانی‌های مس‌دار



شکل (۳- ۹): هیستوگرام باریت

در هر سه ناحیه آنومال مربوط به عناصر فاکتور دوم (بخصوص سرب و باریت) شاهد حضور بالاترین مقادیر باریت در آنها هستیم (از جمله در نمونه‌های KD-187, KD-220, KD-229. در نمونه‌های KD-174, KD-308 مقادیر بالای باریت با آنومالی‌های عناصر فاکتور اول از جمله مس همپوشانی دارد. در محدوده نمونه‌های KD-318, KD-327 و تا حدودی نمونه‌های اطراف آنها مقادیر باریت نسبت به سایر نمونه‌ها بالا بوده، ولی ارتباط با آنومالی چندانی هیچکدام از عناصر ندارد. البته در این محدوده بسیاری از کانی‌ها بالاترین مقادیر خود را دارا می‌باشد که هیچ آنومالی در آنها ثبت نشده است و به همین دلیل، این محدوده تنها بر اساس مطالعات کانی‌سنگین بعنوان آنومالی معرفی می‌شود.

۳-۳-۵- سینابر

کانی سینابر در چهار نمونه و تنها در حد ۰/۰۱ گرم در تن مشاهده شده است.

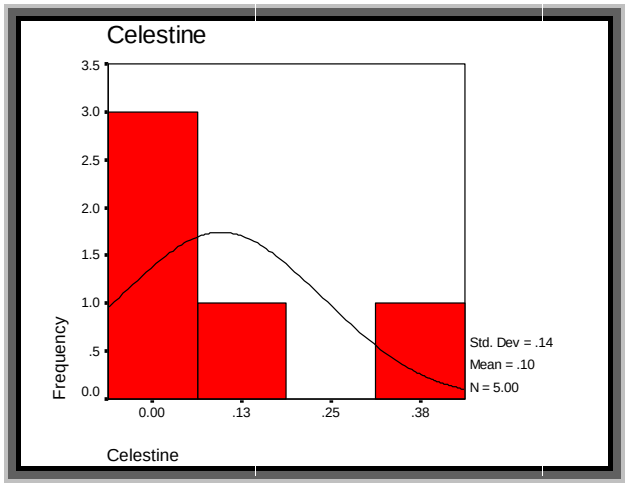
این نمونه شامل KD-22, KD-314, KD-229, KD-318 است.

نمونه KD-229 ارتباط نزدیک و قابل توجهی با آنومالی عناصر فاکتور دوم و حضور کانی‌های سرب‌دار و باریت دارد. همچنین در سایر نمونه‌ها سینابر با کانی باریت و بسیاری از کانی‌های دیگر حضور دارد. حضور سینابر در این نمونه‌ها و همراهی آن با کانی‌های دیگر و ارتباط معنی‌دار آن با این کانی‌ها بر ارزش حضور کانی سینابر در این محل می‌افزاید.

۳-۳-۶- سلستیت

کانی سلستیت تنهادر ۵ نمونه مشاهده شد که در نمونه KD-182, KD-260 مقدار آن قابل توجه‌تر و در ۳ نمونه دیگر در حد ۰/۰۱ گرم در تن موجود می‌باشد. هیستوگرام سلستیت در شکل (۳- ۱۰) نشان داده شده است.

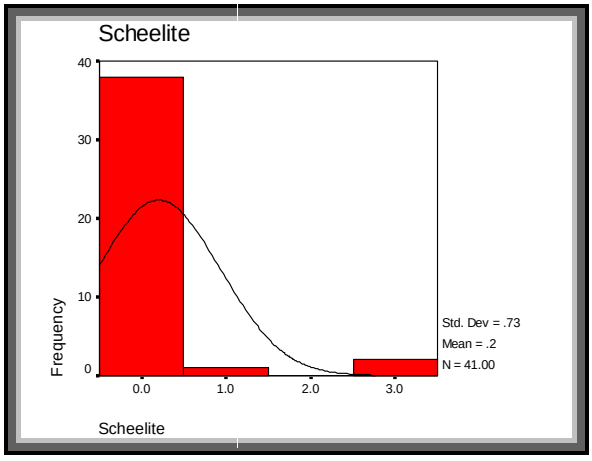
در نمونه‌های ۲۶۰ و ۱۸۲ حضور کانی سلستیت (که حاوی بیشترین مقدار در بین ۵ نمونه است) با آنومالی گوگرد منطبق می‌باشد و در نمونه ۲۲۹ با آنومالی‌های سرب و روی همپوشانی دارد. در دو نمونه دیگر ارتباطی بین حضور این کانی و آنومالی‌های ثبت شده وجود ندارد.



شکل (۳- ۱۰): هیستوگرام سلستیت

۳-۳-۷- شئلیت

شئلیت در ۴۱ نمونه حضور دارد که تنها در سه نمونه مقدار آن تا حدودی قابل توجه می‌باشد و در بقیه نمونه‌ها درحد ۰/۰۱ گرم در تن است. هیستوگرام شئلیت در شکل (۳- ۱۱) نشان داده شده است.



شکل (۳- ۱۱): هیستوگرام شئلیت

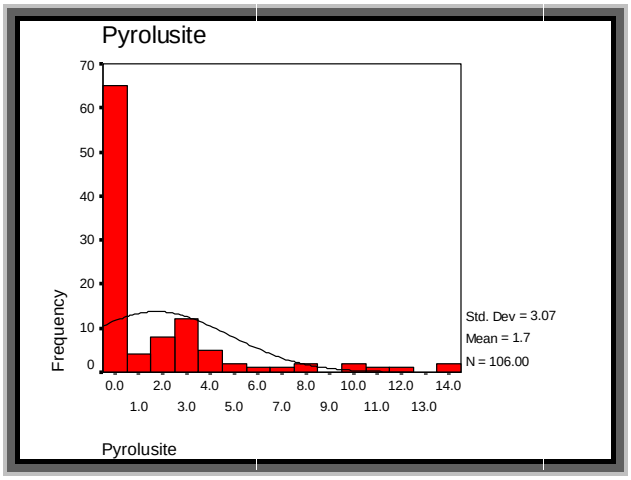
در مورد حضور شئلیت در سه نمونه فوق، این نکته حائز اهمیت می‌باشد که این سه نمونه به شماره‌های KD-314, KD-238, KD-237 در یک محدوده واقع شده‌اند (مانند بسیاری از کانی‌های دیگر) که بیانگر حضور معنی‌دار و آنومال این کانی در این محدوده می‌باشد.

۳-۳-۸- کاسیتریت

کانی کاسیتریت علی رغم اینکه در ۲۲ نمونه مشاهده شده است، مقدار آن در هیچکدام از این نمونه‌ها بیشتر از ۰/۰۱ گرم در تن نمی‌باشد. علاوه بر این نمونه‌های حاوی کاسیتریت به شکل کاملاً نامنظم در منطقه پخش می‌باشد. بنابراین نه هیچگونه روند خاصی را نشان می‌دهند و نه در یک محل خاص تمرکز پیدا کرده‌اند. با توجه به پایین بودن مقدار کاسیتریت، عدم حضور آنها در یک محل خاص و نداشتن روند خاص، حضور کاسیتریت در نمونه‌های این منطقه را کم اهمیت کرده و نمی‌توان نتیجه خاصی از آن بدست آورد.

۳-۳-۹- پیرولوسیت

این کانی منگنزدار در ۱۰۶ نمونه مشاهده شده است، که در این میان در ۶۰ نمونه مقدار آن در حد ۰/۰۱ گرم در تن می باشد. هیستوگرام پیرولوسیت در شکل (۳-۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۳- ۱۲): هیستوگرام پیرولوسیت

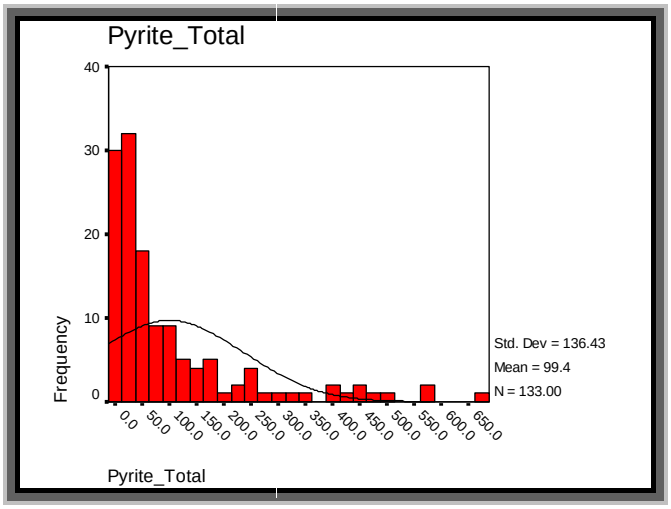
بطور کلی میزان پیرولوسیت در نمونه‌های این منطقه پایین می‌باشد. بطوریکه حداکثر میزان آن برابر با ۱۳/۵ گرم در تن است که در نمونه‌های KD-197, KD-174 گزارش شده است. در برخی نمونه‌ها از جمله, KD-135 KD-16 , KD-21 حضور پیرولوسیت منطبق بر آنومالی‌های منگنز است. مهمترین نکته قابل توجه در مورد پیرولوسیت آن است که، نمونه‌هایی که بیشترین مقدار پیرولوسیت را دارا می‌باشند در اطراف آنومالی‌های عناصر فاکتور یک می‌باشد. این نکته با توجه به نزدیکی منگنز به عناصر گروه فاکتور اول می‌تواند بیانگر ارتباط ژنتیکی منگنز با عناصر فاکتور اول باشد (از آنجمله می‌توان به نمونه‌های KD-307 , KD-201, KD-197 , KD-180 اشاره کرد).

۳-۳-۱۰- خانواده پیریت

آنچه در این قسمت بعنوان پیریت معرفی می‌شود شامل مجموع کانی‌های پیریت - پیریت اکسید و پیریت لیمونیت است. کانی‌های گروه پیریت در تمامی نمونه‌ها، مشاهده شده است. هیستوگرام خانواده پیریت در شکل (۳- ۱۳) نشان داده شده است. مقدار این کانی از حداکثر ۶۷۳ گرم در تن (در نمونه KD-206) تا ۰/۵۵ گرم در تن می‌باشد. بطور کلی نمونه‌هایی که حاوی بیشترین مقادیر کانی‌های گروه پیریت هستند در دو منطقه تمرکز بیشتری دارند؛

۱- محدوده آنومالی عناصر فاکتور یک و اطراف آن (بخصوص در شرق آن)

۲- بخش‌های جنوبی محدوده: در این قسمت حضور کانی‌های گروه پیریت بر آنومالی‌های گوگرد و فاکتور دوم منطبق است.



شکل (۳- ۱۳): هیستوگرام کانی های خانواده پیریت

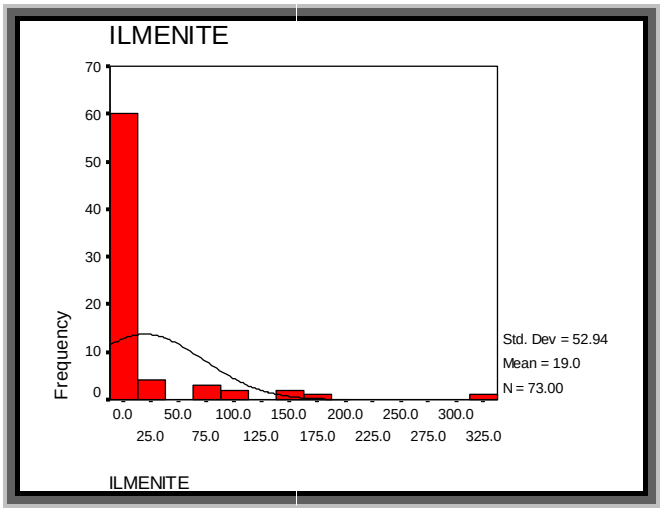
۳-۳-۱۱- لیمونیت

این کانی در ۱۳۲ نمونه مشاهده شده است. حداقل مقدار آن ۱/۸۷ گرم در تن و حداکثر آن ۵۸۷ گرم در تن (در نمونه KD-314) می‌باشد. هیستوگرام لیمونیت در شکل (۳- ۳) نشان داده شده است.

این کانی نیز از پراکندگی نامنظمی در منطقه برخوردار بوده و آنومالی خاص و قابل توجهی از خود نشان نمی‌دهد. تنها می‌توان تمرکزهایی از این کانی را در اطراف آنومالی‌های عناصر فاکتور یک و در شمال غرب و جنوب غرب آنومالی‌های عناصر فاکتور دو مشاهده کرد.

۳-۳-۱۲- ایلمنیت

این کانی آهن و تیتان‌دار در ۷۳ نمونه دیده شده است، که ۲۸ مورد آن در حد ۰/۰۱ گرم در تن می‌باشد. هیستوگرام ایلمنیت در شکل (۳- ۱۴) نشان داده شده است. حداکثر مقدار آن ۳۳۳ گرم در تن است که در نمونه KD-247 گزارش شده است. پس از این نمونه، بیشترین مقدار آن در نمونه‌ها KD-125, KD-18, KD-10 وجود دارد. یکی از بالاترین مقادیر ایلمنیت در آبراهه شرقی ارتفاعاتی قرار دارد (نمونه KD-18) که در آبراهه‌های غربی و جنوبی آن آنومالی‌های تیتان ثبت شده است.



شکل (۳- ۱۴): هیستوگرام ایلمنیت

۳-۳-۱۳- کانی‌های گروه آهن

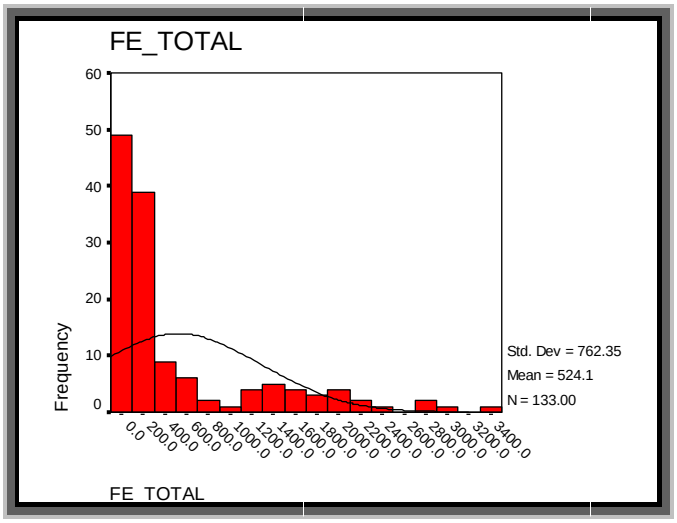
کانی‌های آهن‌دار مشاهده شده در این محدوده شامل مگنتیت، هماتیت، اولیژیست، مارتیت و گوتیت می‌باشد. کانی‌های آهن‌دار در تمام نمونه‌های این منطقه وجود دارند. هیستوگرام کانی‌های گروه آهن در شکل (۳- ۱۵) نشان داده شده است. حداقل مقدار آن ۰/۰۴ گرم در تن و حداکثر آن ۳۴۴۰ گرم در تن (در نمونه KD-220) است. این اعداد بیانگر این مطلب است که مقدار کانی‌های آهن‌دار در این منطقه در حد قابل توجه نبوده و عیارهای آن پایین می‌باشد.

در مورد پراکندگی کانی‌های آهن‌دار، اکثر نمونه‌هایی که بیشترین مقدار آهن را دارا می‌باشند، بر آنومالی‌های آهن و همچنین آنومالی‌های سایر عناصر فاکتور اول منطبق می‌باشد. این مطلب (علی رغم اینکه مقدار آهن در نمونه‌های کانی سنگین چندان قابل توجه نیستند) بیانگر حضور آنومالی‌های واقعی آهن در این منطقه است. ولی نمی‌توان امید چندانی به آنها داشت.

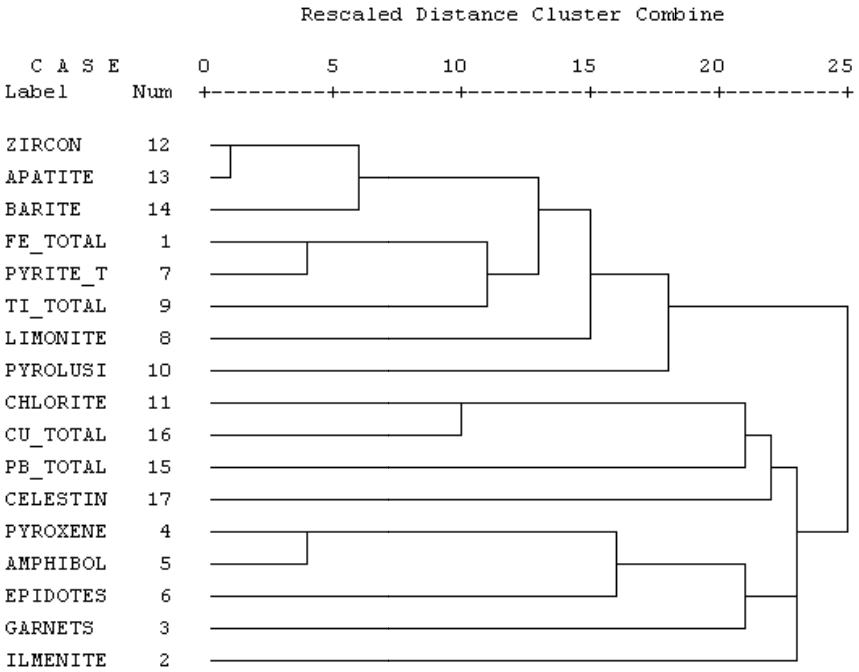
در مورد کانی‌های گارنت و اپیدوت با توجه به مقادیر پایین این کانی‌ها در و شواهد زمین‌شناسی و عدم حضور توده‌های نفوذی در منطقه دستیابی به زون‌های اسکارنی را بسیار پایین و حتی غیر ممکن می‌کند.

۳-٤- آنالیز خوشه‌ای نمونه‌های کانی سنگین

این روش می‌تواند به منظور درک ارتباط بین متغیرهای مختلف کانی‌سنگین مفید واقع شود. جهت درک نحوه ارتباط پاراژنزی بین متغیرهای مختلف و گروه بندی آنها اقدام به آنالیز چند متغیره به روش کلاستر شده است. نمودار آنالیز کلاستر در شکل (۳- ۱۶) آورده شده است.



شکل (۳- ۱۵): هیستوگرام کانی‌های آهن‌دار



شکل (۳- ۱۶): نمودار آنالیز کلاستر کانی‌های مهم منطقه درق

بر اساس نمودار رسم شده، گروه‌های قابل تفکیک در این نمودار به شرح ذیل می‌باشد:

مجموعهٔ اول شامل کانی‌های آپاتیت، زیرکن، باریت، لیمونیت، پیرولوسیت و خانواده‌های آهن، پیریت و تیتان.

مجموعهٔ دوم شامل کانی‌های کلریت، سلستیت، و خانواده‌های سرب و مس.

مجموعهٔ سوم شامل کانی‌های پیروکسن، آمفیبول، اپیدوت، گارنت و ایلمنیت.

در پایان، مقادیر کانی‌های مختلف به صورت نقشه‌های نمادین (سیمبولی) در صفحات بعد نشان داده شده است.

نقشه‌های کانی سنگین H.S

نقشه‌های کانی سنگین H.S.MAP3

نقشه‌های کانی سنگین H.S.MAP4

نقشه‌های کانی سنگین H.S.MAP5