

ویژگی‌های ساختی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی و الگوی تشکیل کانسار انگوران در مثلث کانسارهای نوع متصاعدی- رسوبی (Sedex)، سولفید توده‌ای (VMS) و دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)

محمد حسن ابراهیمی، علیجان آفتابی* و رامین محمدی نیایی
گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

کانسار انگوران در ۱۲۵ کیلومتری غرب زنجان و در زون سنندج- سیرجان واقع شده است. این کانسار در سنگ‌های دگرگونی شیست و مرمر با سن پروتروزوئیک واقع شده است. ذخیره کانسار حدود ۴/۷ میلیون تن کانسنگ سولفیدی با عیار ۲۷/۷ درصد روی و ۲/۴ درصد سرب و ۱۱۰ گرم در تن نقره و حدود ۱۴/۶ میلیون تن کانسنگ غیرسولفیدی با عیار ۲۲ درصد روی و ۴/۶ درصد سرب برآورد شده است. کانسار انگوران در اثر کافتی شدن منطقه و فعالیت سیالات گرمایی در کف حوضه و تشکیل کانی‌های اسفالریت و گالن همزمان با شیل و کربنات در زمان پروتروزوئیک ایجاد شده است. بعد از آن کانسار به همراه سنگ همبر در رخساره شیست دگرگون شده است. کانسار سوپرژن انگوران نیز در نتیجه اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی در کواترنری (دوره چهارم) ایجاد شده است. شواهد ساختی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، مانند بافت لایه‌ای سولفیدها با شیست و مرمر، کشیدگی لایه‌های سولفیدی (پیریت و اسفالریت)، بالا بودن عیار روی (۲۸ درصد)، کم بودن عیار مس (۰/۱۴ درصد) و نبود ساخت و بافت‌های رگه‌ای، پر کننده فضای خالی و غیره نشان می‌دهد که این کانسار به کانسارهای متصاعدی- رسوبی (Sedex)، بیشتر از کانسار سولفید توده‌ای (VMS) و دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) شباهت دارد.

واژه‌های کلیدی: انگوران، ژئوشیمی، کانسار، متصاعدی- رسوبی

مقدمه

دندی و نزدیک‌ترین آبادی به آن روستای قلعه جوق است و ارتفاع کانسار از سطح دریا حدود ۳۰۰۰ متر است. بهترین راه دسترسی به معدن جاده تهران- زنجان و از زنجان به دندی و سپس به معدن است که تمامی جاده آسفالت‌ه است. ذخیره کل کانسار ۱۹/۳ میلیون تن مخلوط کانسنگ سولفیدی- غیرسولفیدی روی است که

کانسار روی و سرب انگوران در ۱۲۵ کیلومتری غرب زنجان و در زون سنندج- سیرجان و مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه ۲۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۴۷ ثانیه شمالی واقع شده است (شکل ۱). نزدیک‌ترین شهر به معدن، شهر

کانسارهای سرب و روی مشابه در جهان (جدول ۱)، می‌توان یک الگوی کانی‌زایی را برای کانسار روی و سرب انگوران ارائه داد.

جدول ۱- مقایسه خصوصیات انواع کانسارهای سرب و روی

خصوصیات کانسارها	دره می‌سی‌سی‌پی یا MVT	سولفید توده‌ای یا VMS	متصاعدی- رسوبی یا Sedex
سنگ میزبان	کربنات	آتشفشانی	شیلی- کربناتی
سن کانسار	پالئوزوئیک- کرتاسه	از پرمکامبرین تا زمان حال	پروتروزوئیک بالایی
مورفولوژی ساخت و بافت	استراتایباند پرکننده فضای خالی و رگه ای	استراتایباند لایه بندی	استراتایباند لایه بندی
دگرگونی	مشاهده نمی‌شود	ضعیف مشاهده	ضعیف مشاهده
عیار روی (درصد)	۵/۵	۰/۳۵-۱	۷/۵
عیار سرب (درصد)	۵/۵	۱/۵	۲/۵
عیار مس (درصد)	۰/۵-۵	۲-۱۰٪	>۰/۱
مثال	پین پوینت	کوروکو	مونت ایسا

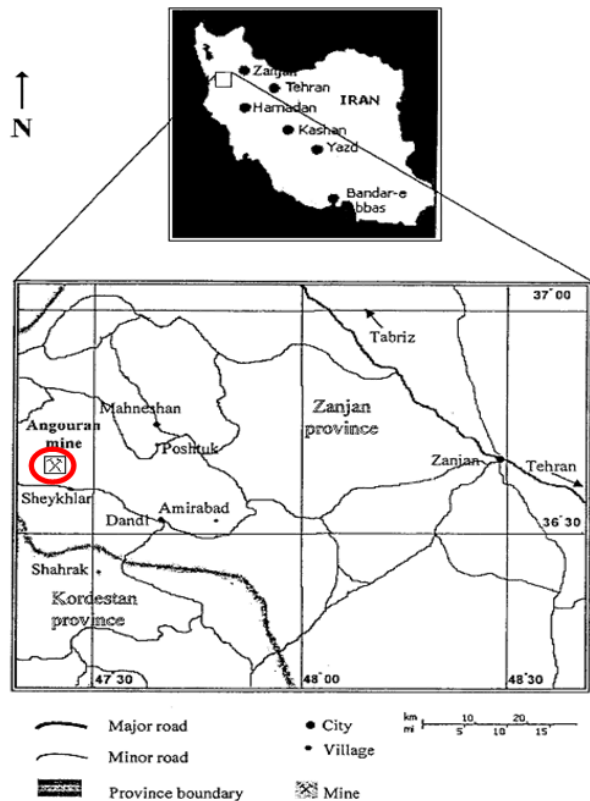
زمین‌شناسی و چینه‌شناسی معدن انگوران

کانسار انگوران یکی از مهمترین نهشته‌های روی و سرب سولفیدی- کربناتی است که بیش از ۸۰ درصد ذخیره آن را کانسنگ کربناتی و ۲۰ درصد مابقی را کانسنگ سولفیدی تشکیل می‌دهد (Borg and Daliran, 2005). عیار بخش کربناتی آن به‌طور متوسط ۲۲ درصد روی و ۵ درصد سرب و بخش سولفیدی دارای ۲۷ درصد روی و ۲/۴ درصد سرب است.

این کانسار در منطقه تکاب نهشته شده است که خود بخشی از زون دگرگونی سندانج - سیرجان است. روند عمومی کانسارسازی در جهت شمال غرب - جنوب شرق است که از ساختارهای کلی تکنونیک منطقه؛ یعنی گسل‌های معکوس و تراستی به خصوص گسل فینرچه - چهارطاق پیروی می‌کند. جایگاه چینه‌شناسی این کانسار مجموعه‌های دگرگونی

۱۴/۶ میلیون تن این ذخیره کانسنگ غیرسولفیدی با عیار ۲۲ درصد روی و ۴/۶ درصد سرب است و در مجموع حدود ۴/۷ میلیون تن کانسنگ سولفیدی با عیار ۲۷/۷ درصد روی و ۲/۴ درصد سرب و ۱۱۰ گرم درتن نقره را شامل می‌شود (Boni, 2005).

فعالیت معدنی در معدن روی و سرب انگوران از سال ۱۳۲۴ با روش استخراج زیرزمینی آغاز و تا پایان سال ۱۳۵۲ همچنان با همین روش ادامه یافت و از سال ۱۳۵۲ تا به امروز این معدن به‌صورت روباز بهره‌برداری شده است.

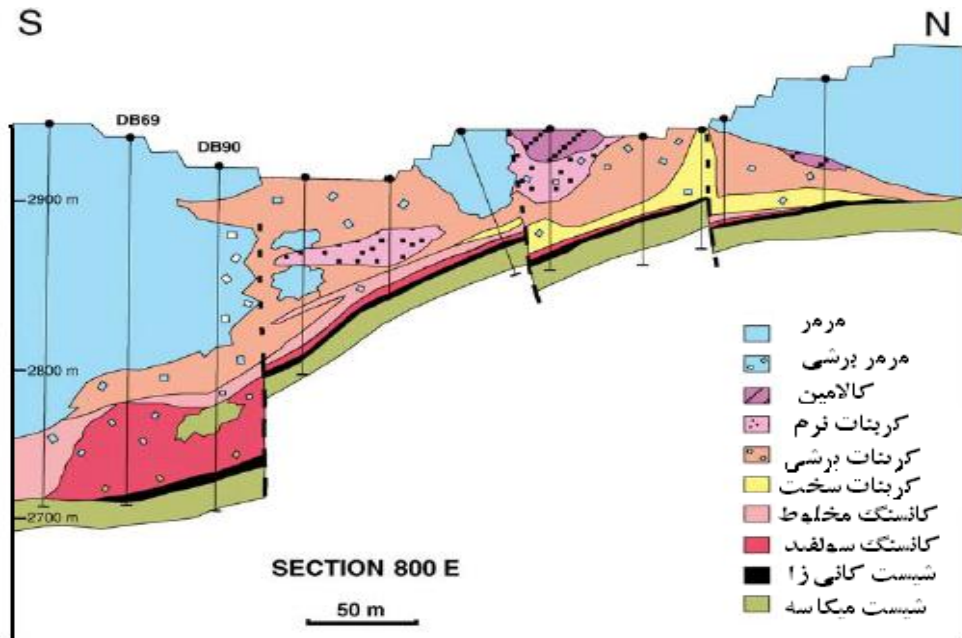


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی معدن انگوران

پس از مطالعات دقیق زمین‌شناسی ناحیه‌ای، چینه‌شناسی، زمین‌ساخت، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، پترولولژی، ژئوشیمیایی و غیره سنگ همبر و ماده معدنی کانسار روی و سرب انگوران و مقایسه آن با انواع

است. شکل ۲ مهمترین واحدهای سنگی معدن انگوران را نشان می‌دهد و حالت لایه‌بندی ماده معدنی و سنگ میزبان نیز مشاهده می‌شود.

پروتروزوئیک شمال شرقی تکاب است. این کانسار در آخرین افق‌های دگرگونی منطقه و ما بین سنگ‌های فرو دیواره شیستی و سنگ‌های فرا دیواره مرمر تشکیل شده



شکل ۲- مقطع E ۸۰۰، توده معدنی انگوران و سنگ همبر با حالت استراتی فرم (Gilg et al., 2003)

کانی‌زایی و رسوبگذاری یا به عبارتی، کانی‌زایی همزاد (سین‌ژنتیک) است که بر اثر ورود محلول‌های گرمابی به درون یک حوضه رسوبی‌ایی به‌وجود آمده‌اند (شکل‌های ۳ و ۴).

ب- گالن با زوایای ۱۲۰ درجه: کانی گالن تأثیرات دگرگونی را به شکل تبلور مجدد با زاویه ۱۲۰ درجه نشان می‌دهد که بیانگر دگرگونی همزمان ماده معدنی و سنگ همبر است.

تاکنون ساخت و بافت‌های رگه‌ای، پرکننده فضای خالی، برش انحلالی و همچنین کانی‌های مانند دولومیت زین‌اسبی، دولومیت اسپاری، فلئوریت و باریت که از مشخصات بارز کانسارهای دره می‌سی‌سی‌پی است، با ماده معدنی (گالن و اسفالریت) در کانسار روی و سرب انگوران دیده نشده است.

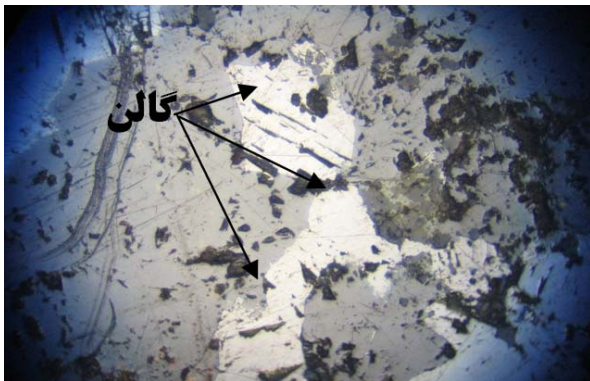
ویژگی‌های ساختی و بافتی کانسار انگوران

بررسی ویژگی‌های ساختی و بافتی موجود در سنگ‌های همبر و کانسنگ می‌تواند در شناخت محیط تشکیل و شرایط حاکم به هنگام تشکیل یک کانسار مفید باشند. بررسی دقیق ویژگی‌های ساختی و بافتی و کانی‌شناسی، در تعیین توالی کانی‌شناسی، اکتشاف، نوع کانسارسازی و الگوی کانی‌زایی، فرایندهای اعمال شده بر روی کانسار در طول زمان (تکوین کانسار) و غیره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

الف- ساخت لایه‌ای یا نواری: مهمترین ساخت در قسمت سولفیدی در کانسار انگوران، ساخت لایه‌ای یا نواری است. این ساخت شامل لایه‌های متناوب سولفید (اسفالریت، گالن، پیریت و غیره) و سنگ همبر (شیست) است. این ساخت، بیانگر فعالیت متناوب



شکل ۳- شیشیت‌های کانسار انگوران، چین خوردگی شیشیت‌ها (سرسیت- کلریتوشیشیت) به همراه ماده معدنی- نوارهای سولفیدی تیره که همراه سنگ همبر چین خورده اند (علوی نایینی و همکاران، ۱۳۶۱).



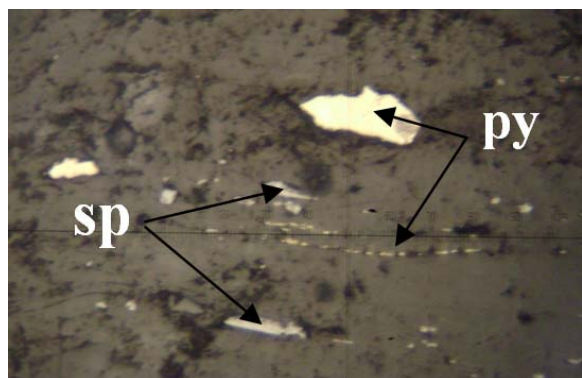
شکل ۶- تبلور مجدد گالن با زاویه ۱۲۰ درجه که مشخصه دگرگونی ماده معدنی با سنگ همبر است.



شکل ۴- ساخت لایه‌ای در مقیاس متوسط لایه، لایه‌های متناوب سولفید و سنگ همبر شیشیت (سرسیت- کلریتوشیشیت)، سولفیدهای اولیه پس از تشکیل همزمان با سنگ همبر بر اثر هوازگی اکسید شده‌اند.

کاربرد عیار عناصر (ژئوشیمیایی) در تعیین منشأ کانسار

ویژگی‌های ژئوشیمیایی و رفتار عناصر در ماده معدنی، انعکاسی از شرایط تشکیل کانسار است. بنابراین، بررسی ژئوشیمیایی عناصر در ماده معدنی و مقایسه آن با کانسارهای جهانی می‌تواند در تعیین الگوی کانی‌زایی بسیار مهم باشد. همچنین ویژگی‌های ژئوشیمیایی و رفتار عناصر می‌تواند در پی‌جویی و اکتشاف کانسارهای مشابه با اهمیت باشد (جدول‌های ۱ و ۲).



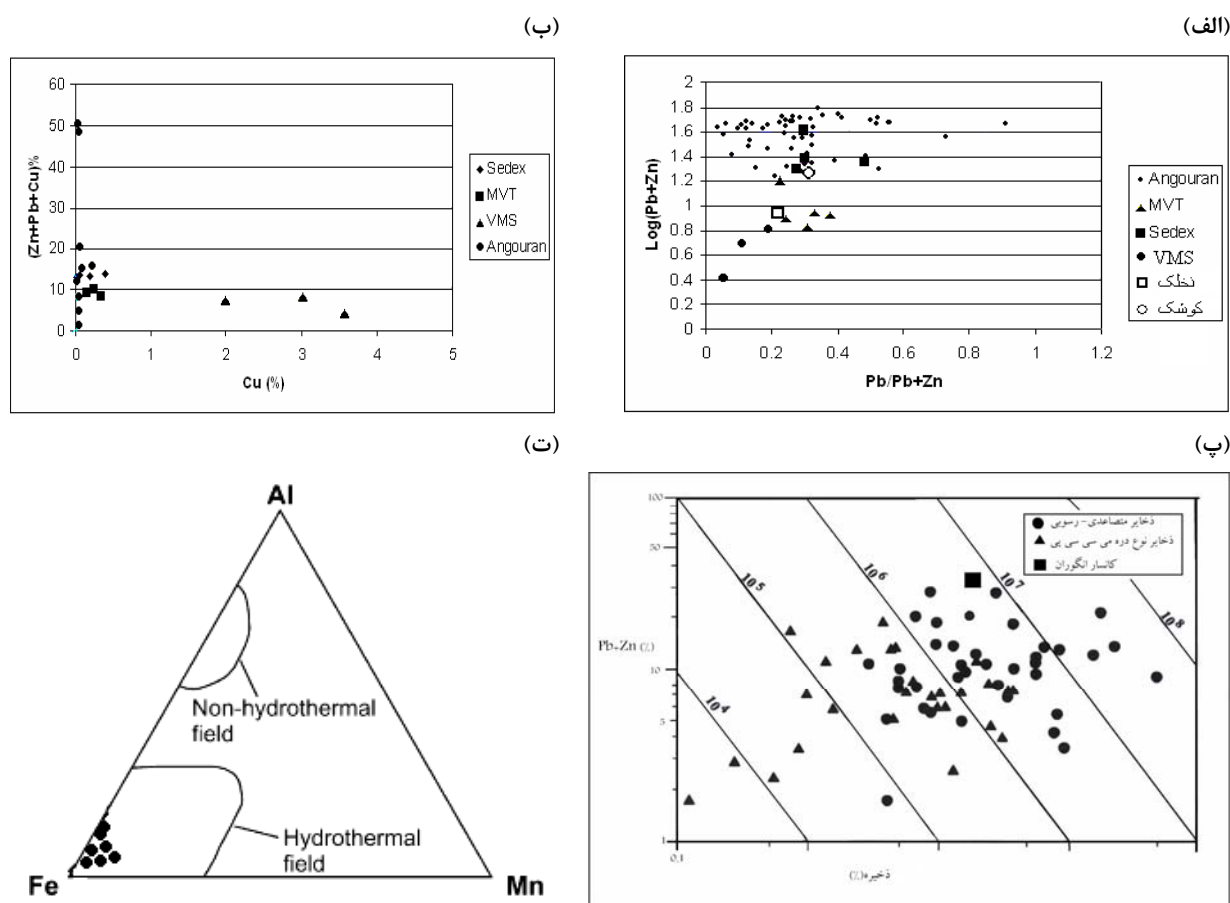
شکل ۵- لایه‌بندی پیریت و اسفالریت در سرسیت- کلریتوشیشیت و کشیدگی پیریت (py) و اسفالریت (sp) بیانگر دگرگونی ماده معدنی با سنگ همبر است.

بر اساس شکل ۷ استفاده از عیار عناصر روی، سرب، مس، آهن و غیره در بخش سولفیدی کانسار روی و سرب انگوران و مطالعات ژئوشیمیایی و استفاده از نمودارهای بالا می‌توان نتیجه گرفت که بر اساس عیار این عناصر، کانسار روی و سرب انگوران با کانسارهای سرب و روی نوع متصاعدی-رسوبی یا (Sedex)، بیشتر از کانسارهای سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) و سولفیدی-توده‌ای (Sedex)، همخوانی نشان می‌دهد.

جدول ۱- عیار عناصر از نمونه‌های معدن انگوران*

Samples No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(in %)			0.36	0.06	0.09	0.06	0.16	0.45	1.52	1.11
Al			0.36	0.06	0.09	0.06	0.16	0.45	1.52	1.11
Ti			0.02	<0.005	<0.005	<0.005	0.007	0.02	0.06	0.065
Fe			5.75	1.83	1.95	1.96	2.57	3.59	0.87	0.16
Mg			0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.54	0.37	0.21
Ca			0.08	0.09	0.4	0.1	0.32	2.42	31.9	33.3
Na			0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.29
K			0.12	0.02	0.03	0.02	0.05	0.17	0.45	0.44
S			0.04	0.06	0.01	0.06	0.01	>10	1.08	0.04
(in ppm)										
Au	<0.001	0.004								
Pt	0.017	<0.005								
Pd	<0.001	0.001								
Ag			60.8	2.47	1.98	3.17	3.48	>100	1.16	4.19
As			2650	1910	1345	1505	1650	1780	55	54
Ba			<10	<10	<10	<10	10	<10	20	20
Be			1.73	1.12	1.05	1.1	1.11	0.11	0.45	0.56
Bi			0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.07	0.05	0.04
Cd			>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	>1000	75.2	48.4
Ce			4.41	2.53	2.19	2	3.27	1.27	12.95	7.58
Co			436	418	490	505	416	487	11.6	5.4
Cr			28	4	4	5	12	66	22	37
Cs			1.35	0.18	0.28	0.2	0.38	1.21	1.74	3.24
Cu			198.5	113	107	105.5	130.5	396	14	10
Ga			66.9	9.93	12.8	10.85	16.2	56	4.31	3.76
Ge			0.12	0.08	0.09	0.08	0.09	0.38	<0.05	0.22
Hf			0.4	0.9	1	0.8	2.7	0.5	0.5	4.2
In			8.46	0.138	0.16	0.28	1.17	5.76	0.07	0.16
La			3	1.6	1.4	1.3	2.2	0.8	6.7	6.3
Li			0.6	0.3	0.4	0.3	0.5	3.1	21	4.9
Mn			664	619	699	724	642	148	199	343
Mo			10.9	10.65	20.7	8.9	76	72.5	211	2890
Nb			0.6	0.1	0.2	0.1	0.2	0.6	1.8	2.4
Ni			147	71.2	74.6	90.3	82.8	100.5	<0.2	<0.2
P			90	80	70	60	90	90	50	100
Pb			4880	3960	1930	2280	2510	>10000	99.5	368
Rb			3	0.8	0.9	0.6	1.7	5.1	19.4	11.3
Re			<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.007	0.012	0.023	0.413
Sb			1850	738	779	702	961	2490	23.9	34
Sc			2.1	1.1	1.1	1	1.6	0.9	4	4.1
Se			26	29	30	28	29	27	3	3
Sn			19	0.4	0.4	0.7	2.5	16	0.6	0.7
Sr			2.6	1.4	2.9	1.1	1.3	13.7	255	34.9
Ta			<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	0.15
Te			<0.05	0.06	0.05	<0.05	0.06	<0.05	<0.05	<0.05
Th			0.5	0.2	0.3	0.2	0.7	0.5	2.2	2.7
Tl			0.35	0.09	0.11	0.09	0.11	4.45	0.09	0.15
U			2.1	0.7	0.7	0.6	1.2	5.5	1.2	1.9
V			24	7	9	7	9	22	18	20
W			7	6	3.9	5.2	7.1	1.4	0.8	6.6
Y			3.5	2.2	2	2.2	2.8	0.5	5.5	4.9
Zn			>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	>10000	7720	4730
Zr			14	35	43.4	25.6	108.5	18.3	23.4	154.5

* آنالیزها در شرکت ALS Chemex (کانادا) انجام شده‌اند.



شکل ۷- الف) نسبت Pb/Pb+Zn در مقابل Log(Pb+Zn) در ذخایر نوع دره می سی سی پی، نوع متصاعدی- رسوبی، نوع متصاعدی- آتشفشانی و داده‌های بخش سولفیدی در کانسار انگوران شامل ۵۲ نمونه و همخوانی کانسار انگوران با کانسارهای سرب و روی متصاعدی-رسوبی (Goodfellow *et al.*, 1993)، ب) نسبت Cu در مقابل Pb+Zn+Cu در ذخایر نوع دره می سی سی پی، نوع متصاعدی- رسوبی، نوع متصاعدی- آتشفشانی و داده‌های سولفیدی کانسار انگوران که متضاد با کانسار سولفیدی-توده‌ای است (Goodfellow *et al.*, 1993)، پ) ذخیره و عیار ذخایر سرب و روی نوع دره می سی سی پی، ذخایر متصاعدی- رسوبی و میانگین ۳۰ نمونه از بخش سولفیدی کانسار انگوران و همخوانی بیشتر کانسار روی و سرب انگوران با کانسارهای سرب و روی متصاعدی-رسوبی (اقتباس از Borg and Daliran, 2005; Sagster, 1990)، ت) نمودار سه‌تایی Al-Fe-Mn، شامل جدایش محدوده کانسارهای گرمابی و غیرگرمابی و قرار گرفتن نمونه‌های بخش سولفیدی کانسار روی و سرب انگوران در محدوده کانسارهای گرمابی همانند کانسارهای متصاعدی-رسوبی (اقتباس از Bostrom, 1973).

مقدار عنصر مس در بخش سولفیدی کانسار انگوران و مقایسه آن با انواع کانسارهای سرب و روی در جهان

است. به‌طور کلی، عیار مس در کانسار انگوران پایین است. با مقایسه مقادیر مس در کانسار انگوران با کانسارهای دیگر می‌توان دریافت که عیار مس در این کانسار پایین و با عیار مس در کانسار مونت‌ایسا (نوع متصاعدی-رسوبی) قابل مقایسه است (جدول ۳).

میانگین مس در کانسار انگوران حدود ۰/۰۱۴ درصد است که مقدار آن در بخش سولفیدی ۰/۰۱۹ درصد و در بخش کربناتی ۰/۰۱۳ درصد

جدول ۲- عیار عناصر از نمونه‌های معدن انگوران**

Samples No.	Pb %	Zn %	Cu %	Cd %	Fe %	Ag %
1	0.024	0.52	<0.001	0.001	1.11	<5
2	0.014	0.093	<0.001	0.001	0.21	<5
3	0.007	0.095	<0.001	0.001	0.29	<5
4	0.007	0.057	<0.001	0.001	0.25	<5
5	0.006	0.066	<0.001	0.001	0.57	<5
6	0.008	0.046	<0.001	0.001	0.522	<5
7	0.007	0.084	<0.001	0.001	1.15	<5
8	0.007	0.065	<0.001	0.001	3.06	<5
9	0.009	0.087	<0.001	0.001	0.27	<5
10	0.017	0.17	<0.001	0.003	0.11	<5
11	0.06	1.1	0.004	0.013	0.6	<5
12	2.39	48.6	0.03	0.6	0.57	205
13	0.17	53.2	0.036	0.6	3.53	270
14	0.02	0.3	0.003	0.005	0.90	<5
15	0.017	0.14	0.002	0.002	2.96	5
16	0.025	0.32	0.015	0.003	5.33	<5
17	0.019	0.36	0.003	0.004	2.47	<5
18	0.087	18.8	0.009	0.131	2.1	58
19	0.1	0.76	0.003	0.008	3.2	<5
20	0.64	4.34	0.004	0.04	9.6	<5
21	4.95	40	0.013	0.33	6.3	12
22	0.38	42	0.021	0.156	8.9	23
23	0.25	49	0.016	0.267	2.7	<5
24	0.42	8.2	0.011	0.06	3.9	8
25	0.23	51.6	0.014	0.08	2.6	12
26	0.22	44.7	0.015	0.07	6.3	23
27	0.43	51.9	0.015	0.234	2	6
28	0.59	50	0.017	0.26	2.8	<5
29	0.35	48	0.019	0.34	4.8	30
30	0.24	52.3	0.013	0.262	1.96	33

** آنالیزها در شرکت معدنکاران انگوران انجام شده‌اند.

جدول ۴- مطالعات و الگوی پیشنهادی قبلی در مورد کانسار روی و سرب انگوران.

مطالعات قبلی	نظریه (الگوی احتمالی)	نکات قوت	شواهد ذکر نشده
یعقوب‌پور (۱۳۸۱)	نوع می‌سی‌سی‌بی	---	هیچ ساخت و بافت پرکننده فضای خالی، رگ‌های و غیره در ارتباط با ماده معدنی و سنگ همبر مشاهده نمی‌شود.
کریم‌پور (۱۳۸۱)	مسو سولفید	هم‌زاد با رسوب‌گذاری	پایین بودن عیار مس و نبود مناطق دگرسانی خاص کانسارهای سولفیدی-توده ای
غضنفری (۱۳۷۱)	مسو سولفید	هم‌زاد با رسوب‌گذاری	پایین بودن عیار مس و نبود مناطق دگرسانی
Maanijou (2002)	مسو سولفید پروتروزوئیک	هم‌زاد با رسوب‌گذاری	پایین بودن عیار مس و نبود مناطق دگرسانی خاص کانسارهای سولفیدی-توده ای
Gilg et al. (2003)	نوع می‌سی‌سی‌بی	----	هیچ ساخت و بافت پرکننده فضای خالی، رگ‌های و غیره در ارتباط با ماده معدنی و سنگ همبر مشاهده نمی‌شود.
Hitzman et al. (2003)	در ارتباط با سیستم‌های گرمایی و ارتباط با توده‌های آندزیتی	مرتبط بودن با سیستم‌های گرمایی	سن کانسار پروتروزوئیک بالایی و ارتباط با توده‌های گرمایی است.
Borg and Daliran (2004 & 2005)	در ارتباط با سیستم‌های گرمایی و ارتباط با توده‌های آندزیتی	مرتبط بودن با سیستم‌های گرمایی	سن کانسار پروتروزوئیک بالایی و ارتباط با توده‌های گرمایی است.
Annels et al. (2003)	متصاعدی- رسوبی	هم‌زاد با رسوب‌گذاری و حالت لایه بندی ماده معدنی و سنگ همبر	---
Boni (2003)	نوع می‌سی‌سی‌بی	---	هیچ ساخت و بافت پرکننده فضای خالی، رگ‌های و غیره در ارتباط با ماده معدنی و سنگ همبر مشاهده نمی‌شود، از طرفی سنگ همبر دگرگون است.
Boni (2005 & 2007)	الگوی نامشخص (?) (سوپرن)	(سوپرن)	خالی، رگ‌های و غیره در ارتباط با ماده معدنی و سنگ همبر مشاهده نمی‌شود، از طرفی سنگ همبر دگرگون است.

جدول ۳- فراوانی مس در بعضی از کانسارهای سرب و روی نشان می‌دهد.

کانسار	Cu%	کانسار	Cu%
مونت ایسا	۰/۰۶	کروکو	۱/۳
بروکن هیل	۰/۲	قبرس	۰/۵-۵
کید کریک	۲/۴۶	بشی	۱/۵-۴/۸
مسو سولفیدهای آرکن	۱/۵		
انگوران	۰/۰۱۴		

مطالعات و پیشنهادهای قبلی در مورد الگوی کانی‌زایی کانسار انگوران در جدول ۴ الگوهای پیشنهادی کانسارسازی روی و سرب انگوران آورده شده است:

الگوی کانی‌زایی در کانسار انگوران

۶- ضمن صعود محلول‌های گرمایی به درون حوضه رسوبی ابتدا محلول گرمایی شماره ۱ (غنی از آهن) وارد حوضه رسوبی می‌شوند. حوضه رسوبی (شیلی- کربناتی)، به دلیل شرایط احیایی و حضور باکتری‌های احیاء کننده که با ورود محلول‌های گرمایی شماره ۱ (حاوی کلریدهای آهن) و تماس این محلول‌ها با H_2S و HS^- ، سولفید آهن به صورت مکیناویت تشکیل می‌شود که بعداً به پیریت تبدیل می‌شود.

۷- پس از آن محلول‌های شماره ۲ (حاوی کلریدهای سرب و روی) وارد حوضه رسوبی شده، بر اثر تماس با H_2S و HS^- ، سولفیدهای سرب و روی (گالن و اسفالریت)، تشکیل می‌شود.

۸- تشکیل کانی‌های پیریت، گالن و اسفالریت در حوضه رسوبی همزمان با تشکیل سنگ همبر بوده که بیانگر همزاد بودن کانسار انگوران است.

۹- تشکیل کانی‌های پیریت، گالن و اسفالریت به صورت لایه‌بندی با سنگ میزبان است، که تکرار لایه بندی با رسوبات در شکل‌های ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است.

۱۰- پس از تشکیل ماده معدنی به صورت سین ژنتیک، ماده معدنی به همراه سنگ همبر چین خورده، دگرگون می‌شود. این دگرگونی در زمان پس از پرکامبرن پسین- کامبرین زیرین صورت گرفته است (شکل ۶).

۱۱- پس از تشکیل ماده معدنی و با گذشت زمان، بر اثر چین خوردگی و دگرگونی و بالا آمدگی منطقه و نفوذ آبهای سطحی، باعث هوازگی ماده معدنی و اکسیداسیون پیریت موجود در ماده معدنی شده که این امر باعث تشکیل محلول‌های اسیدی می‌شود که ضمن انحلال روی، موجب

۱- ریفتی شدن منطقه مورد مطالعه در زمان اینفراکامبرین باعث نفوذ آب دریا از طریق شکستگی‌های عمیق و گسل‌های کششی به کف حوضه (پوسته قاره‌ای پرکامبرین) می‌شود. آب دریا ضمن نفوذ به عمق، بر اثر گرادیان زمین گرمایی که در مناطق ریفتی نسبتاً بالا است، گرم شده، مستعد جهت شستشوی عناصر کانی‌زا است.

۲- واحد پوسته‌ای در زمان اینفراکامبرین توالی‌های دگرگونی بوده که مقادیر بیشتری روی را دارا است و واحدهای رسوبی در آن زمان شیل (شیست) بوده‌اند.

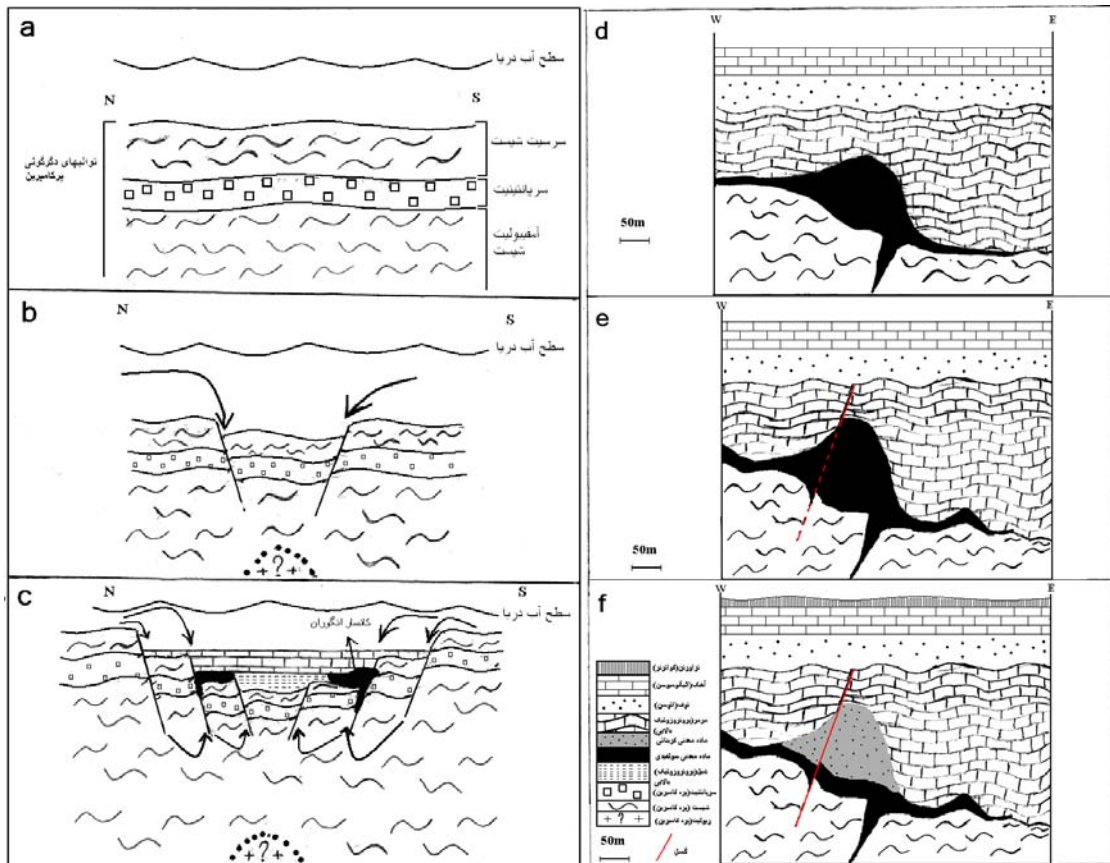
۳- بر حسب عمق نفوذ آب دریا، آب دریا ابتدا عناصر آهن، منگنز، سرب و روی را به صورت کمپلکس‌های کلریدی و عنصر سیلیس را به صورت (H_4SiO_4) از سنگ‌های پوسته‌ای آزاد می‌کند.

۴- با بالا رفتن غلظت عناصر و دمای محلول‌های فوق، فشار محلول‌ها بالا رفته و بر اثر جریان‌های همرفتی و در امتداد گسل‌های کششی، ابتدا محلول گرمایی شماره ۱ (حاوی آهن) و سپس محلول گرمایی شماره ۲ (حاوی سرب و روی) به سمت بالا حرکت می‌کنند.

۵- ضمن حرکت محلول‌ها به سمت بالا، این محلول‌ها مجدداً بر روی سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین تاثیر گذاشته که تاثیر محلول گرمایی شماره ۱ به دلیل دمای پایین تر کمتر است. اما محلول‌های گرمایی شماره ۲ (حاوی سرب و روی) به دلیل دمای بالاتر بیشتر بوده، عنصر روی را به دلیل انحلال بالای آن به شدت از شیست پرکامبرین می‌شویند. این محلول گرمایی از روی به شدت غنی می‌شود.

۱۲- به‌طور کلی، انحلال روی و تشکیل اسمیت سونیت در طول این فرایند باعث تشکیل کانسار سوپرژن انگوران (شکل ۷) در زمان کوتاه‌تر شده است.

حرکت آن به سمت پایین می‌شوند. با برخورد این محلول‌های اسیدی به سنگ‌های کربناتی و خنثی شدن این محلول‌ها، روی به‌صورت کربنات روی (اسمیت سونیت) تشکیل می‌شود.



شکل ۸- الگوی احتمالی تشکیل کانسار روی و سرب انگوران به‌ترتیب مراحل مختلف با مقیاس تقریبی. (a) توالی‌های دگرگونی، (b) ریفتی شدن منطقه و نفوذ آب دریا به عمق، (c) شستن عناصر و حرکت محلول‌ها به سمت بالا و تشکیل همزمان ماده معدنی با سنگ همبر، (d) چین‌خوردگی منطقه، (e) گسل خوردگی منطقه و نفوذ آب‌های سطحی، (f) تشکیل کانسار روی غیر سولفیدی (سوپرژن).

عناصر مذکور به درون حوضه رسوبی احیایی به‌وجود آمده است. سنگ میزبان در کانسار انگوران، مرمر و شیست‌های سازند کهر، با سن پروتوزوئیک هستند که لایه‌بندی بین ماده معدنی و سنگ همبر به خوبی مشخص است که بیانگر تشکیل همزمان ماده معدنی و سنگ همبر است. پس از تشکیل ماده معدنی به‌صورت سین ژنتیک، ماده معدنی به‌همراه سنگ همبر چین

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات چینه‌شناسی، بافت و ساخت، کانی‌شناسی، پترولوژی، ژئوشیمیایی و غیره کانسار انگوران یک کانسار متصاعدی- رسوبی (Sedex) است. - کانسار انگوران در یک حوضه ریفتی بر اثر نفوذ آب دریا به کف حوضه و شستن عناصر سرب، روی، آهن و غیره، انتقال عناصر و فوران محلول‌های گرمابی حاوی

این کانسار به کانسارهای متصاعدی- رسوبی (Sedex)، بیشتر از کانسار سولفید توده‌ای (VMS) و دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) شباهت دارد. حضور پیریت کافی در ماده معدنی شرایط لازم جهت تشکیل کانسار سوپرژن انگوران را فراهم می‌آورد. کانسار انگوران یک کانسار روی غیرسولفیدی، سوپرژن است.

خورده و دگرگون می‌شود. شواهد ساختی، بافتی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، مثل: بافت لایه‌ای سولفیدها با شیبست و مرمر، کشیدگی لایه‌های سولفیدی (پیریت و اسفالریت)، بالا بودن عیار روی (۲۸ درصد)، کم بودن عیار مس (۰/۱۴ درصد) و نبود ساخت و بافت‌های رگه‌ای، پرکننده فضای خالی و غیره نشان می‌دهد که

منابع

- علوی‌نایینی، م.، پلیسه، ج.، حاجیان، ج.، عمیدی، م.، بلورچی، ح.، طاوسی‌ان، ح.، آقائاتی، ع. (۱۳۶۱) تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه تکاب. گزارش شماره ۵۰، وزارت صنایع و معادن کشور.
- غضنفری، ف. (۱۳۷۱) پتروژن سنگ‌های دگرگونی در شمال شرقی تکاب و با نگرشی ویژه به کانی‌سازی روی و سرب در معدن انگوران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ایران.
- کریم‌پور، م. ح. (۱۳۸۱) زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی. انتشارات نشر مشهد.
- یعقوب‌پور، ع. (۱۳۸۱) زمین‌شناسی اقتصادی. انتشارات دانشگاه تربیت معلم.
- Annels, A. E., O'Donovan, G. and Bowles, M. (2003) New ideas concerning the genesis of the Angouran Zn-Pb deposit, NW Iran. 26th Mineral Deposits Studies Group, Abstracts, University of Leicester (UK).
- Boni, M. (2003) Non-sulfide zinc deposits: a new-(old) type of economic mineralization. SGA News Nr. 15, 1:6-11.
- Boni, M. (2005) Marble-hosted sulphide ores in the Angouran Zn-(Pb-Ag) deposits, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. Mineralium Deposita 1: 1-16.
- Boni, M., Gilg, A., Moore, F., Schneider, J. and Allen, C. R. (2007) Hypogene Zn carbonate ores in the Angouran deposits, NW Iran. Mineralium Deposita 1: 22.
- Borg, G. and Daliran, F. (2004) Hypogene and supergene formation of sulphides and non-sulphides at the Angouran high-grade zinc deposit, NW-Iran. Abstract volume of geoscience Africa 2004, University of the Witwatersrand, Johannesburg.
- Borg, G. and Daliran, F. (2005) Genetic aspects of the Angouran non sulphide zinc ore deposit, NW-Iran as an exploration guide for non sulphide zinc ores, Mining and Sustainable Development. 20th World mining congress, Tehran, Iran.
- Bostrom, K. (1973) Submarine volcanism as a source for iron. Earth Planetary Science Letters 9: 348-354.
- Gilg, H.A., Allen, C., Boni, M. and Moore, F. (2003) The 3-stage evolution of the Angouran Zn "oxide"-sulphide deposit, Iran. In: Eliopoulos *et al.* (Eds.): Mineral exploration and sustainable development. Millpress, Rotterdam 77-80.
- Goodfellow, W.D., Lyden, J. W. and Turner, R.J.W. (1993) Geology and genesis of stratiform sediment-hosted (sedex) zinc-lead-silver sulphide deposits. Geological Association of Canada, Special Paper 40: 201-251.
- Hitzman, M. W., Sagster, D., Allen, C. R., 2003, Classification, genesis, and exploration guides for nonsulphide zinc deposits. Economoc Geology 98: 685-714.
- Maanijou, M. (2002) Proterozoic metallogeny of Iran. Metallogeny of Precambrian Shields. International Symposium on the metallogeny of Precambrian shields, Kiev, Ukraine.

Structural, textural, mineralogical and geochemical features and the pattern of the Angoran ore deposit in the Sedex-VMS-MVT triangle

Mohammad Hassan Ebrahimi, Alijan Aftabi * and Ramin Mohamadi Niaei

Department of Geology, Faculty of Science, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran

Abstract

The Angouran Zn-Pb deposit is located about 120 Km Zanzan Province, within Sanandaj-Sirjan Zone. The deposit occurs in metamorphosed schists and marbles of Proterozoic age. The deposit contains about 4.7 Mt of sulfide ore, grading 27.7% Zn, 2.4% Pb and 110 g/t Ag and 14.6 Mt of oxidized carbonate ores, grading 22% Zn and 4.6% Pb. The Angouran Sedex deposit formed as a result of continental rifting and exhalation of seawater hydrothermal solutions into the seafloor and syngenetic deposition of sphalerite and galen within shales and carbonates. The deposit was then metamorphosed along with schists and marbles. Supergene oxidation of sulfide minerals and redeposition and replacement of zinc and lead formed the non-sulfide carbonate ores in Quaternary period. Based on structural, textural, mineralogical and geochemical evidence such as sulfides-schists foliation in marbles and schists, elongation of pyrite and sphalerite, high grade of Zn (28%), low grade of Cu (0.014%), and the absence of space filling and vein controlled mineralization, the Angouran Zn-Pb deposit resembles the exhalative sedimentary (Sedex) deposit, rather than Mississippi valley type (MVT) or volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit.

Key words: Angoran, Geochemistry, Ore deposit, Sedex

* aftabi@mail.uk.ac.ir