

۸-۱- مقدمه

هدف نهایی از تمام فعالیت‌های اکتشافی دستیابی به ماده معدنی قابل استحصال می‌باشد. فاکتورهای بسیاری در این زمینه باید مورد بررسی قرار گیرد تا ارزش ماده معدنی هدف، مشخص گردد و صرف مناسب بودن یک فاکتور نمی‌تواند در ارتباط با ماده معدنی قضاوت نمود. برای تصمیم‌گیری نهایی لازم است که تمام اطلاعات و داده‌هایی که فراهم شده است به گونه‌ای با یکدیگر تلفیق گردند تا تمام جوانب موضوع به طور همزمان مورد ارزیابی قرار گیرد.

امروزه با پیشرفت نرم‌افزارهای رایانه‌ای و به وجود آمدن امکان فراهم نمودن دنیای مجازی با داده‌های ثبت شده، دستیابی به اهداف مورد نظر رنگ تازه‌ای به خود گرفته و در فعالیت‌های اکتشافی کاربرد این نرم‌افزارها با گسترش روز افزونی روبرو بوده و دیگر از ملزومات کار محسوب می‌شود. در پروژه اکتشاف مس محدوده سیاه معدن همزمان با فعالیت‌های اکتشافی، تمامی داده‌ها رقومی شده و پس از اتمام کلیه مراحل عملیات صحرایی، این داده‌ها به محیط نرم‌افزار (Datamine) منتقل گردید. با بررسی همزمان تمامی داده‌ها اقدام به مدلسازی نهایی داده‌های ثبت شده در محدوده مورد نظر گردید. در ادامه مراحل انجام کار به ترتیب آورده می‌شود.

۸-۲- داده‌های مورد استفاده در مدل سازی سه بعدی

در محدوده سیاه معدن با شروع فعالیت‌های اکتشافی در مرحله اول این فاز اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی به مقیاس ۱:۱۰۰۰ گردید. مرحله بعدی انجام برداشت‌های ژئوفیزیکی با برداشت‌های سطحی مگنتومتری و اجرای برداشت پروفیل‌های IP و RS بر روی نقاط امید بخش بود. مرحله بعد در این بخش برداشت داده‌های مگنتومتری جهت تکمیل داده‌های ژئوفیزیک بود. در ادامه کار اقدام به حفر ترانشه بر روی شواهد گردید. با جمع بندی داده‌های فوق برای بررسی دقیق‌تر نقاط امیدبخش گمانه‌هایی تعریف گردید تا نحوه گسترش عمقی شواهد ثبت شده بررسی گردد.

۸-۲-۱- نقشه توپوگرافی و زمین شناسی

نقشه‌های توپوگرافی و زمین شناسی تهیه شده در محدوده سیاه‌معدن شامل واحدهای زمین‌شناسی، شواهد معدنی و آلتراسیون و تکتونیک محدوده بوده و از این میان آلتراسیون‌ها و شواهد معدنی راهنمای اول برای مدل‌سازی خواهد بود.

با توجه به اینکه تمام داده‌ها در حین برداشت به صورت رقومی تهیه شده بودند، برای مدل کردن سه بعدی این داده‌ها در محیط دیتامین داده‌های خطی و نقاط با نسبت دادن ارتفاع مربوطه به محیط دیتامین منتقل شدند. برای مدل نمودن داده‌هایی که ماهیت سطح داشتند (واحدهای زمین‌شناسی) ابتدا یک تور سیمی بر روی نقاط ارتفاعی توپوگرافی تعریف گردید. سپس کلیه قسمت‌های موجود در تور سیمی با توجه به قرار گرفتن در واحد مورد نظر تعیین ماهیت شده و در فیلد داده مربوط به آن قسمت، مقداری متناسب با نوع آن نسبت داده شد تا در مرحله نمایش مدل تهیه شده رنگ‌های مدل سیمی با نقشه زمین‌شناسی هماهنگ گردد.

۸-۲-۲- داده‌های ژئوفیزیکی

برای بررسی ژئوفیزیکی محدوده سیاه‌معدن ابتدا یک مرحله برداشت مگنتومتری در کل محدوده انجام شد و پس از آنالیز نتایج و تلفیق آنها با اطلاعات زمین‌شناسی بر روی نقاط امید بخش برداشت پروفیل‌های IP و RS صورت گرفت. آنومالی‌های ثبت شده در پروفیل‌های فوق به همراه شواهد معدنی و زمین‌شناسی پایه تصمیم‌گیری در مورد نقاط حفاری بود.

داده‌های IP و RS پروفیل‌ها برای مدل‌سازی سه بعدی مورد استفاده قرار گرفت و برای این منظور به این صورت عمل گردید که ابتدا مختصات تمام نقاط مشخص شده و ارتفاع سطحی نقطه مورد نظر مشخص شد. در ادامه با اعمال عمق تعیین شده برای هر نقطه برداشت به ارتفاع مورد نظر منتقل گردید.

با توجه به شکل پروفیل‌ها در مدل سه بعدی فضایی که در بین پروفیل‌ها قرار داشت به عنوان فضایی که با استفاده از داده‌های این پروفیل‌ها قابل بررسی است تعیین شده و یک تور سیمی برای محصور کردن این فضا ایجاد گردید. در مرحله بعد توری سیمی با مدل بلوکی به طور کامل پوشش داده شد.

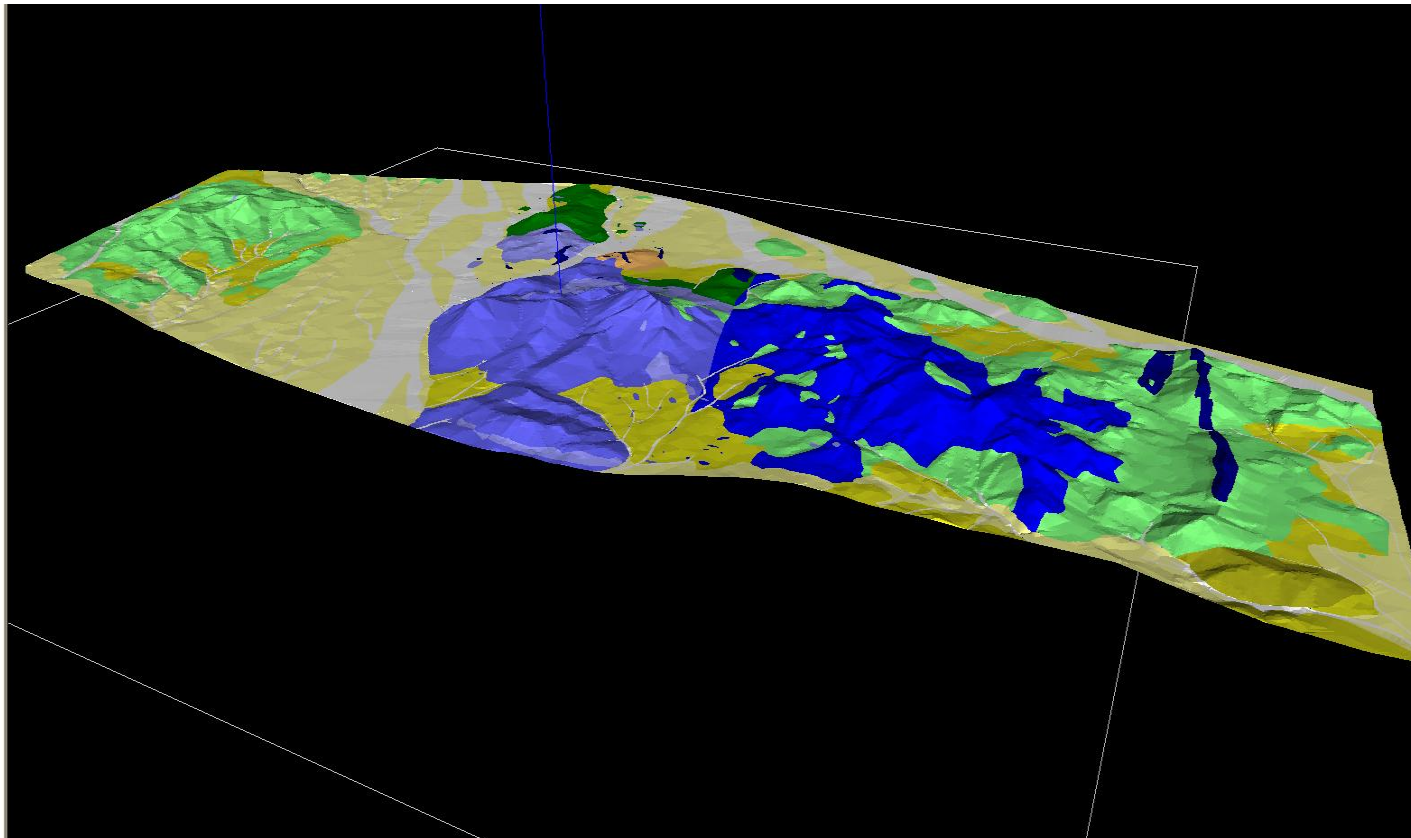
مدل سه بعدی ایجاد شده برای داده‌های IP و RS در CD پیوست ارائه شده است.

۸-۲-۳- داده‌های ترانسه

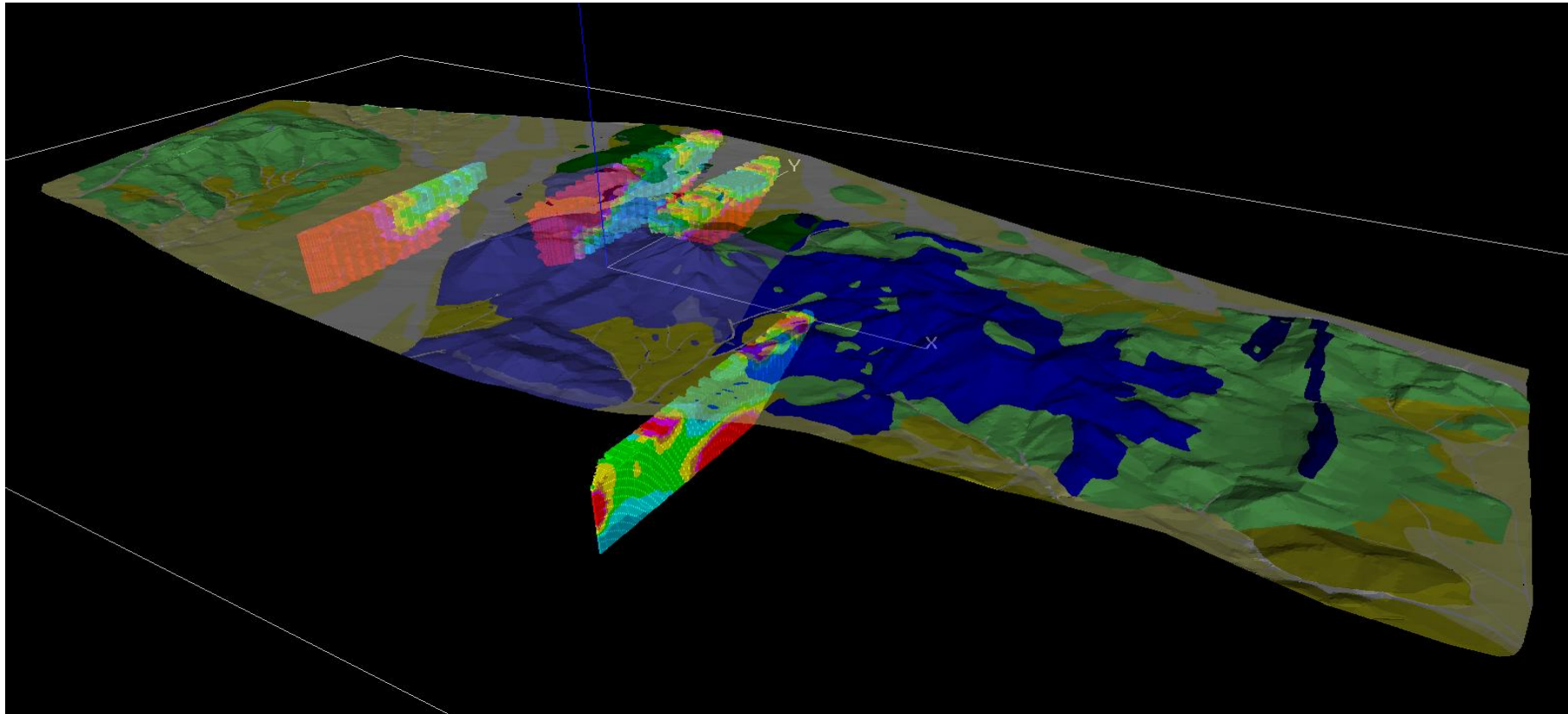
یکی از داده‌هایی که دید بسیار مناسبی در جهت مدل نمودن فضای مورد بررسی به دست می‌دهد، مقادیر ثبت شده در ترانسه‌ها می‌باشد. ترانسه به صورت یک String سه بعدی بر روی مدل پیاده گردید.

۸-۲-۴- داده‌های ثبت شده در گمانه‌ها

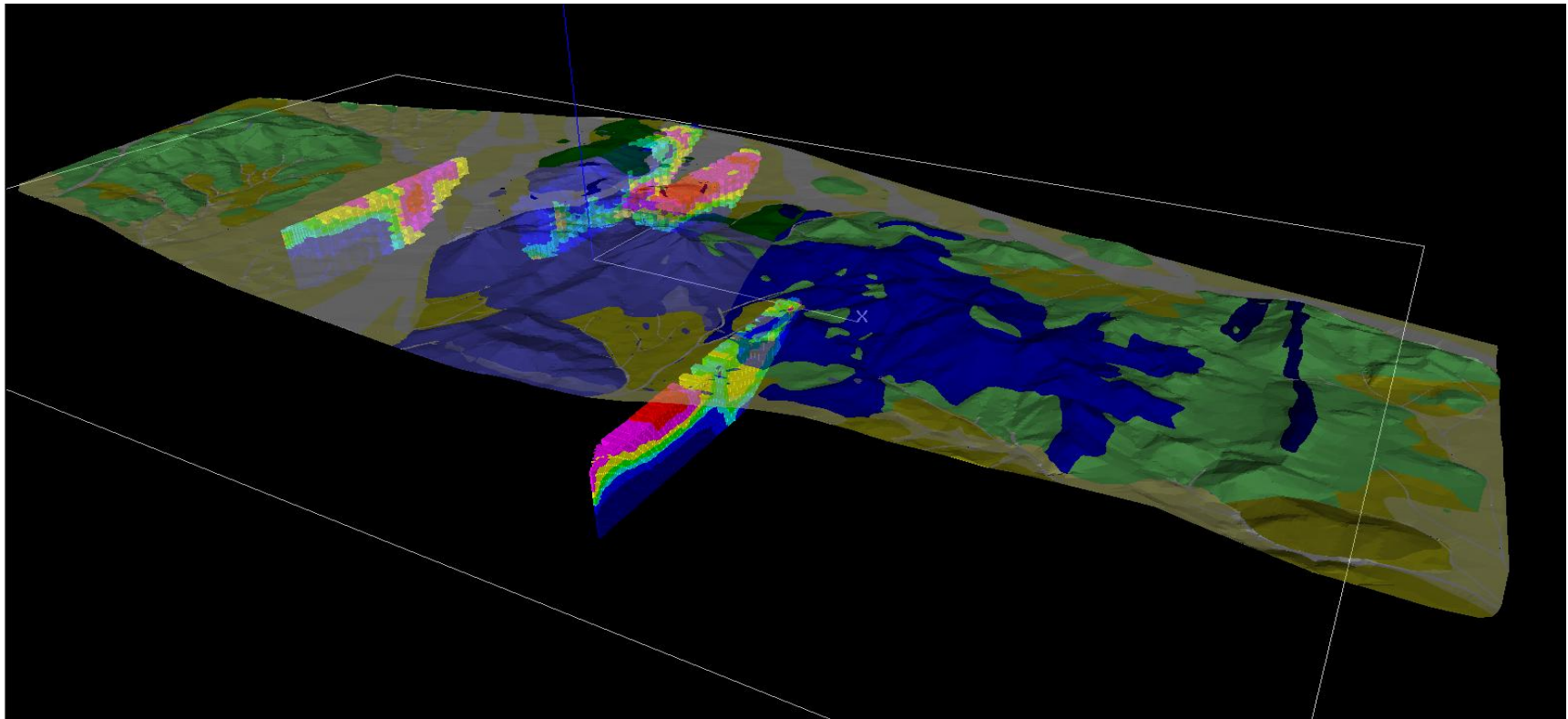
اصلی‌ترین داده‌ای که در مدل‌سازی ماده معدنی کاربرد داشته و تصمیم‌گیری نهایی در مورد شکل ماده معدنی و در نهایت تعیین ذخیره را میسر می‌سازد داده‌های ثبت شده در گمانه‌ها می‌باشد. داده‌های زمین‌شناسی و همچنین آنالیز نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌ها با استفاده از استانداردهای نرم‌افزار دیتامین با ایجاد فایل‌های داده‌های دهانه گمانه‌ها، داده‌های شیب و امتداد گمانه‌ها، داده زمین‌شناسی و در نهایت نتایج آنالیز گمانه‌ها به محیط نرم‌افزار دیتامین منتقل گردید.



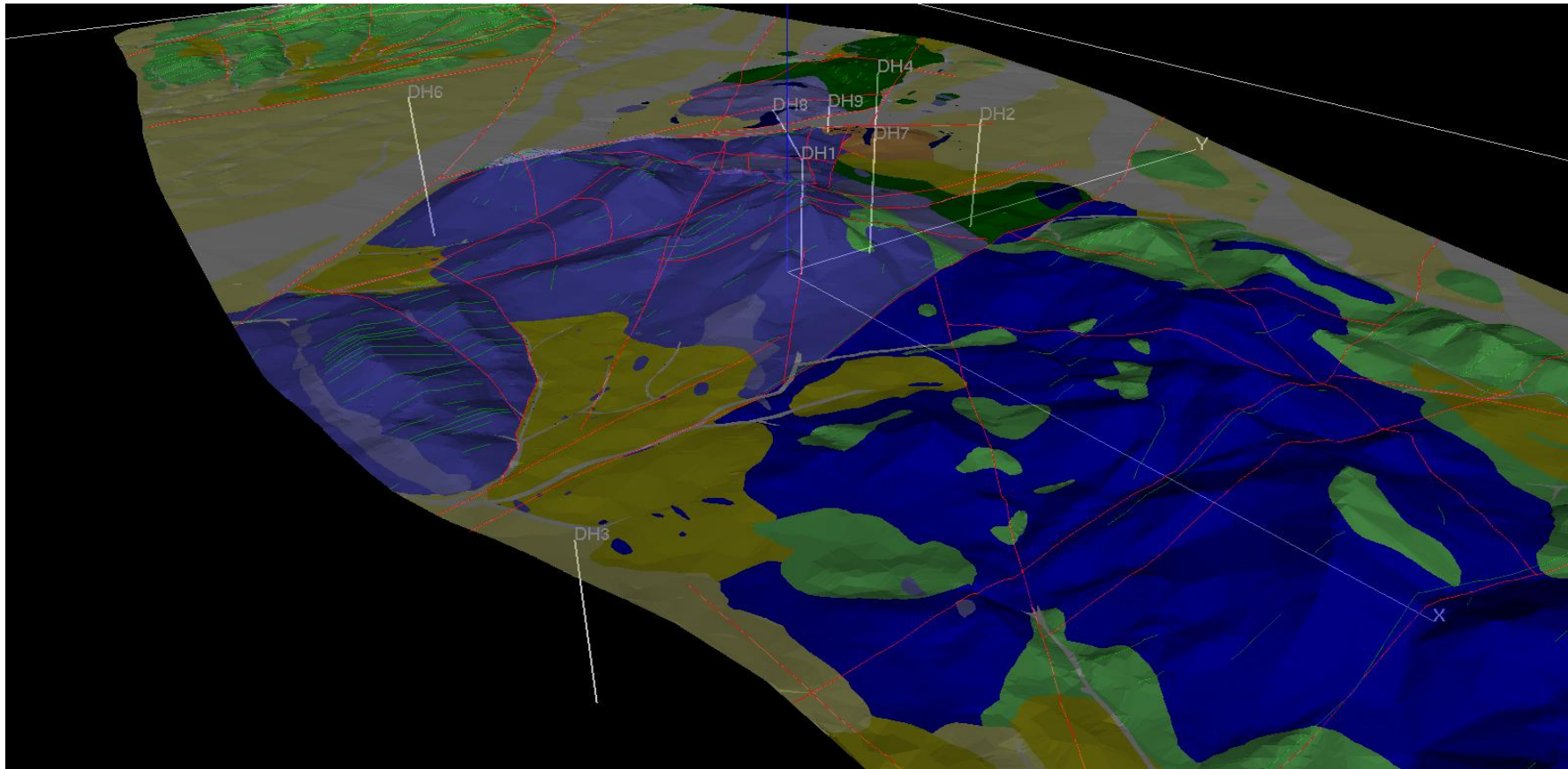
شکل ۸-۱- مدل سه بعدی تهیه شده از داده‌های زمین شناسی



شکل ۸-۲- پروفیل‌های IP در فضای سه بعدی به همراه واحدهای زمین شناسی



شکل ۸-۳- پروفیل‌های RS در فضای سه بعدی به همراه واحدهای زمین شناسی



شکل ۸-۴- موقعیت گمانه‌ها در فضای سه بعدی به همراه واحدهای زمین شناسی و گسل‌ها و رگچه‌های سیلیسی

۳-۸- بررسی آماری داده‌های گمانه‌ها

از کل گمانه‌های حفر شده با توجه به مذاکرات مشاور و کارفرما تعداد ۷۵ نمونه شامل کل گمانه DH7، متراژ ۷۵ تا ۱۰۲ گمانه DH3 و متراژ ۶۶ تا ۱۰۴ گمانه DH6 جهت آنالیز به روش ICP و آنالیز طلا به روش Fire-Assay به آزمایشگاه ارسال گردید. در ادامه نتیجه بررسی داده‌های ثبت شده آورده می‌شود.

۱-۳-۸- جایگزینی داده‌های سنسورد

در اولین گام از بررسی داده‌ها اقدام به جایگزینی مقادیر سنسورد گردید. در این مورد تنها عنصر Au دارای ۱۲ مورد داده سنسورد از پایین بود که با مقدار 0.75 ppb جایگزین گردید.

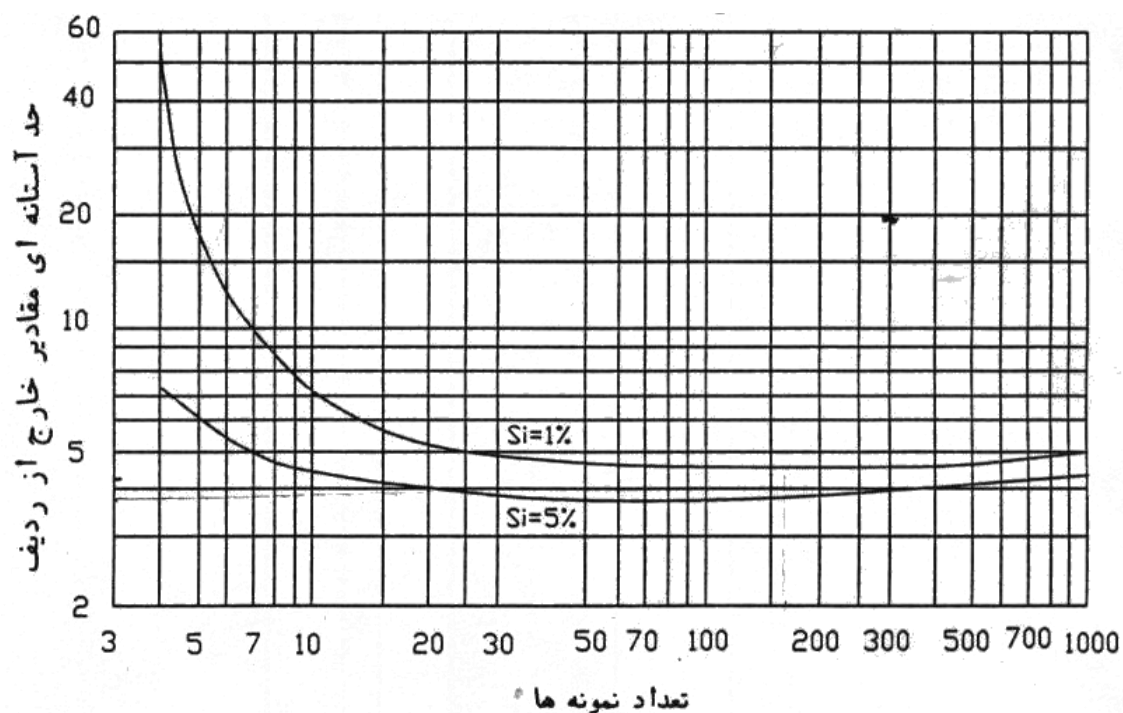
۲-۳-۸- پردازش داده‌های خارج از ردیف داده‌های گمانه

در توزیع جوامع عیار مواد معدنی معمولاً یک انحراف از توزیع نرمال با چولگی مثبت دیده می‌شود که به علت حضور داده‌ها با مقادیر بالا در کرانه راست داده‌ها می‌باشد و نشان از آنومالی و در مقیاس‌های محلی نماینده بخش پرعیار کانسنگ می‌باشد. این مقادیر تحت عنوان مقادیر خارج از ردیف بررسی شده و اصلاح می‌گردند. عموم روش‌ها در این ارتباط جنبه تجربی داشته و جنبه تئوریک ندارند. در محدوده سیاه معدن از روش نمودار دورفل استفاده گردید (شکل ۸-۵).

در این روش با تعیین حد آستانه ای g از نمودار دورفل اگر بزرگترین مقدار داده‌ها (D_A) در رابطه زیر صدق کند یک داده خارج از ردیف خواهد بود:

$$D_A \geq \bar{D} + S.g$$

با استفاده از این روش داده‌های خارج از ردیف در داده‌های ثبت شده در گمانه به قرار جدول ۸-۱ می‌باشد.



شکل ۸-۵- نمودار دورفل

جدول ۸-۱ داده های خارج از ردیف ثبت شده در گمانه

عنصر	تعداد کل	تعداد خارج از ردیف	مقدار جایگزینی
Au (ppb)	۷۵	۱	۳۹,۷۵
Fe (ppm)	۷۵	۲	۷۷,۰۱۳
K (ppm)	۷۵	۱	۲۱,۵۱
Ag (ppm)	۷۵	۲	۰,۴۴۵
As (ppm)	۷۵	۱۳	۹,۹۵
Be (ppm)	۷۵	۴	۱,۳۸
CD (ppm)	۷۵	۶	۰,۳۵
Cu (ppm)	۷۵	۲	۱۹,۸۲
La (ppm)	۷۵	۱	۴۴,۱۹
Li (ppm)	۷۵	۱	۴,۸۱
Mo (ppm)	۷۵	۶	۸,۳۱
P (ppm)	۷۵	۴	۳۰,۴۴
Pb (ppm)	۷۵	۵	۷,۸۱
S (ppm)	۷۵	۲	۳۱۳۹,۷۲
Sb (ppm)	۷۵	۳	۱,۳
Sn (ppm)	۷۵	۱	۲,۱۱
Sr (ppm)	۷۵	۱	۳,۹
Ti (ppm)	۷۵	۱	۰,۳۵
V (ppm)	۷۵	۴	۷,۵
W (ppm)	۷۵	۴	۱,۳
Zn (ppm)	۷۵	۲	۲,۸۰

۸-۳-۳- بررسی توزیع مقادیر ثبت شده برای عناصر

در جدول ۸-۲ آماره های عناصر مهم در بررسی های معدنی آورده شده است. توزیع این عناصر در

نمودارهای ۸-۱ الی ۸-۶ مورد بررسی قرار گرفته است که در ادامه به بررسی نتایج پرداخته می شود:

توزیع عنصر طلا دارای توزیع L بوده و نشان از حضور مقادیر متفاوت در سمت راست توزیع این عنصر

می باشد، با نگاهی به Q-Q Plot این عنصر برای توزیع لاگ نرمال نیز مشاهده می شود که داده های اصلی

این عنصر به توزیع لاگ نرمال نزدیک می‌باشند و در بخش راست توزیع این عنصر بیش از حد مورد انتظار در توزیع لاگ نرمال می‌باشد.

جدول ۸-۲- پارامترهای آماری عناصر در گمانه های سیاه معدن

	Mean	Median	Mode	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	Range	Minimum	Maximum
Au	5.607	2.000	1.000	8.753	76.619	2.778	7.466	39.000	0.750	39.750
Fe	91086.883	73332.000	272062.202	50518.822	2552151341.591	2.161	4.727	243778.202	28284.000	272062.202
Ag	0.275	0.270	0.270	0.050	0.003	1.482	3.341	0.255	0.190	0.445
As	8.048	7.700	9.948	0.948	0.898	1.168	0.047	3.148	6.800	9.948
Be	0.522	0.410	0.380	0.274	0.075	1.992	3.248	1.109	0.270	1.379
Bi	7.786	0.570	0.560	11.583	134.164	1.746	3.158	55.227	0.380	55.607
Cd	0.293	0.290	0.290	0.019	0.000	1.406	2.356	0.086	0.260	0.346
Cu	308.333	131.500	103.000	471.176	222006.820	2.500	5.488	1980.634	2.000	1982.634
Mo	1.763	0.660	0.610	2.402	5.772	1.995	2.436	7.712	0.550	8.262
Pb	21.135	18.000	8.000	16.907	285.850	1.656	2.555	63.607	8.000	71.607
S	4502.042	1825.000	1487.000	6139.623	37694976.289	2.477	5.639	26262.716	77.000	26339.716
Sb	1.059	1.050	1.020	0.071	0.005	1.437	3.438	0.361	0.940	1.301
Sn	2.587	2.600	2.600	0.145	0.021	1.314	3.526	0.862	2.300	3.162
Te	0.163	0.160	0.160	0.021	0.0004	1.763	4.011	0.120	0.130	0.250
W	1.073	1.050	1.301	0.095	0.009	1.358	1.140	0.341	0.960	1.301
Zn	113.186	86.000	84.000	73.367	5382.782	2.182	4.650	345.113	35.000	380.113
Mn	2242.159	1721.500	1597.000	1370.635	1878641.493	1.248	1.298	6938.000	158.000	7096.000

در هیستوگرام فراوانی عنصر Fe چولگی مثبت مشاهده می‌شود که با بررسی Q-Q Plot این عنصر می‌توان حضور دو جامعه در توزیع این عنصر را مشخص نمود.

عنصر S نیز دارای هیستوگرام با چند مد بوده و می‌توان حضور چند جامعه آماری را در توزیع این عنصر مشخص نمود. با بررسی میزان نزدیکی توزیع این عنصر به توزیع لاگ نرمال به نظر می‌رسد که در مقادیر پایین نزدیکی به این توزیع وجود داشته و فقط در مقادیر بالا انحراف از این توزیع مشاهده می‌شود.

Ag در هیستوگرام خود دارای توزیع نرمال با چند مد می‌باشد که با بررسی Q-Q Plot نیز نزدیکی توزیع این عنصر به توزیع نرمال کاملاً مشخص می‌باشد.

هیستوگرام As حالت دو مدی با دو جامعه مشخص داشته و در Q-Q Plot به طور مشخص از توزیع نرمال منحرف شده و مقادیر بیش از مقادیر مورد انتظار در توزیع نرمال می‌باشد.

عنصر Bi توزیع چند مدی مشخصی داشته و در Q-Q Plot با تست توزیع نرمال تقسیم توزیع این عنصر به چند جامعه به وضوح قابل مشاهده است.

توزیع عنصر Mo نزدیک به توزیع L بوده و نشان از حضور مقادیر بالا در داده های این عنصر می باشد و با تست توزیع لاگ نرمال در Q-Q Plot تفکیک توزیع این عنصر به جامعه زمینه و آنومال مشخص می باشد. هیستوگرام فراوانی عنصر سرب نیز حالت چند مدی داشته ولی به طور کل توزیع این عنصر به توزیع لاگ نرمال در نمودار Q-Q Plot نزدیک می باشد.

Sb در هیستوگرام و در Q-Q Plot به طور کامل توزیع نرمال از خود نشان می دهد.

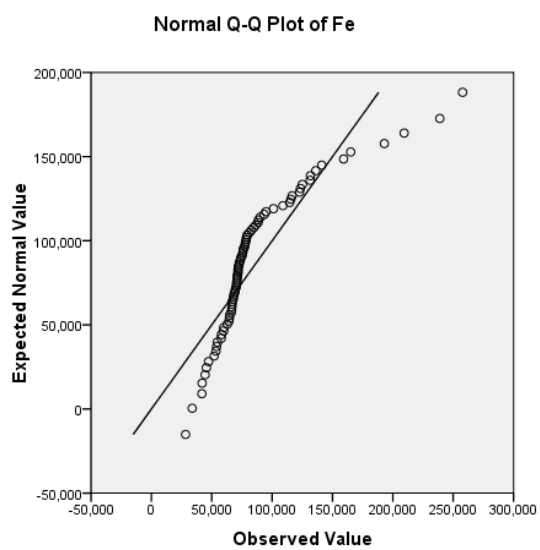
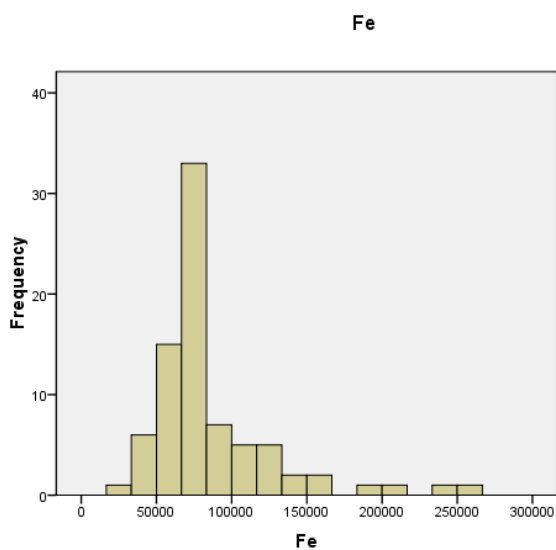
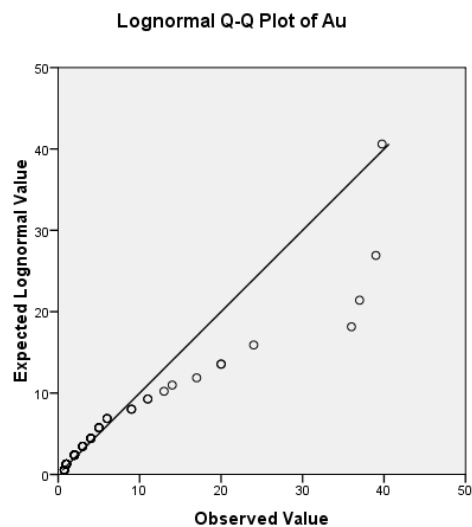
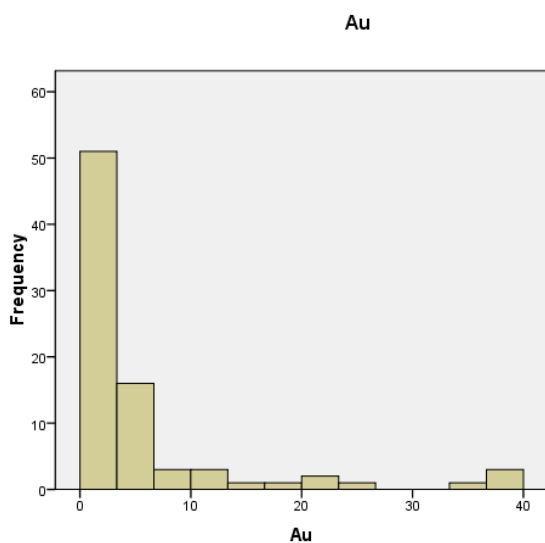
Zn در هیستوگرام خود حالت چند مدی داشته و در Q-Q Plot قابل تفکیک به چند جامعه نرمال می باشد. هیستوگرام عنصر Sn نیز حالت چند مدی به خود می گیرد ولی با بررسی Q-Q Plot این عنصر مشاهده می شود که در مقادیر بالا از جامعه نرمال منحرف می شود.

هیستوگرام عنصر Te نیز با چند مدی بوده و در Q-Q Plot نیز این موضوع برای تست نرمال مشخص می باشد. عنصر Cd چه در هیستوگرام و چه در Q-Q Plot با تست نرمال کاملاً به توزیع نرمال نزدیک می باشد.

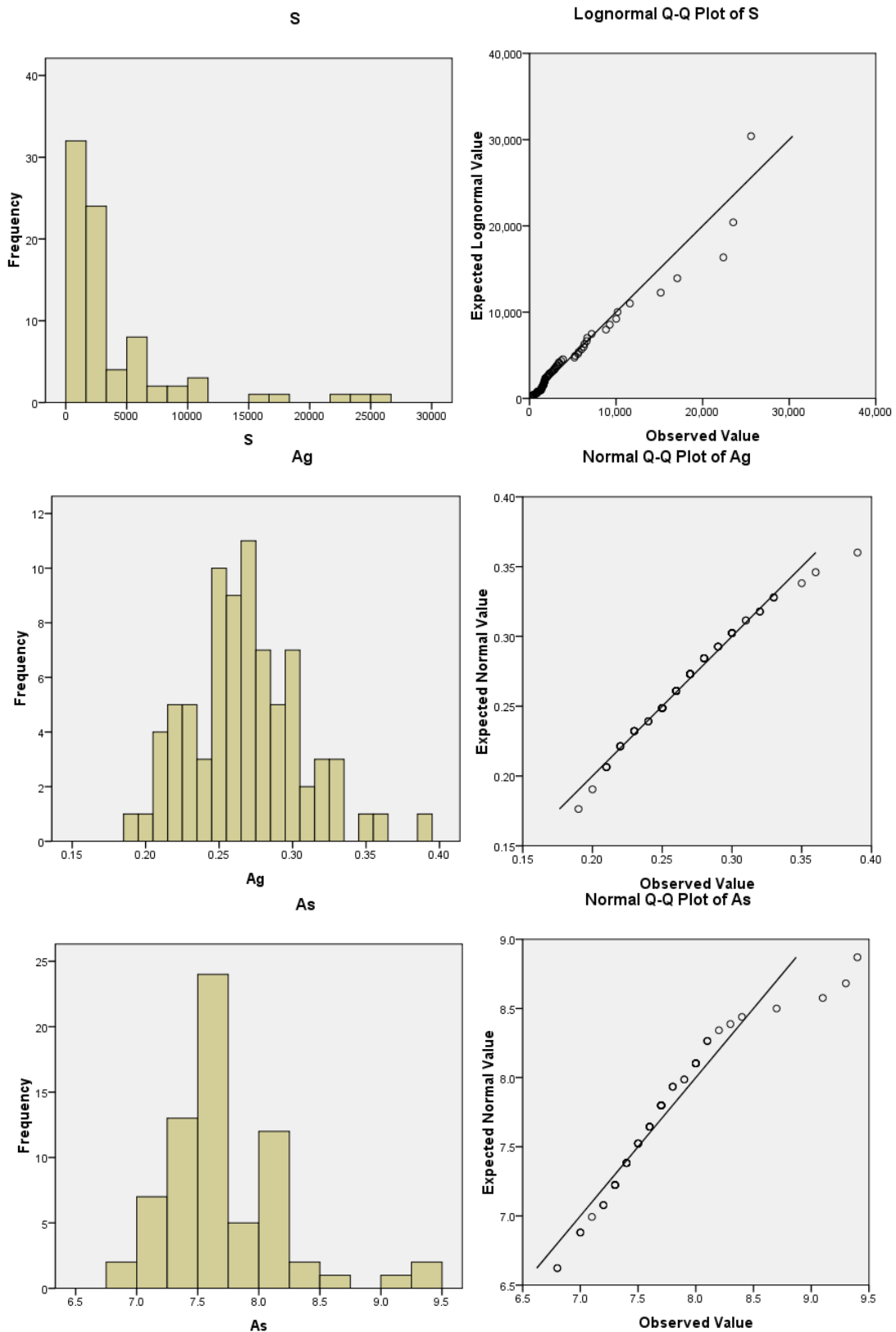
Be در هیستوگرام دارای توزیع چند مدی بوده و در Q-Q Plot دو جامعه نرمال به وضوح قابل تفکیک می باشد.

Cu دارای هیستوگرام چند مدی بوده و در نمودار Q-Q Plot لاگ نرمال نیز این شرایط را حفظ می کند و می توان حضور چندین جامعه را برای این عنصر در نظر گرفت که به نظر هر کدام نزدیک به توزیع لاگ نرمال می باشند.

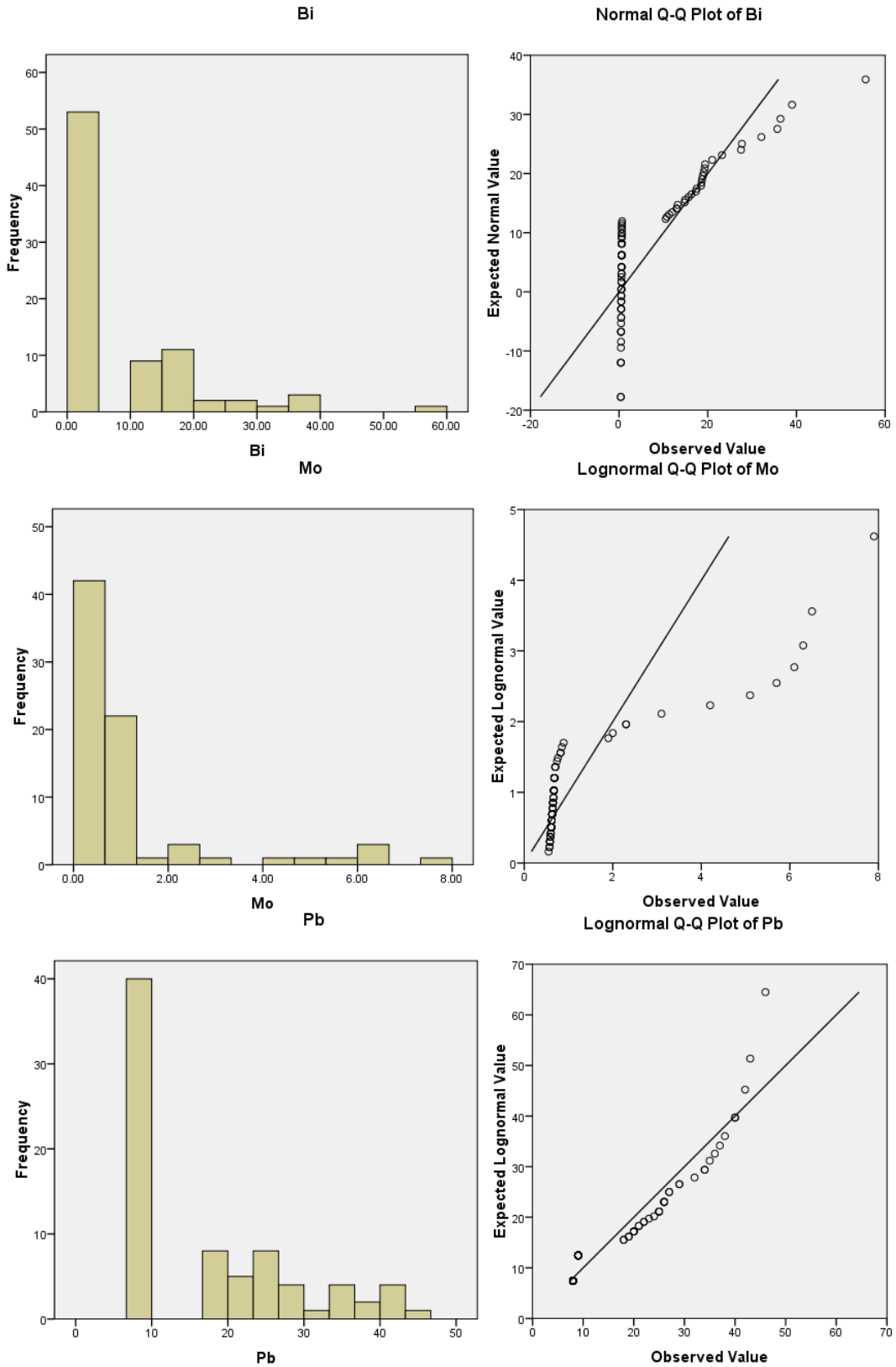
W دارای توزیع چند مدی بوده و در Q-Q Plot مقادیر پایین این عنصر از توزیع نرمال دارای انحراف می باشند.



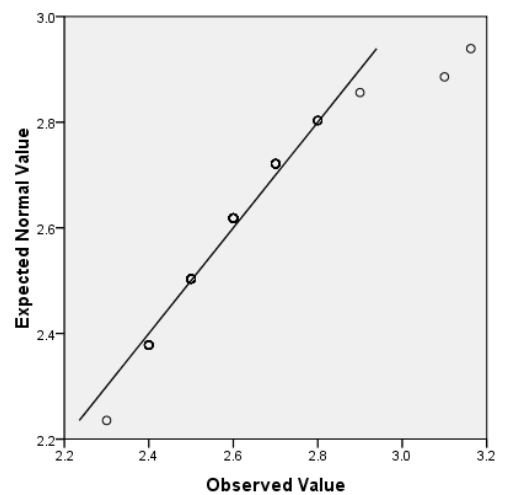
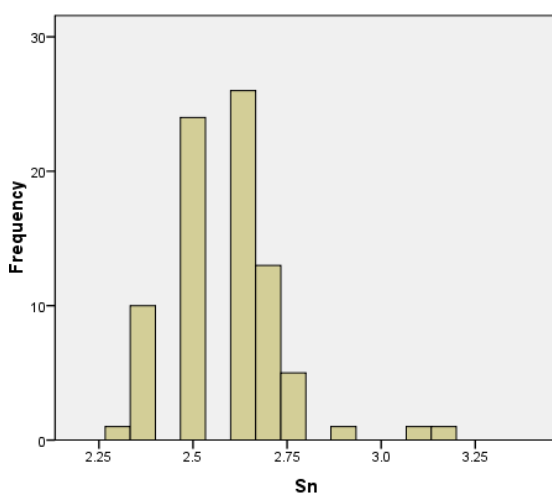
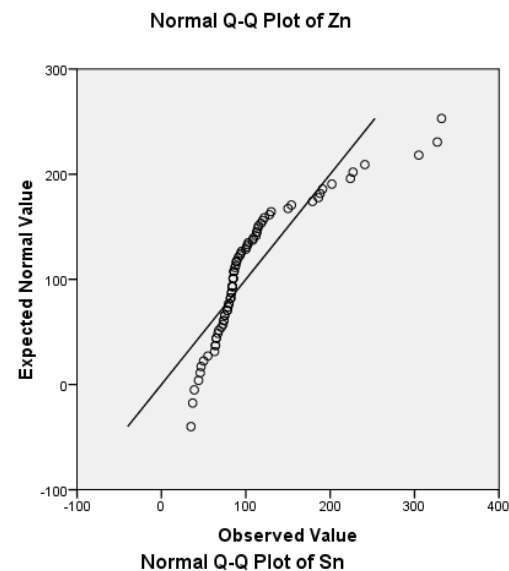
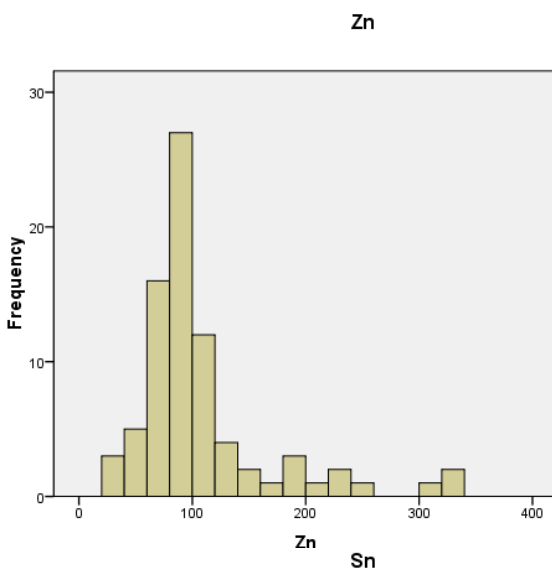
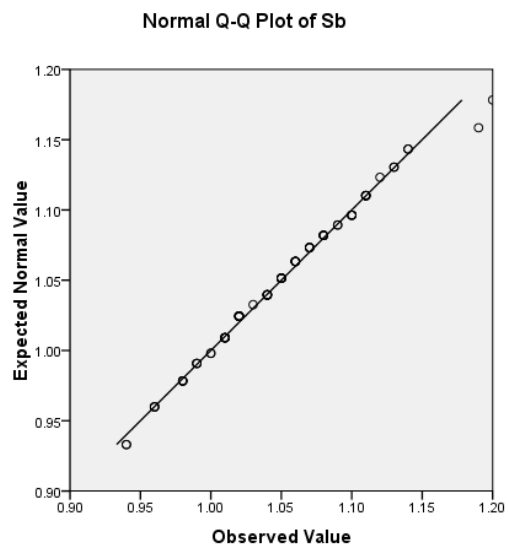
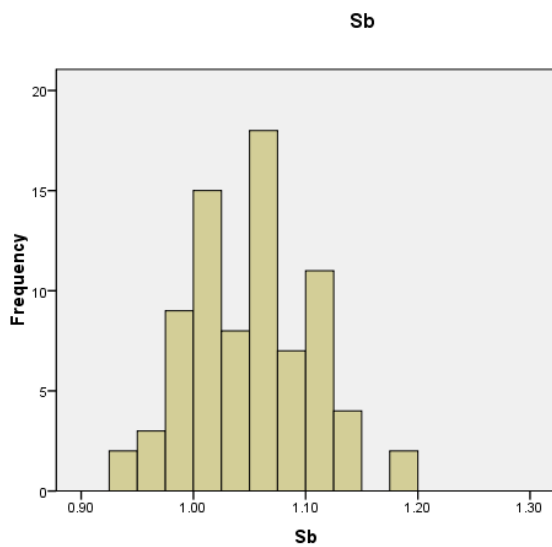
نمودار ۸-۱- هیستوگرام فراوانی و Q-Q plot عناصر Au و Fe



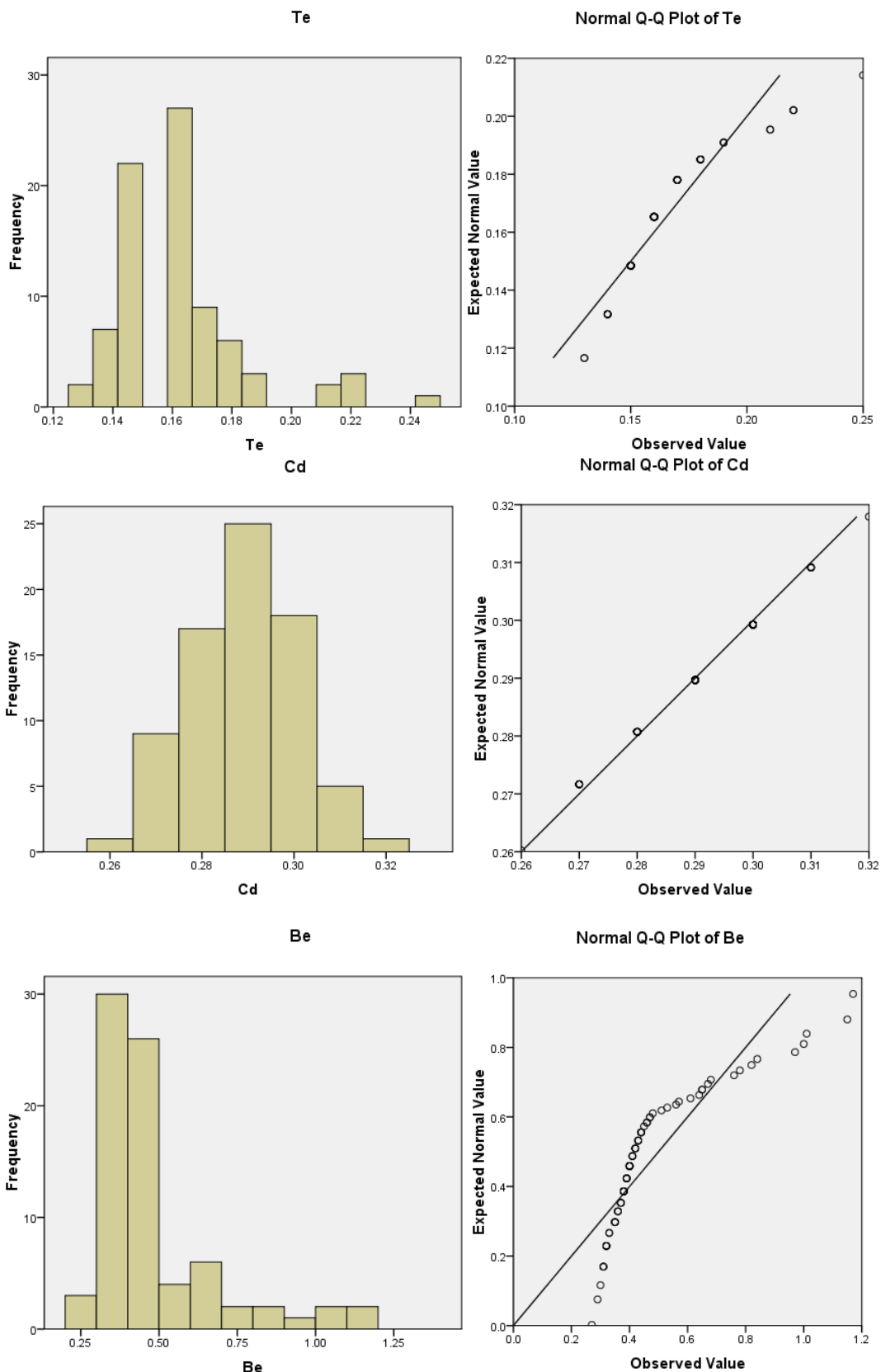
نمودار ۸-۲- هیستوگرام فراوانی و Q-Q plot عناصر S، Ag و As



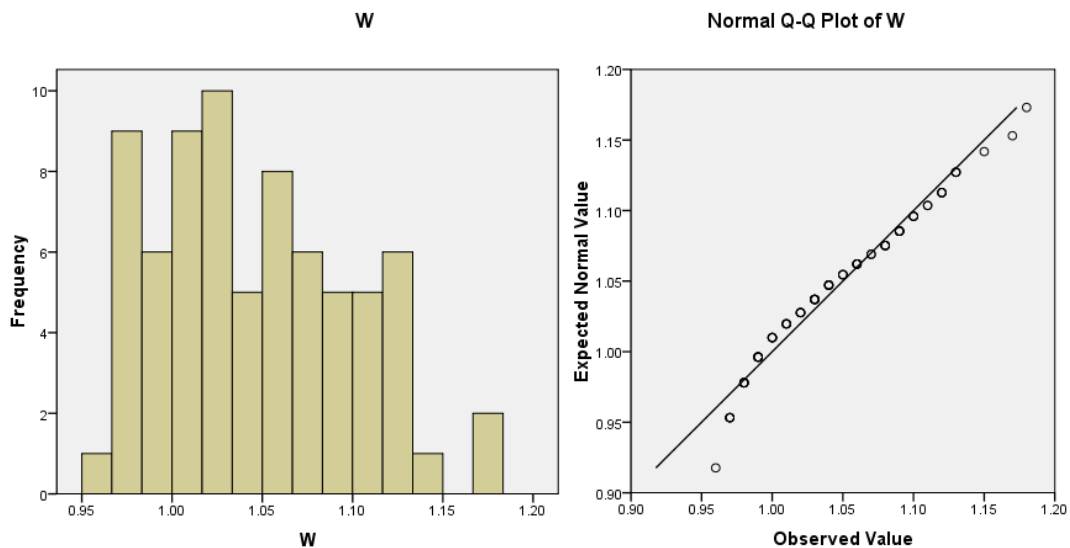
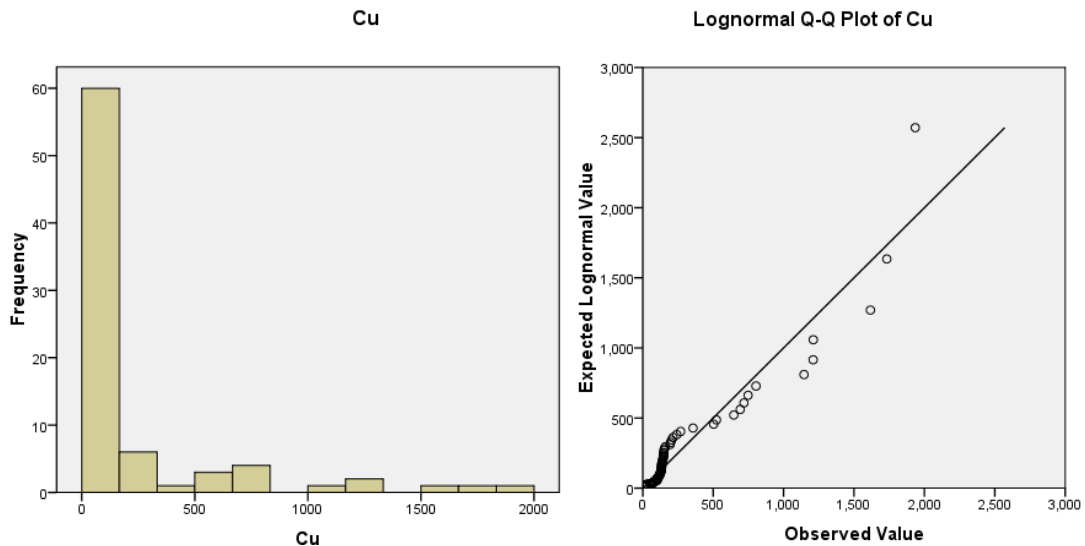
نمودار ۸-۳- هیستوگرام فراوانی و Q-Q plot عناصر Bi و Mo ، Pb



نمودار ۸-۴- هیستوگرام فراوانی و Q-Q plot عناصر Sb ، Zn و Sn



نمودار ۸-۵- هیستوگرام فراوانی و Q-Q plot عناصر Te ، Cd و Be



نمودار ۸-۶- هیستوگرام فراوانی و Q-Q plot عناصر Cu و W

۸-۳-۴- بررسی ضرایب همبستگی عناصر

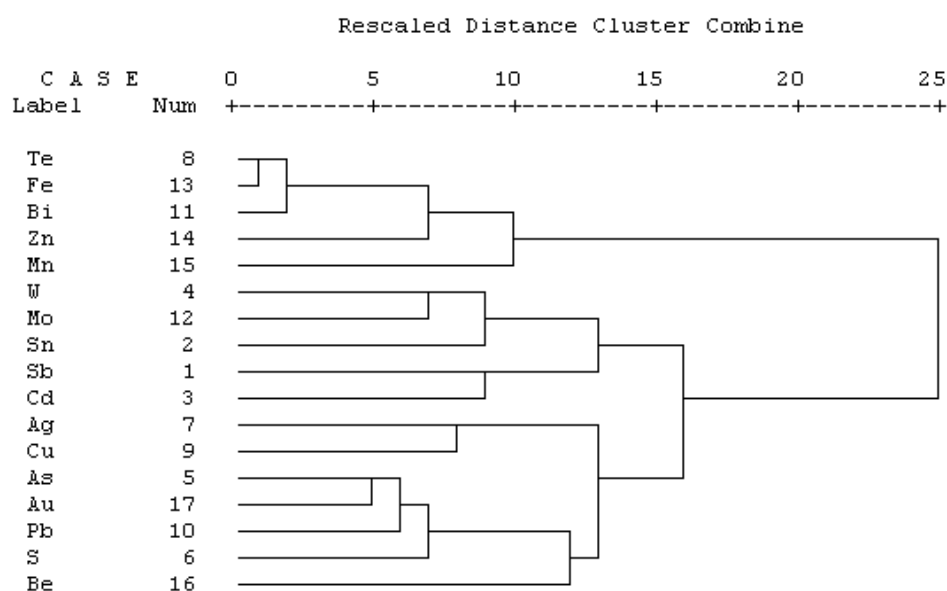
در جدول ۸-۳ ضرایب همبستگی عناصر مختلف آورده شده است. عنصر مس که هدف اصلی فعالیت اکتشافی در این محدوده می باشد به طور کلی ضریب همبستگی بالایی با هیچکدام از عناصر نداشته و بالاترین ضریب همبستگی این عنصر به ترتیب با عنصر گوگرد و طلا به میزان $0/46$ و $0/40$ می باشد. طلا نیز بیشترین ضرایب همبستگی را به ترتیب با Pb , As و S دارد. در نمودار ۸-۷ دندروگرام عناصر بر اساس مقادیر ثبت شده در گمانه ها آورده شده است. نزدیکترین اتصال مس با عنصر نقره می باشد. گروه عناصر S , As , Au , Pb در میان سایر گروه ها قابل توجه است و می تواند یک پارائز هیدروترمالی باشد.

همانگونه که اشاره شد مقادیر ضریب همبستگی این عناصر نیز نسبتاً بالا بوده و نشان از تمرکز همزمان این عناصر دارد.

جدول ۸-۳- ضرایب همبستگی عناصر مختلف محاسبه شده به روش اسپیرمن

	Au	Fe	Ag	As	Be	Bi	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	S	Sb	Sn	Te	W
Au	1.00	0.01	0.38	0.68	0.20	0.10	0.20	0.40	-0.06	0.31	0.57	0.57	0.17	0.09	0.05	0.04
Fe	0.01	1.00	0.16	0.19	-0.28	0.89	0.16	0.29	0.39	0.44	0.40	0.23	-0.13	0.02	0.89	0.41
Ag	0.38	0.16	1.00	0.20	-0.14	0.15	0.18	0.37	0.02	0.24	0.22	0.21	-0.01	0.20	0.24	0.06
As	0.68	0.19	0.20	1.00	0.33	0.24	0.24	0.33	0.07	0.56	0.65	0.69	0.05	0.22	0.29	0.41
Be	0.20	-0.28	-0.14	0.33	1.00	-0.24	-0.04	-0.08	0.09	0.10	0.31	0.18	0.05	0.24	-0.32	0.11
Bi	0.10	0.89	0.15	0.24	-0.24	1.00	0.18	0.33	0.35	0.46	0.43	0.23	-0.14	0.03	0.80	0.38
Cd	0.20	0.16	0.18	0.24	-0.04	0.18	1.00	0.14	0.05	0.22	0.08	0.28	0.30	0.18	0.25	0.23
Cu	0.40	0.29	0.37	0.33	-0.08	0.33	0.14	1.00	-0.12	0.13	0.19	0.46	-0.08	-0.14	0.29	-0.08
Mn	-0.06	0.39	0.02	0.07	0.09	0.35	0.05	-0.12	1.00	0.28	0.30	-0.04	-0.31	0.17	0.30	0.20
Mo	0.31	0.44	0.24	0.56	0.10	0.46	0.22	0.13	0.28	1.00	0.54	0.39	0.13	0.36	0.56	0.51
Pb	0.57	0.40	0.22	0.65	0.31	0.43	0.08	0.19	0.30	0.54	1.00	0.50	-0.01	0.21	0.40	0.42
S	0.57	0.23	0.21	0.69	0.18	0.23	0.28	0.46	-0.04	0.39	0.50	1.00	0.02	0.08	0.27	0.31
Sb	0.17	-0.13	-0.01	0.05	0.05	-0.14	0.30	-0.08	-0.31	0.13	-0.01	0.02	1.00	0.20	-0.09	0.06
Sn	0.09	0.02	0.20	0.22	0.24	0.03	0.18	-0.14	0.17	0.36	0.21	0.08	0.20	1.00	0.19	0.39
Te	0.05	0.89	0.24	0.29	-0.32	0.80	0.25	0.29	0.30	0.56	0.40	0.27	-0.09	0.19	1.00	0.47
W	0.04	0.41	0.06	0.41	0.11	0.38	0.23	-0.08	0.20	0.51	0.42	0.31	0.06	0.39	0.47	1.00
Zn	0.27	0.67	0.29	0.39	-0.01	0.59	0.27	0.45	0.36	0.34	0.43	0.47	-0.11	0.13	0.61	0.46

Dendrogram using Ward Method



نمودار ۸-۷- دندروگرام عناصر بر اساس مقادیر ثبت شده در گمانه‌های محدوده سیاه معدن

۸-۴- جمع بندی

بانگاهی به داده های ثبت شده عناصر معدنی مشاهده می شود برای عنصر مس بالاترین مقدار برابر با 2801ppm بوده و تعداد مقادیر بالای 1000ppm این عنصر ۸ مورد می باشد که با این تفاسیر عملاً امکان ارائه یک ذخیره برای این ماده معدنی ممکن نمی باشد. عنصر طلا نیز در بالاترین مقدار خود برابر با 159ppb می باشد. و بالاترین مقادیر عناصر سرب و روی به ترتیب برابر با 437ppm و 1168ppm می باشند.

جهت بررسی بیشتر نتایج مطالعات مقاطع صیقلی و مقاطع نازک نمونه های گمانه به پیوست گزارش ارائه شده است. بر اساس نتایج مطالعه مقاطع صیقلی حضور عنصر مس در محدوده بیشتر به صورت کانی کالکوپیریت می باشد.

با توجه به مقادیر یاد شده نمی توان هیچگونه تمرکز معناداری در این محدوده از ماده معدنی در نظر گرفت و محدوده فاقد هرگونه کانی سازی بوده و فاقد ارزش اکتشافی می باشد.