

## کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس - اورانیوم رسوبی آغل مسی، بلوک طبس، ایران مرکزی

رضا ارجمندزاده<sup>۱</sup>، ابراهیم شریفی تشنیزی\*<sup>۲</sup>، علی اکبر احمدی<sup>۳</sup>، امیر مهدوی<sup>۴</sup>، سیما  
توسلی<sup>۵</sup>، رحیم دبیری<sup>۶</sup>

- ۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران  
 ۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شهرکرد، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرکرد، ایران  
 ۳- گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران  
 ۴- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران  
 ۵- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران  
 ۶- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۲۳

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۵/۱۷

### چکیده

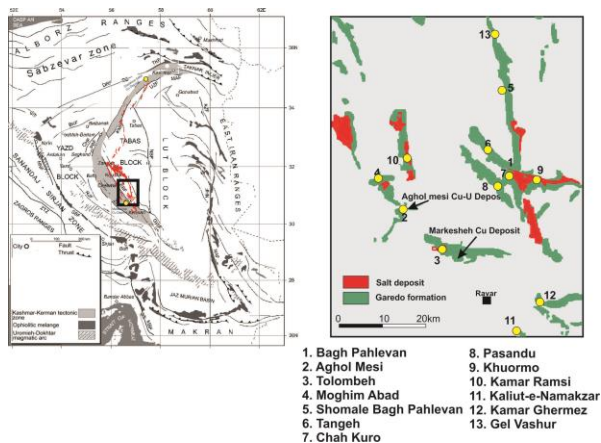
حوضه رسوبی ژوراسیک-کرتاسه در ناحیه آغل مسی را لایه‌های قرمز رنگ سازند گره دو تشکیل می‌دهد که شامل توالی ماسه سنگ دانه ریز، ماسه سنگ دانه متوسط تا درشت و در نهایت کنگلومرا سرخ اکسیدان (هماتیت دار) می‌باشد که در بخش‌هایی احیایی شده‌اند. کانه‌زایی در افق‌های احیایی و در ارتباط با کانال‌های دیرینه رخداده است. در محدوده رخداده مس - اورانیوم آغل مسی، دو افق اصلی احیایی و چهار زیر افق قابل تشخیص است که هر یک، از سه پهنه قرمز اکسیدان، پهنه شسته شده و پهنه احیایی کانه‌زایی تشکیل شده‌اند. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی، ژئومتری عدسی وابسته به لایه، گسترش ناحیه‌ای، ساخت و بافت جانیشینی و دانه پراکنده، کانی‌شناسی ساده، وجود آثار و بقایای گیاهی و تمرکز کانه‌زایی مس در ارتباط با آن، رخداده مس آغل مسی را می‌توان تیپ رسوبی لایه‌ای قرمز با میزبان نهشته‌های رسوبی<sup>۱</sup> در نظر گرفت. برای ارزیابی کانی‌شناسی و نحوه تشکیل رخداده مس - اورانیوم در منطقه، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی نظیر تهیه مقاطع نازک و صیقلی و مطالعات ژئوشیمیایی نظیر XRF، XRD و ICP-MS انجام شده است. ماسه سنگ‌های میزبان اورانیوم طبق نمودار فولک از نوع لیت آرنایت بوده و حداکثر میزان اورانیوم در ماسه - سنگ‌ها ۹۶ ppm می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اورانیوم، پهنه‌های اکسیدان و احیایی، سازند گره دو، ماسه سنگ قرمز، آغل مسی.

## مقدمه

۱۳۶۰). در ایران کانسارهای مس با میزبان رسوبی در توالی‌های مختلف چین خوردگی‌های پرکامبرین تا الیگو - میوسن شناسایی شده و عمدتاً از نوع میزبان طبقات آواری قرمز<sup>۲</sup> بوده و بجز کانسارهای مس خونگه و ده معدن در حوضه زاگرس که دارای سنگ میزبان کربناته سازندهای میلا و باروت است (شمسی، ۱۳۷۸)، بقیه ذخائر شناخته شده از نوع طبقات آواری قرمز پرکامبرین فوقانی (سری هرمز)، کامبرین زیرین (سازند زاگون)، ژوراسیک فوقانی شامل سازند گرده دو در حوضه کرمان - طبس و سازند شوربیجه در حوضه کپه داغ (مهدوی، ۱۳۸۷)، الیگو - میوسن (نهشته‌های قرمز فوقانی در ایران مرکزی و آذربایجان) (پناه زاده، ۱۳۸۹) و کانسار چهرآباد زنجان (بیک دلی و همکاران، ۱۳۹۴) می‌باشد. وجود آثار کانی‌سازی مس رسوبی در ماسه‌سنگ - های تخریبی سرخ رنگ ژوراسیک سازند گرده دو و در گسترده‌ای به طول ۴۰۰ کیلومتر و وجود دو رخداد مس مارکشه و آغل مسی در شمال غربی راور (Mahdavi et al, 2008، جوانشیر و همکاران ۱۳۸۸) و رخداد چشمه سفید در شمال طبس (سامانی، ۱۳۸۹) پتانسیل بالای کانه‌زایی مس - اورانیوم رسوبی در این بلوک را نشان می‌دهد (شکل ۱).

کانسارهای مس با میزبان رسوبی پس از کانسارهای نوع پورفیری از مهم‌ترین ذخائر مس در دنیا بوده و بیش از ۲۳ درصد تولید جهانی مس را تأمین می‌کند (Brown, 2003). این نوع کانسارها در چند ساله اخیر در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته و در این رابطه تعداد زیادی کانسار و نشانه معدنی مس با میزبان رسوبی مانند مس مارکشه و تسوج در ادوار مختلف زمین - شناسی از اواخر پرکامبرین تا اواخر ترسیر شناسایی شده است (مهدوی، ۱۳۸۷؛ تقی زاده و همکاران، ۱۳۸۶). کانسارهای مس با میزبان رسوبی عمدتاً چینه‌سان و چینه‌کران بوده و همراه با نهشته‌های رسوبی آواری یا آواری - کربناته تشکیل شده و منشاء ولکانیکی یا اگزالاتیو ندارند. این کانسارها به چهار گونه رسوبی دگرگون شده، رخساره احیایی، طبقات قرمز و نوع ماسه سنگی احیایی تقسیم شده‌اند (Hitzman et al, 2010). مهم‌ترین ذخائر مس از این نوع عمدتاً از گونه رخساره احیایی (کانسارهای کوپرشیفر در آلمان و لهستان، کمربند مس زامبیا و کانسار وایت پاین در آمریکا) و نوع طبقات قرمز (کانسار کروکو در بولیوی و لیسبون ولی و کاشین ماین در ایالت‌های یوتا و کلرادو آمریکا) می‌باشد (اسپهد و همکاران،



شکل ۱: نقشه توزیع کانسارهای مس رسوبی در شمال راور (با تغییرات از مهدوی، ۱۳۸۷).

پایینی این واحد با واحد  $Jp$  به طور ناپیوسته با یک وقفه رسوبگذاری همراه بوده، این بدان معنی است که شرایط رسوبگذاری از محیطی کولابی در حال تبدیل به شرایطی کاملاً قاره‌ای و گرم می‌باشد (Mahdavi et al, 2008). مرز بالایی این واحد توسط واحد  $K_1^{shl}$  در بر گرفته شده که یک واحد شیل-آهکی به سن کرتاسه پایین است. این مرز به صورت پیوسته بوده که نشان دهنده تغییر شرایط قاره‌ای به کولابی و دریایی می‌باشد. بر روی این واحد، آهک لایه‌لایه و خاکستری رنگ  $K_2$  قرار دارد که ارتفاعات منطقه را در بر گرفته است (مهدوی، ۱۳۸۷). آخرین واحد کرتاسه بالایی در منطقه، تناوب آهک و مارن واحد  $K_2lm$  می‌باشد. بر روی واحدهای کرتاسه رسوبات کواترنری قرار دارد. در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه راور به همراه موقعیت عناصر ساختاری مهم و کانه‌زایی‌های مس و اورانیوم در منطقه را نشان می‌دهد و در شکل ۳ وضعیت ستون چینه-شناسی واحدهای سنگی موجود در منطقه معدنی ارائه شده است. نهشته‌های موجود در منطقه راور بیشتر شامل رسوبات مزوزویک به‌ویژه نهشته‌های ژوراسیک پسین-کرتاسه هستند (Stocklin et al, 1972). این مجموعه که گستردگی زیادی از جنوب راور تا پیرامون طبس دارد شامل ماسه سنگ و سیلتستون با میان لایه‌های میکروکنگلوмера تا کنگلومرا (لایه‌های سرخ گره‌دو) (JK) است که واحدهای نمک ژوراسیک بالا ( $Jm$ ) را پوشانده است و توسط واحدهای تبخیری مارن گچ‌دار و گچ ( $K_1^{shl}$ ) و سنگ آهک خاکستری ستبر لایه کرتاسه ( $K_2$ ) پوشیده می‌شود (مهدوی، ۱۳۸۷). بنابراین می‌توان بیان کرد که سازند گره‌دو بخش-های وسیعی از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. لایه‌های سرخ گره‌دو یکی از واحدهای سنگی

این محققین با مطالعات زمین‌شناسی، سنگ-شناسی رسوبی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت این رخدادهای کانی‌سازی، پهنه مس رسوبی راور - طبس - عشق آباد معرفی کردند. کانسار آغل مسی در بخشی از منطقه‌ای به وسعت ۲۹۳ کیلومتر مربع بین طول‌های ۴۵۳۵۷۲ تا ۴۶۳۹۶۶ و عرض‌های ۳۴۸۱۴۲۵ تا ۳۵۰۹۵۶۸، در ۳۵ کیلومتری غربی شهرستان راور (ایران مرکزی) واقع شده است. هدف از این مقاله بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس-اورانیوم رسوبی کانسار آغل مسی در بلوک طبس می‌باشد.

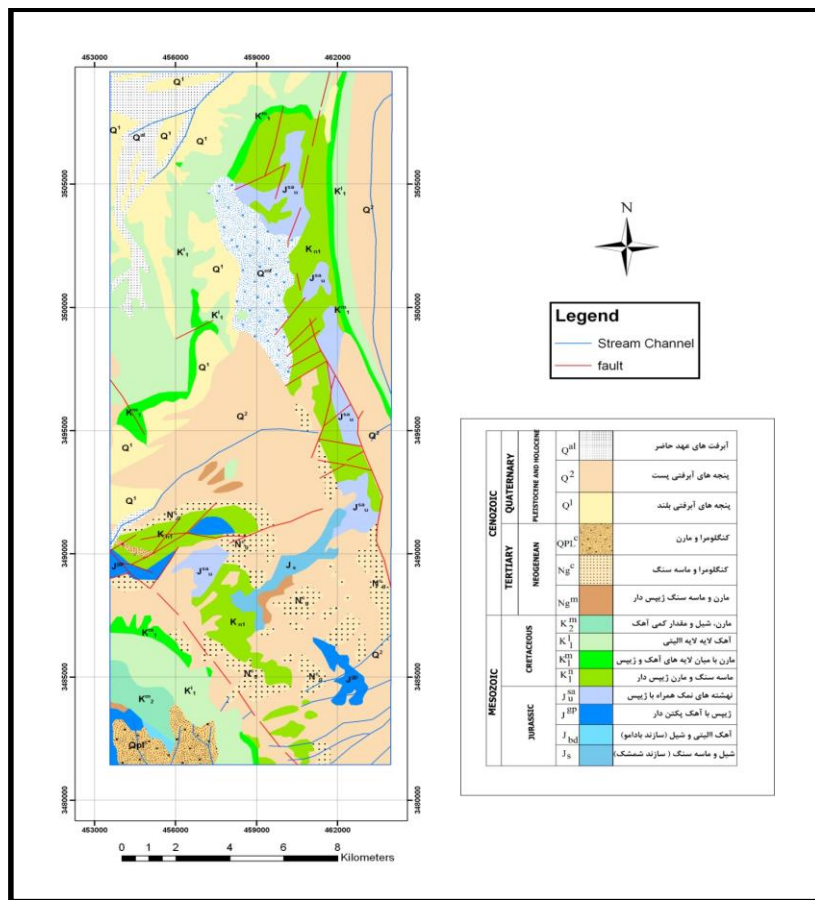
#### منطقه مورد مطالعه

##### زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه در بلوک طبس قرار دارد (شکل ۱) و وجود ساختارهای چین خورده (تاقدیس و ناودیس) پهن، از ویژگی‌های مورفولوژیک بارز در منطقه راور می‌باشد (Stocklin et al, 1972). با توجه به شواهد زمین-شناسی منطقه گسل‌های محدوده آغل مسی با راستای کلی شمال غربی - جنوب شرقی و شمالی - جنوبی عمدتاً دارای عملکرد نرمال و از نوع چپ لغز می‌باشند (Stocklin et al, 1972). مهم‌ترین گسل‌های منطقه شامل؛ گسل کوهبنان، گسل بهاباد و گسل راور می‌باشند. قدیمی‌ترین واحد زمین‌شناسی منطقه مربوط به ژوراسیک میانی می‌باشد که شامل ردیفی از شیل‌های سبز، واحدهای تبخیری و در بعضی از قسمت‌ها آهک خاکستری پکتن‌دار است. مرز ژوراسیک و کرتاسه را ماسه‌سنگ‌های میزبان مس و اورانیوم تشکیل می‌دهند که تحت عنوان ماسه‌سنگ‌های واحد JK معرفی می‌شوند (Mahdavi et al, 2008). مرز

می‌توان دید. در ناحیه شیرگشت لایه‌های سرخ گرده‌دو از کنگلومرا به ضخامت ۵۰۰ متر، ماسه-سنگ‌های آهک ارغوانی رنگ و سیلتستون‌های سرخ تیره است که میان لایه‌هایی از سنگ آهک-های خاکستری آبی قرار دارد ( Mahdavi et al, 2008).

معرف ردیف‌های آواری سرخ رنگ اواخر ژوراسیک ایران مرکزی است که در بیشتر جاها به‌طور ناپیوسته و گاه دگرشیب سنگ‌های ژوراسیک بالایی و یا کهن‌تر (سازندهای قلعه دختر، بغمشاه و سنگ آهک‌های نار) را می‌پوشاند. در کوه‌های شتری این واحد سنگی وجود ندارد ولی در نواحی شیرگشت - کلمرد- راور و دربند این سازند را



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی عمومی منطقه (با تغییرات از مهدوی، ۱۳۸۷).

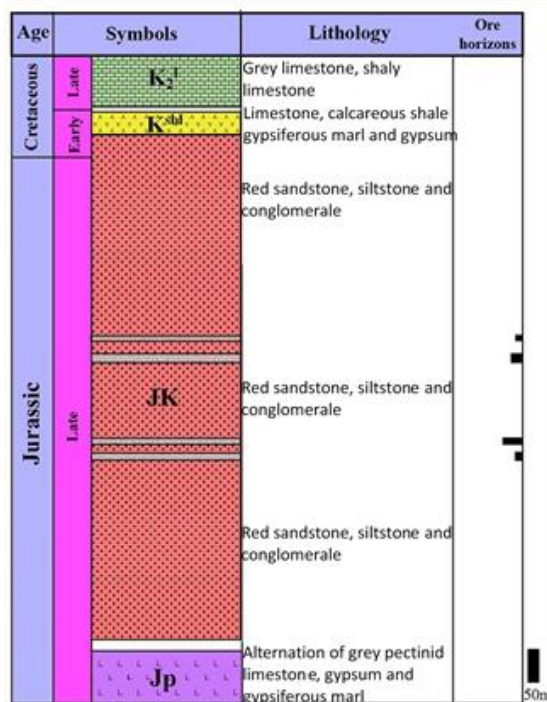
با استفاده از دیفراکتومتر D-5000 مدل SIMENS با ولتاژ ۴۰ کیلوولت و جریان ۴۰ میلی آمپر و سرعت اسکن ۲ درجه در هر دقیقه و بازه اسکن ۲ تا ۷۰ درجه در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام گردید و ۱۷ نمونه به روش‌های طیف سنجی انتشار جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) جهت تعیین عناصر

### مواد و روش‌ها

پس از مطالعات صحرایی و برداشت نمونه‌های مناسب، تعداد ۳۰ عدد مقطع نازک و ۳۰ مقطع صیقلی تهیه و مطالعه، و پس از آن نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ به وسعت حدود ۱۰ کیلومتر مربع تهیه شدند. سپس ۶۲ نمونه با استفاده از دستگاه XRF

دقیق کانی‌ها تعداد ۱۰ نمونه‌سنگی از منطقه برداشت گردید که بعد از برش و آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه، بر روی آنها آنالیز XRD انجام گردید.

فرعی و عناصر جزئی و نادر خاکی در آزمایشگاه شرکت ALS-Chemex کشور کانادا آنالیز شده که در این آنالیز ۲۶ اکسید اصلی و عناصر کمیاب آنالیز گردیده است (جدول ۱). به منظور شناسایی



شکل ۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی در منطقه معدنی منطقه مورد مطالعه (با تغییرات از مهدوی، ۱۳۸۷).

جدول ۱: مقادیر میانگین ۲۶ عنصر اندازه‌گیری شده در رخنمون‌های ماسه‌سنگی منطقه آغل مسی. مقادیر اندازه‌گیری شده عناصر کمیاب بر حسب گرم در تن بوده و برای اکسیدهای اصلی بر حسب درصد می‌باشد.

sample	AM-06	AM-07	AM-09	AM-10	AM-11	AM-14	AM-15	AM-17	AM-18	AM-19	AM-20	AM-21	AM-22	AM-25	AM-26
Wt %															
SiO <sub>2</sub>	64.8	58.6	57.7	57.8	60.3	74.2	61.9	60.0	62.4	61.9	67.6	62.3	61.5	52.8	72.7
TiO <sub>2</sub>	0.5	0.5	0.4	0.7	0.7	0.4	0.3	0.6	0.7	0.6	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.6	8.5	5.9	13.9	15.2	7.9	9.6	12.3	13.8	8.6	8.1	7.0	9.9	12.5	8.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.3	2.3	1.8	4.0	2.9	2.2	2.3	2.3	3.4	1.6	1.8	2.0	2.8	3.1	1.7
MnO	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1
MgO	2.0	1.6	1.2	3.5	2.4	1.2	1.9	2.0	2.0	1.8	1.4	1.3	2.2	2.4	1.5
CaO	8.7	15.6	16.9	8.3	5.7	7.1	13.3	7.0	5.7	5.8	9.4	14.0	10.6	13.8	4.5
Na <sub>2</sub> O	0.8	1.1	1.6	1.5	2.0	0.7	1.6	1.2	0.9	1.3	1.0	1.1	0.8	0.6	0.9
K <sub>2</sub> O	1.7	1.1	0.8	2.4	2.8	1.1	1.4	1.6	2.5	1.1	1.0	0.7	1.4	2.4	1.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LOI	5.8	7.5	12.1	8.9	6.1	6.3	5.6	10.5	10.1	15.3	8.1	10.2	9.9	10.4	9.1
Total	98.6	97.1	98.7	101.1	98.3	101.1	98.1	97.8	101.7	98.1	98.9	99.2	99.7	99.0	100.7
ppm															
Pb	38	52	19	69	41	20	55	46	36	154	46	42	40	62	41

Rb	98	68	44	141	167	62	73	90	144	52	55	40	80	127	55
Sr	161	206	155	230	250	121	202	171	484	145	168	157	144	295	129
V	113	84	54	155	158	82	68	181	231	924	83	60	93	175	104
Zr	531	367	232	361	361	289	150	499	343	257	264	234	361	332	276
Cl	533	1271	6835	8562	23227	170	510	10591	1828	16284	962	1504	205	5995	821
S	486	202	156	2161	804	395	50	2009	8934	665	200	1328	31	1957	121
Co	26	10	13	31	37	20	19	19	27	22	15	13	20	40	21
Cr	85	71	41	118	127	83	41	129	123	173	54	41	73	167	83
Cu	161	4955	61	256	1580	73	50	48142	10878	82723	1260	240	103	58043	18466
Zn	77	67	34	160	131	71	93	100	124	92	58	56	94	121	65
Th	16	9		20	9	5	10	16	14	17		7	9	6	3
Nb	2	0	4	15	16	0	0	5	15	6	6		7	13	2
U	14	9	7	23	13	6	10	45	11	39	7	14	10	8	21
Ni	73	40	37	84	97	23	35	43	78	48	21	23	81	115	47

ادامه جدول ۱:

sample	AM-27	AM-30	AM-32	AM-33	AM-34	AM-36	AM-38	AM-39	AM-40	AM-41	AM-42	AM-43	AM-44	AM-46	AM-47	AM-49
Wt %																
SiO2	58.4	66.4	66.5	58.6	57.3	66.9	62.7	67.9	51.2	60.2	73.2	70.2	68.9	68.5	56.7	68.4
TiO2	0.6	0.4	0.5	0.3	0.4	0.3	0.6	0.5	0.5	0.4	0.2	0.6	0.4	0.6	0.8	0.3
Al2O3	8.5	8.8	8.2	7.3	7.6	7.9	11.7	8.1	7.8	8.4	5.1	12.1	6.9	11.7	17.3	6.4
Fe2O3	2.9	3.0	1.7	1.7	1.5	1.8	2.9	2.6	2.3	2.5	1.3	2.8	1.8	2.6	4.4	1.4
MnO	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1
MgO	1.7	1.5	1.4	1.3	1.8	1.6	2.1	1.5	1.3	1.7	1.3	1.6	0.8	1.4	2.7	0.9
CaO	13.9	10.8	9.8	14.7	8.4	10.4	1.8	10.6	14.9	14.1	10.4	5.5	11.4	6.6	4.9	12.2
Na2O	1.0	0.6	0.8	1.1	1.1	1.0	0.9	0.7	0.4	1.3	0.7	1.2	0.6	0.9	1.0	0.7
K2O	1.2	1.4	1.2	1.5	1.8	1.1	2.2	1.1	1.0	0.7	0.7	1.8	0.9	1.6	3.0	0.8
P2O5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LOI	9.6	4.9	9.2	12.7	17.9	7.9	16.3	5.1	17.6	9.5	6.2	3.7	6.3	5.4	8.0	7.2
Total	98.0	98.1	99.4	99.5	97.8	99.0	101.4	98.2	97.2	99.0	99.3	99.7	98.5	99.3	98.9	98.4
ppm																
Pb	41	48	45	32	80	39	74	12	79	27	23	28	145	23	37	32
Rb	83	85	61	70	79	55	124	70	64	46	38	122	59	96	203	46
Sr	205	207	352	169	149	177	136	196	264	236	150	375	211	182	232	225
V	97	103	106	83	173	68	210	101	108	61	47	134	85	119	234	60
Zr	454	279	328	156	330	211	369	498	215	131	139	580	384	440	356	227
Cl	1191	576	1390	1009	11836	799	14976	797	518	881	2172	5536	522	723	4054	244
S	971	456	2111	115	254	1368	2849	769	401	782	1339	4704	1904	1250	588	611
Co	4	21	14	7	28	25	38	18	31	7	16	29	19	21	47	18
Cr	103	85	62	30	109	72	151	71	73	75	39	107	51	73	236	43
Cu	3442	121	3615	1493	93893	182	114354	364	59124	413	396	289	402	548	2263	107
Zn	57	50	61	47		81	66	85	55	73	55	99	68	85	187	53
Th	11	10	10		18	13	14	8	6	10	5	4	6	15	20	6
Nb	2	9	4		8		13	15	7	3	0	13	4	5	13	6
U	20	9	19	5	96	9	33	6	20	7	5	8	7	10	18	8
Ni	51	37	35	45	67	52	86	66	39	66	19	68	58	64	135	39

ادامه جدول ۱:

sample	AM-50	AM-51	AM-52	AM-53	AM-54	AM-55	AM-56	AM-58	AM-59	AM-60	AM-61	AM-62	AM-63	AM-64	AM-66	AM-67
Wt %																
SiO <sub>2</sub>	68.5	56.9	43.1	69.9	71.3	71.6	66.7	64.4	64.7	67.5	67.1	65.3	67.5	56.4	68.4	68.9
TiO <sub>2</sub>	0.3	0.5	0.2	0.4	0.4	0.3	0.6	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.1	6.8	3.1	8.4	6.7	9.0	10.4	7.7	9.4	9.4	9.2	9.0	9.9	9.1	8.8	8.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.5	2.3	2.0	2.0	1.6	1.9	2.2	1.6	3.7	1.8	1.8	2.1	1.8	2.5	2.1	1.7
MnO	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
MgO	1.2	1.4	5.7	1.2	0.9	1.2	1.4	1.1	1.3	1.2	1.3	1.4	1.3	1.6	1.5	1.1
CaO	12.4	14.5	23.0	4.2	10.7	7.8	9.8	14.2	6.1	7.4	10.6	11.0	7.7	14.7	9.6	9.4
Na <sub>2</sub> O	1.2	1.0	0.2	1.0	0.6	0.6	0.8	0.6	2.8	0.6	0.7	0.7	0.7	1.1	0.6	0.9
K <sub>2</sub> O	0.9	0.9	0.5	1.0	0.9	1.1	1.3	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.1	1.1	1.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LOI	5.3	14.2	19.8	10.5	8.7	5.8	6.5	8.2	7.4	9.3	6.2	8.0	7.9	11.3	7.0	6.8
Total	99.6	98.8	97.9	98.9	101.9	99.4	99.9	99.7	97.5	99.2	98.8	99.3	98.8	98.6	99.6	98.5
ppm																
Pb	16	1469	310	463	123	96	62	64	131	61	62	49	42	196	22	111
Rb	51	68	39	52	50	63	75	57	72	67	70	58	70	65	67	50
Sr	278	215	1103	336	226	171	266	166	234	213	212	340	415	215	146	196
V	61	83	63	105	75	80	121	200	142	142	93	83	109	85	72	76
Zr	157	449	133	379	416	276	762	236	397	267	490	309	456	474	265	256
Cl	131	540	588	2485	340	118	483	985	25821	613	423	366	432	609	149	732
S	855	3749	1980	9655	998	279	1678	1588	6841	1030	4579	2366	5620	1991	328	844
Co	12	19	11	68	14	17	16	23	30	40	16	21	11	16	21	21
Cr	32	77	13	67	50	63	106	61	65	57	55	43	67	60	52	57
Cu	67	178	58	32142	399	115	843	12303	13944	36987	608	133	12400	330	101	292
Zn	51	59	75	240	65	45	63	38	68	44	64	62	57	95	58	70
Th	13	9	1	11	17	13	4	6	16	9	7	13	7	11	11	10
Nb		1	4	9		8	8	4		2	3	2	3	8	3	
U	20	15	18	22	13	9	11	19	27	35	12	6	13	7	6	7
Ni	48	56	32	51	26	45	50	46	43	69	31	50	39	9	3	49

ادامه جدول ۱:

sample	AM-68	AM-69	AM-70	AM-71	AM-72	AM-74	AM-75	AM-76	AM-77	AM-78	AM-81	AM-82	AM-05	AM-07	AM-08
Wt %															
SiO <sub>2</sub>	71.4	62.2	60.7	64.7	68.4	62.8	65.4	66.8	67.8	63.7	64.0	64.8	56.7	60.4	50.8
TiO <sub>2</sub>	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.8	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.7	0.8	0.8	0.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.4	9.5	8.7	9.1	7.4	17.0	10.0	12.1	7.5	10.2	10.1	13.5	12.2	15.0	3.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.6	2.1	1.9	1.8	1.7	3.5	1.8	2.3	1.8	1.9	1.7	4.5	3.5	3.9	3.1
MnO	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1
MgO	1.3	1.6	1.3	1.3	1.1	2.5	1.5	1.8	1.1	1.7	1.5	2.0	1.9	3.5	1.0
CaO	7.1	10.0	11.1	9.2	10.0	1.2	9.3	4.9	9.9	8.5	11.2	4.1	0.3	3.6	7.5
Na <sub>2</sub> O	0.9	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	1.2	1.0	0.8	1.1	1.6	0.9	0.8	0.8	0.4
K <sub>2</sub> O	1.3	1.4	1.3	1.4	1.1	3.0	1.4	1.8	1.1	1.4	2.0	2.2	2.4	3.1	0.8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
LOI	5.4	10.5	12.0	10.6	7.4	8.0	7.9	7.8	8.7	9.5	5.7	7.0	19.5	9.3	29.4
Total	98.9	98.8	98.4	99.4	98.5	99.7	99.3	99.0	99.1	98.9	98.2	99.7	98.2	100.6	97.2

ppm															
Pb	442	36	61	44	69	193	142	272	515	94	50	57	51	84	261
Rb	54	66	65	74	55	196	77	90	52	67	95	132	122	201	16
Sr	222	271	221	180	143	149	296	180	223	238	205	163	140	192	232
V	136	105	113	200	85	216	107	148	83	92	58	159	170	125	87
Zr	280	304	331	633	728	434	546	377	274	400	196	421	284	396	104
Cl	1624	899	4183	1611	3393	3430	5610	3284	1260	658	666	1188	1060 6	121	1575 8
S	348	2314	5185	1033	1334	194	2940	2593	636	2944	381	241	1367		2761
Co	30	19	25	13	20	36	18	25	18	21	5	30	52	41	85
Cr	60	62	77	88	83	136	85	87	46	56	17	112	117	87	38
Cu	1051 9	1189 7	4153 0	1372 2	1580 7	1811 7	1407	1505 1	1630 1	214	73	79	1062 12	447	1337 05
Zn	66	50	55	64	44	195	89	130	69	151	47	87	11	159	
Th	9	11	9	15	6	18	6	15	16	14	11	7		13	
Nb		14	5	13	18	12	3	10	3	4		4	18	18	9
U	8	14	17	27	10	14	9	21	18	8	14	19	39	12	19
Ni	94	42	30	32	7	107	56	28	42	21	15	98	131	156	55

## نتایج

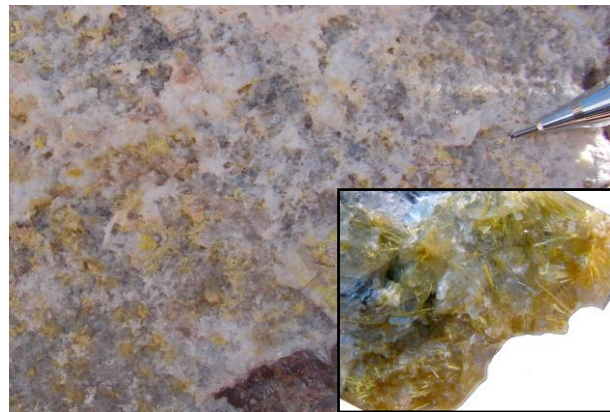
### کانه‌زایی و دگرسانی

کانه‌زایی مس در گستره وسیعی از حاشیه باختری بلوک طبس، از جنوب راور تا شمال عشق آباد، درون لایه‌های سرخ گره‌دو دیده می‌شود (شکل ۱). در تجزیه ژئوشیمیایی نمونه‌ها، اورانیم نیز همراه با کانیه‌زایی مس دیده می‌شود. علاوه بر آن کانی‌های اورانیوم‌دار مانند اورانوفان<sup>۳</sup> یا اورانوتیل<sup>۴</sup> ( $(Ca(UO_2)_2(SiO_3OH)_2 \cdot 5H_2O)$ ) در برخی از شکستگی‌های سنگ میزبان مشاهده می‌گردد (شکل ۴). این کانی بصورت تجمعات شعاعی از بلورهای ریز سوزنی زرد رنگ همراه با رگچه‌های کربناته وجود دارد. در رخداد مس آغل‌مسی کانیه‌زایی در افق‌های احیایی و در ارتباط با کانال‌های دیرینه رخ داده است (مهدوی، ۱۳۸۷؛ Mahdavi et al, 2008). کانال‌های دیرینه درون افق‌های احیایی از کنگلومرای ریزدانه در بخش زیرین تشکیل شده است که به سمت بالا از اندازه دانه‌ها کاسته و به تدریج به ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ بسیار دانه‌ریز تبدیل می‌شود. کانیه‌زایی در این منطقه، درون قاعده رسوبات کانال‌های دیرینه محیط دلتایی تشکیل شده است. در این کانال‌های

دیرینه، رسوبات برخلاف چرخه‌های درشت شونده لایه‌های سرخ گره‌دو، به سمت بالا دانه‌ریز می‌شوند. کانیه‌زایی مس در بخش‌هایی از این زیر افق‌ها که فسیل گیاهی وجود دارد دیده می‌شود. این بخش‌های کانیه‌دار به صورت عدسی‌هایی با طول ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر و ضخامت ۰/۲ تا ۶ متر در امتداد زیر افق‌های احیایی دیده می‌شود (شکل ۵ و ۶). قطعات چوبی و فسیل‌های گیاهی به عنوان عامل اصلی احیای محیط در ماسه سنگ-های موجود در کانال‌های دیرینه بیشترین تمرکز را دارند (Jowett, 1991) (شکل ۴). کانیه‌زایی مس در رخداد آغل‌مسی ممکن است مشابه با کانسار مس مارکشه در این منطقه باشد که رابطه نزدیکی با این تجمعات فسیل گیاهی دارد (مهدوی، ۱۳۸۷). سولفیدهای مس، بیشتر در پیرامون فسیل‌هایی که درون واحدهای سنگی درشت دانه و نفوذپذیر تجمع یافته‌اند، تشکیل شده‌اند. این در حالی است که، در بخش‌های با نفوذپذیری کم (ریزدانه) برخلاف وجود قطعات فسیلی، کانیه‌زایی به ندرت گسترش یافته است. به عبارت دیگر، افزون بر حضور قطعات فسیل گیاهی، نفوذپذیری واحدهای سنگی درشت دانه، از عوامل عمده و اصلی تمرکز



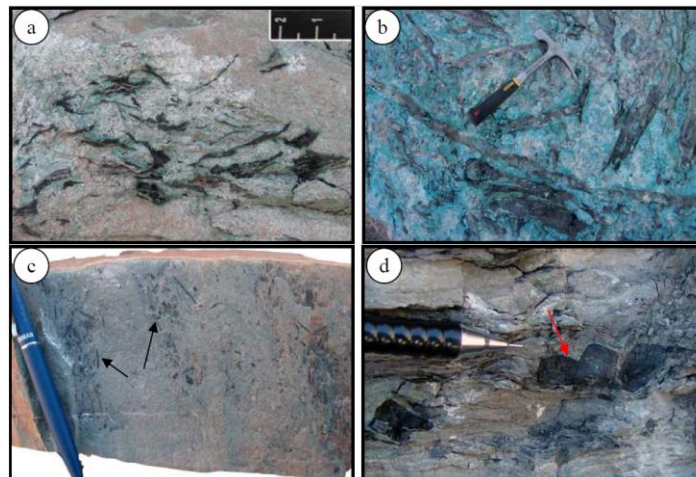
کانه‌زایی مس است (Kirkham, 1996) (شکل‌های ۷ تا ۹).



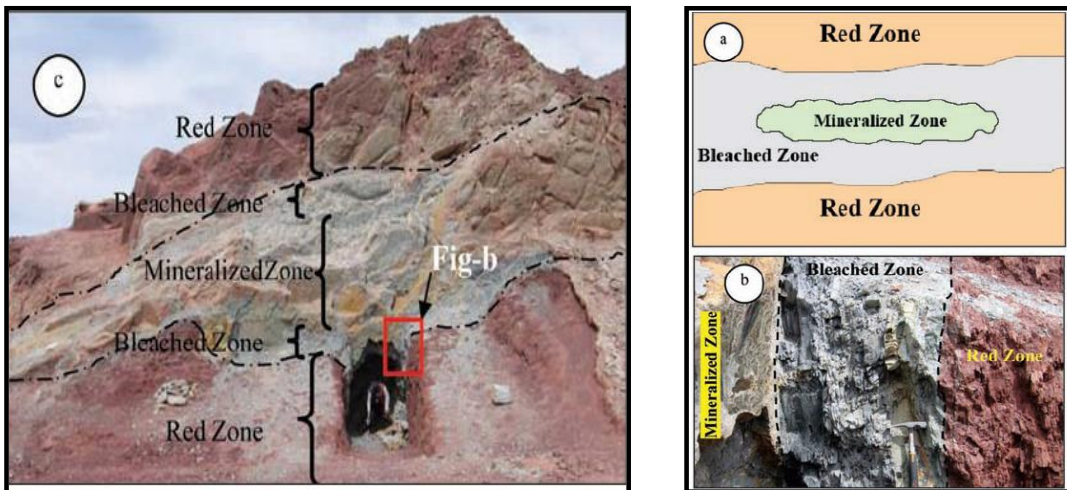
شکل ۴: حضور کانی‌های زرد رنگ و سوزنی اورانوفان در دیواره کربناتی موجود در شکستگی‌های نمونه‌های سنگی منطقه



شکل ۵: رخنمونی از ماده معدنی درون افق احیایی کانه‌دار کانسار آغل‌مسی. ماده معدنی در بخش‌هایی تجمع پیدا کرده است که مقادیر بالایی فسیل و قطعات گیاهی حضور دارند.



شکل ۶: نمایی از قطعات فسیل‌گیاهی و اشکال مختلف آن. (a و b) قطعات بزرگ فسیل‌گیاهی که در بخش‌های با نفوذپذیری بالا قرار دارند. طول برخی از این فسیل‌ها به بیشتر از یک متر می‌رسد. (c) فسیل‌های ریز که در بخش‌های نفوذناپذیر قرار داشته و کانه‌زایی در آنها دیده نمی‌شود. (d) قطعات گردشده فسیل‌های گیاهی.



شکل ۷: (a) شکل نمادین عمومی از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های سه گانه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی. (b و c) نمایی از افق احیایی میزبان کانه‌زایی و پهنه‌های آن (مهدوی، ۱۳۸۷).



شکل ۸: کانه‌سازی اکسید مس در حاشیه مواد آلی در منطقه آغل مسی



شکل ۹: کالکوسیت‌های موجود در منطقه آغل مسی به صورت گردشده با حاشیه مالاکیتی

پایین در بر می‌گیرد رنگ این بخش از قهوه‌ای تیره تا سرخ نارنجی روشن تغییر می‌کند. ترکیب سنگی این بخش بیشتر از لیتارنایت فلدسپاردار تا آرکوزلیتیک بسیار دانه‌ریز تا دانه متوسط تشکیل شده است. گاه کنگلومرای دانه‌ریز و سیلتستون سرخ نیز در آن دیده می‌شود. رنگ سرخ این بخش به دلیل حضور مقادیر زیادی هیدروکسید آهن

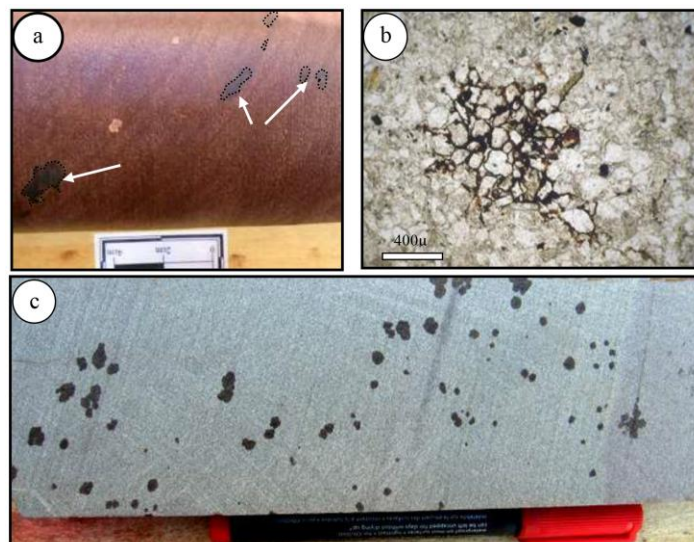
هر یک از افق‌های احیایی کانه‌دار از سه پهنه تشکیل می‌شود که در طی مراحل مختلف دیاژنز اولیه و پیش از تدفین ژرفی بر اثر پدیده‌های دگرسانی ایجاد شده‌اند، این پهنه‌ها عبارتند از: پهنه سرخ اکسیدان<sup>۵</sup> پهنه اکسیدان بیشترین بخش لایه‌های سرخ گردهو را تشکیل می‌دهد که افق‌های احیایی را از بالا و

است. هیدروکسیدهای آهن به صورت قشر باریکی پیرامون قطعات آواری، بویژه دانه‌های کوارتز وجود دارد. اجزای تشکیل دهنده این بخش عبارتند از: کوارتز، فلدسپار پتاسیم (بیشتر ارتوکلاز و کمی میکروکلین) و مقادیر کمتری پلاژیوکلاز (آلبیت) و کانی‌های رسی، سیمان در سنگ‌های پهنه سرخ اکسیدان شامل مواد کربناتی و به مقدار کمتر سیلیس، اکسید آهن و رسی است. بیشتر کانی‌های رسی در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نیستند اما تجزیه XRD، وجود ایلیت و کائولینیت را در این مجموعه ثابت کرده است. تنها کانی مس‌دار موجود در این پهنه، نئوتوسیت است که به‌طور ثانویه در بخش‌های نزدیک به پهنه کانه‌زایی شده تشکیل می‌شوند.

#### پهنه شسته شده<sup>۶</sup>

این پهنه در واقع بخشی از توالی لایه‌های سرخ گره‌دو است که در مرحله دیاژنز میانی دچار دگرسانی شده است. به‌طوری که تحت‌تأثیر سیال احیا، رنگ سرخ نارنجی ماسه‌سنگ به سفید، قهوه‌ای مایل به زرد، خاکستری و یا سبز تبدیل شده

است. در این پهنه، اکسیدهای آهن از پیرامون دانه‌ها، شسته شده‌اند و در نتیجه، این پهنه از نظر مقدار آهن از خود تهی شدگی نشان می‌دهد. آهن جدا شده یا به صورت پیریت ریزدانه و پراکنده ته نشست می‌یابد و یا به صورت اکسیدهای آهن سخت شده<sup>۷</sup> در مرز اکسیداسیون-احیا<sup>۸</sup> تجمع پیدا می‌کند (MacIntyre, 2005; Chan et al, 2000). در پهنه شسته شده، کانی ثانویه نئوتوسیت فراوانی بیشتری نسبت به پهنه سرخ اکسیدان دارد (شکل ۱۰). این کانی به راحتی با استفاده از تست اسید رقیق در صحرا قابل تشخیص است. بدین صورت که کمی از این کانی را پودر کرده و بر روی یک جسم آهنی مانند چکش زمین شناسی می‌ریزیم. سپس چند قطره اسید بر روی آن می‌چکانیم. پس از مدتی مس موجود در این کانی جدا شده و جانشین آهن چکش می‌گردد. لذا رنگ چکش در آن قسمت به رنگ مسی در خواهد آمد. همچنین نتایج آنالیز XRD بر روی این کانی، نئوتوسیت بودن آن را تأیید می‌نماید.



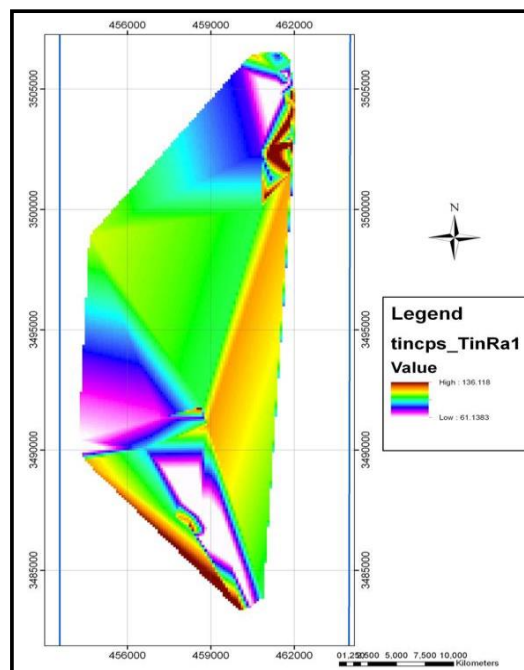
شکل ۱۰: تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی از کانی نئوتوسیت در رخساره. (a) قرمز اکسیدان و (b و c) پهنه شسته شده. نئوتوسیت به‌صورت ماتریکس تیره رنگ بین دانه‌های آواری را پر کرده است.



پهنه احیایی کانه‌زایی شده<sup>۹</sup>

در منطقه آغل مسی، بخش‌های کانه‌دار به شکل عدسی، درون بخش شسته شده افق‌های احیایی تشکیل شده‌اند مهم‌ترین عامل مؤثر در تشکیل این پهنه، فراوانی قطعات فسیل گیاهی و مواد آلی به عنوان عامل احیا و نیز نفوذپذیری سنگ‌ها در بخش شسته شده است. فسیل‌های گیاهی موجود در آغل مسی در بخش زیرین کانال‌های دیرینه موجود در افق‌های احیایی تجمع یافته‌اند. فسیل‌های گیاهی با ایجاد یک محیط احیا در پیرامون خود ابتدا موجب دگرسانی شست و شو و تشکیل پهنه شسته شده و سپس باعث ته‌نشست مس و دیگر عناصر فلزی موجود در سیال اکسیدان عبور کننده از درون کانال‌های دیرینه می‌شوند (شکل - های ۵ و ۶). در آغل مسی میزان پرتوزایی در بخش‌های احیایی ۲ تا ۳ برابر میزان زمینه ( cps ۵۰) می‌باشد و می‌توان گفت که میزان آن با اندازه اجزا ماسه‌سنگ رابطه معنی‌دار نشان می‌دهد. طوری که هرچه اندازه دانه‌ها ریزتر باشد،

میزان پرتوزایی آن بیشتر می‌شود. این موضوع را می‌توان این طور توجیه کرد که هر چه اندازه دانه سنگ میزبان در بخش‌های احیایی ریزتر باشد، احتمال شسته شدن اورانیوم و خروج آن کاهش می‌یابد و مقدار بیشتری از اورانیوم اولیه وارد شده به محیط رسوبی، در ماسه‌سنگ باقی می‌ماند و برعکس هر چه اندازه دانه‌های ماسه سنگ درشت‌تر باشد اورانیوم موجود به قسمت‌های پایین مهاجرت کرده و احتمال تشکیل ذخیره را در عمق بالا می‌برد. میزان پرتوزایی واحدهای ماسه سنگی منطقه آغل مسی متغیر می‌باشد. میانگین پرتوزایی در بخش‌های احیایی منطقه cps ۹۸/۳۰ است و بیشترین میزان آن cps ۱۳۰ می‌باشد. این میزان در کانسار مارکشه بالاتر بوده و بعضاً به cps ۶۵۰ می‌رسد. در شکل ۱۱ نمایی از پهنه‌بندی میزان پرتوزایی در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



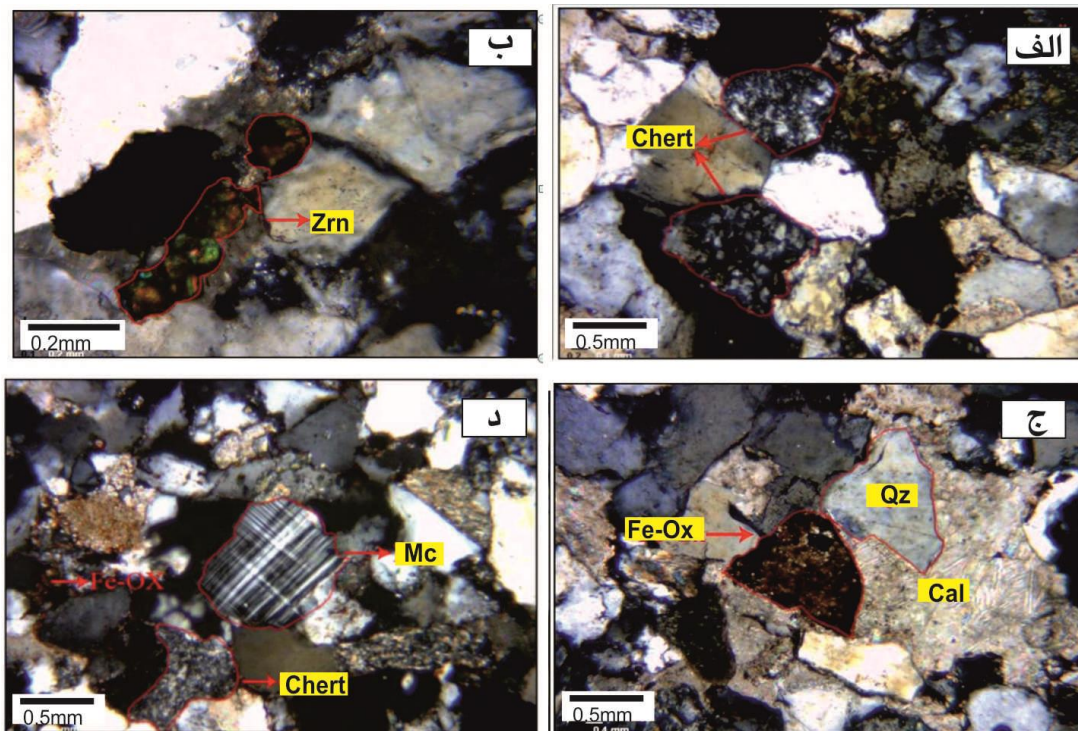
شکل ۱۱: نمایی از وضعیت پهنه‌بندی مقدار پرتوزایی در منطقه مورد مطالعه

## پتروگرافی

برای شناسایی دقیق‌تر منطقه مطالعاتی از مقاطع نازک و صیقلی، جهت شناسایی کانی‌ها، ساخت، بافت سنگ و نام‌گذاری سنگ‌های آواری بخصوص واحد JK که خاستگاه مس - اورانیوم می‌باشد استفاده شده است که در زیر به شرح مختصر آن پرداخته می‌شود. به منظور بررسی دقیق واحد آواری JK، میزبان مس - اورانیوم موجود در منطقه، تعداد ۳۰ عدد مقطع نازک در سازمان انرژی اتمی تهیه شد. با مطالعه این مقاطع مشخص شد که بیشتر ماسه سنگ‌های اورانیوم‌دار منطقه با توجه به نمودار فولک از نوع لیت‌آرنایت می‌باشند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این ماسه‌سنگ‌ها شامل کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ بوده که مقدار خرده سنگ بیشتر از فلدسپات می‌باشد. دانه‌های کوارتز تشکیل دهنده این ماسه‌سنگ‌ها به صورت نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه گردشده بوده و دارای جورشدگی متوسط تا ضعیف می‌باشند. حمل با توجه به جورشدگی، گردشده‌گی و نوع ماسه‌سنگ مربوط به حمل آرام با هوازدگی کم و فاصله نزدیک تا متوسط از منشاء است. ماسه سنگ‌های منطقه از نوع لیت‌آرنایت‌های فلدسپاتی و لیت-آرنایت‌های از نوع سدآرنایت و مربوط به زیر شاخه چرت آرنایت می‌باشند (Folk, 1980؛ Tucker, 2001؛ آدابی، ۱۳۸۳؛ آدابی و کریم‌پور، ۱۳۸۳؛ حرمی، ۱۳۷۳) که بیانگر فراوانی وجود سنگ منشاء رسوبی آواری در زمان تشکیل می‌باشد. سیمان در زون مس‌دار عمدتاً کربناته، اکسید آهن، سیمان رسی و سیلیسی به مقدار کم می‌باشد. کانی‌های فرعی موجود در لیت‌آرنایت‌ها شامل مسکویت عمدتاً با منشاء گرانیته یا شیبستی (گنیس)، اسفن، تیتانیت و زیرکن عمدتاً با منشاء اسیدی، کانی‌های اپک و بیوتیت می‌باشد. در

شکل ۱۲ نمایی از مقاطع نازک تهیه شده از ماسه‌سنگ منطقه مورد مطالعه در نور پلاریزه نشان داده شده است. از نظر ترکیب شیمیایی انجام شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که این ماسه سنگ‌ها در رابطه با نوع دانه و شیمی، دارای دامنه گسترده‌ای هستند، که عمدتاً به انواع خرده سنگ‌های موجود در آن وابسته است. البته سایر اجزا تشکیل دهنده در این ماسه سنگ‌ها را می‌توان شامل ورقه‌های میکا، مقداری فلدسپات و مقدار بیشتری کوارتز در نظر گرفت و همچنین مقدار کمی ماتریکس اولیه در آن‌ها وجود دارد و گرنه از نظر ترکیب شبیه به گری وکی‌ها می‌باشند و در حقیقت آن‌ها را تحت عنوان ساب گری وکی‌ها در نظر می‌گیرند. با توجه به اینکه لیت‌آرنایت‌ها منطقه از نظر ترکیب شیمیایی متنوعند، ولیکن به‌طور کلی دارای مقدار زیادی  $Al_2O_3$  (در خرده سنگ‌های بسیار غنی از میکا و رس) و مقدار کمی  $Na_2O$  و  $MgO$  هستند. ترکیب ایمچور در این ماسه سنگ‌ها، نرخ بالای تولید رسوب از منشا بالای پوسته‌ای که توسط مسافت کوتاه حمل و نقل دنبال شده است را نشان می‌دهد. بیشتر ماسه سنگ‌های رودخانه‌ای و دلتایی از این نوع هستند. به منظور شناسایی دقیق کانی‌ها بخصوص کانی‌های رسی، تعداد ۱۱ نمونه‌سنگی از منطقه برداشت گردید که بعد از برش و آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه، بر روی آنها آنالیز XRD انجام گردید. این نتایج نشان می‌دهد که:

- که کانی رسی موجود در ماسه‌سنگ‌ها، کائولینیت می‌باشد.
- کربنات موجود در ماسه‌سنگ‌ها از نوع کلسیت می‌باشد.

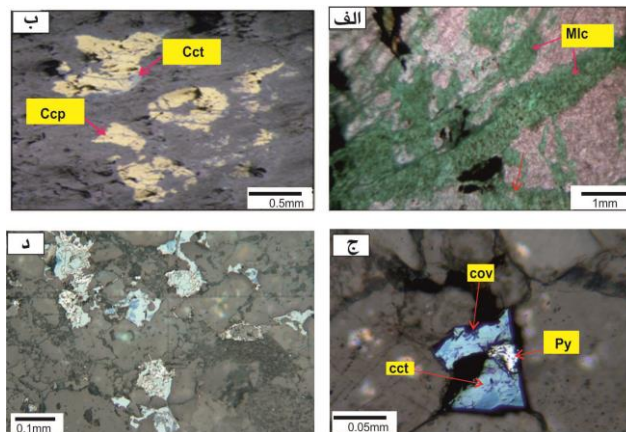


شکل ۱۲: الف) تصویر میکروسکوپی از خرده سنگ چرت در چرت آرنایت، وضعیت نوری XPL، بزرگنمایی 10 X. ب) تصویر میکروسکوپی از بلورهای ریز زیرکن، وضعیت نوری XPL، بزرگنمایی 20 X. ج) تصویر میکروسکوپی از اکسید آهن در داخل سیمان کربناته مربوط به ماسه سنگ لیتارنایت فلدسپاتی، وضعیت نوری XPL، بزرگنمایی 10 X. د) تصویر میکروسکوپی از کانی میکروکلین در ماسه سنگ لیتارنایت فلدسپاتی، وضعیت نوری XPL، بزرگنمایی 10 X. Zrn: زیرکن، Mc: میکروکلین، Qz: کوارتز و Cal: کلسیت (علایم اختصاری از Whitney and Evans, 2010).

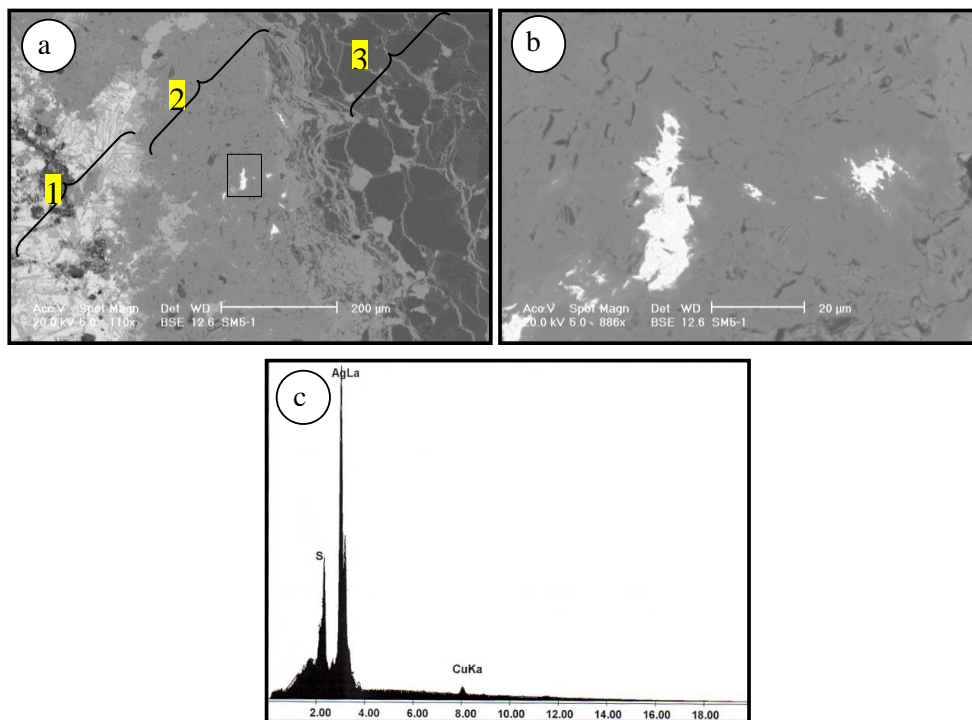
### مقاطع صیقلی

روتیل، پیریت و گوتیت دیده می‌شود و همچنین بافت‌های جانشینی در روتیل، اسفن و لوکوکسن به جای روتیل نیز دیده می‌شود و براساس وضعیت کانه‌های موجود در مقاطع صیقلی تیپ کانی سازی در محیط اکسیدان در نظر گرفته شده است و براساس مطالعات انجام شده میزان پرتوایی اورانیوم در کانی‌های اسفن، زیرکن و روتیل بین ۱۱۰ تا ۱۳۰ cps می‌باشد. آرژانتیت در مقاطع صیقلی مشاهده نشده است، اما با آزمایش پروب بر روی کانی‌ها و در تصاویر SEM، حضور این کانی درون هاله مالاکیتی مشخص شده است (شکل ۱۴).

برای بررسی کانی‌های فلزی موجود در واحد آواری JK، میزبان مس - اورانیوم در منطقه مورد مطالعه، ۳۰ عدد مقطع صیقلی از واحد آواری تهیه شد و با مطالعه آنها مشخص شد که کانی‌های اصلی تشکیل دهنده این واحد آواری شامل: کالکوسیت، پیریت، کولیت، مس، آرژانتیت، هماتیت، تیتانوهما تیت، گوتیت، مگنتیت و روتیل می‌باشند که به صورت بافت‌های دانه پراکنده، جانشینی، سیمان میان دانه‌ای و درزه‌های انحلالی دیده می‌شوند. در شکل ۱۳ نمایی از کانه‌های مطالعه شده در مقاطع صیقلی موجود در منطقه نشان داده شده است. مطالعه بر روی این مقاطع نشان می‌دهد که بافت خوردگی در هماتیت،



شکل ۱۳: الف) تصویر میکروسکوپی مالاکیت رگچه‌ای؛ تصویر در نور انعکاسی، XPI. ب) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت در حال تبدیل به کالکوسیت ثانویه؛ تصاویر در نور انعکاسی، PPL. ج) بقایای پیریت اولیه که توسط کالکوسیت جانشین شده است در شکل دیده می‌شود. د) تصویر میکروسکوپی از دانه‌های پراکنده سولفید مس که معمولاً از کالکوسیت تشکیل شده‌اند. کالکوسیت‌ها اغلب شکل اولیه پیریت دانه پراکنده را نشان می‌دهند. اختصارات Mlc: مالاکیت، Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت ثانویه، cov: کولیت، Py: پیریت (علایم اختصاری از Whitney and Evans, 2010).



شکل ۱۴: a و b) تصاویر SEM از کانی آرژانتیت درون هاله مالاکیتی اطراف یک قطعه فسیل گیاهی که توسط کالکوسیت جانشین شده است. ۱) کالکوسیت غنی از نقره در بخش‌هایی به کولیت تبدیل شده است. ۲) نوار مالاکیتی در اطراف قطعه گرد شده فسیل گیاهی. ۳) سنگ میزبان. c) طیف EDS حاصل از آنالیز کانی آرژانتیت (مهدوی، ۱۳۸۷).

### مطالعات ژئوشیمیایی

به منظور شناسایی دقیق آنومالی‌ها و عناصر موجود در واحد آواری JK، و مطالعه دقیق آن نسبت به پتانسیل کانی اورانیوم از مطالعات ژئوشیمیایی شامل آنالیز XRF و ICP-MS نیز استفاده گردید، که در زیر به نتایج حاصل از این مطالعات پرداخته شده است. بعد از برش و آماده‌سازی نمونه‌ها در آزمایشگاه، ۶۲ نمونه برای سنجش عیار ۲۶ عنصر و اکسیدهای  $\text{SiO}_2$ ،  $\text{TiO}_2$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{MgO}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{MnO}$ ،  $\text{P}_2\text{O}_5$  آنالیز شدند. براساس این نتایج، میزان تغییرات مس در ماسه‌سنگ‌های این منطقه از ۵۰ تا ۱۳۳۷۰۵ ppm می‌باشد که به‌طور متوسط برابر با ۱۶۱۹۳/۱۹ ppm می‌باشد. میانگین اورانیوم در نمونه‌های برداشت شده آغل مسی ۱۶/۲۲ ppm می‌باشد که نسبت به کلارک آن در ماسه سنگ‌ها ۸/۸ برابر افزایش پیدا کرده است. همچنین بیشترین مقدار اورانیوم ۹۶ ppm بوده که مربوط به لایه احیایی با پرتوایی ۸۰ cps می‌باشد و بیشترین پرتوایی اورانیوم ۱۳۰ cps می‌باشد. همچنین عیار مس و اورانیوم براساس نمونه‌برداری‌های انجام شده در بخش جنوبی منطقه به‌طور نسبی افزایش یافته است. میانگین توریوم در این نمونه‌ها ۱۰/۰۸ ppm می‌باشد. نسبت میانگین اورانیوم به توریوم ۱/۶۱ می‌باشد. بیشترین مقدار وانادیوم در آغل مسی ۹۲۴ ppm می‌باشد. میانگین وانادیوم در نمونه‌های آغل مسی نسبت به کلارک آن در ماسه سنگ‌ها حدوداً ۶/۳۲ برابر افزایش پیدا کرده است. وجود آنومالی‌هایی از سلنیم در نمونه‌های سطحی براساس سبایاس و همکاران (Subias et al, 2003) از شواهد جالب در اکتشاف کانسارهای رسوبی ماسه سنگی می‌باشد. لایه‌های احیایی در آغل مسی نسبت به عناصر سرب، روی، کبالت و نیکل نیز

پیریت و کالکوپیریت از کانی‌های سولفیدی زون هایپوژن می‌باشند که در مقاطع بخش‌های احیایی کانه‌دار، به صورت ذرات بسیار ریز به مقدار کم دیده می‌شوند. البته به دلیل قرار گرفتن در شرایط اکسیدان این کانی‌ها در حال اکسید شدن می‌باشند و کمتر به صورت کانی اولیه بدون تغییر باقی مانده‌اند. کالکوسیت و کوولیت از مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی ثانویه زون سوپرژن هستند که غالباً با یکدیگر پارائززند. کالکوسیت درون لایه‌های احیای به صورت قطعات گردشده به اندازه تقریبی نخود و بزرگ تر از آن دیده می‌شود. گردشگی بالای این قطعات، نشان دهنده حمل به مسافت طولانی و فاصله تا منشا می‌باشد. به دلیل قرار گرفتن در شرایط سطحی کانی کالکوسیت در حال اکسیدان و تبدیل شدن به کانی‌های اکسیدی مس می‌باشد. کانی کوولیت نیز در بعضی از نقاط به صورت محدود همراه با کالکوسیت مشاهده گردید. از کانی‌های غیرسولفیدی که در لایه‌های احیایی به وفور دیده می‌شوند، می‌توان به کریزوکلا، مالاکیت و آزوریت اشاره نمود. مالاکیت به دو صورت آمورف و بلورهای سوزنی در منطقه دیده می‌شود. مالاکیت در مقاطع مطالعه شده به صورت کانی ثانویه سبز رنگ فضای بین مینرالی را پر کرده است. در بعضی از قسمت‌ها کانی نئوتوسیت نیز به صورت لکه‌های تیره درون ماسه سنگ احیایی دیده می‌شود. همچنین کانی‌های اکسید آهن مانند هماتیت و گوتیت در سطح بعضی مقاطع بخش‌های احیایی مشاهده می‌شود.

این کانی‌ها در اثر اکسید شدن کامل کانی‌های سولفیدی تشکیل یافته‌اند. مراحل کانی‌سازی و توالی پارائزنتیک کانه‌ها و ساخت و بافت مربوط به آنها در کانسار مس - اورانیوم رسوبی آغل مسی در جدول ۲ نشان داده شده است.

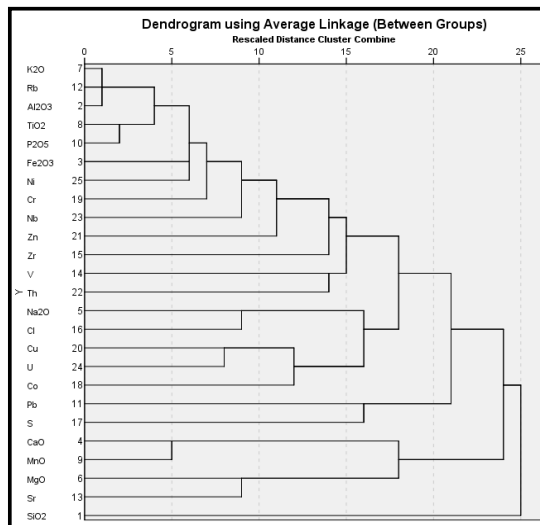


مشاهده می‌شود  $K_2O$  و  $Rb$  دارای بیشترین همبستگی و  $SiO_2$  و  $Al_2O_3$  دارای کمترین همبستگی می‌باشند. همچنین اورانیوم با مس دارای بیشترین همبستگی می‌باشد که در نمودار همبستگی دوتایی این عناصر مشخص شده است (شکل ۱۶).

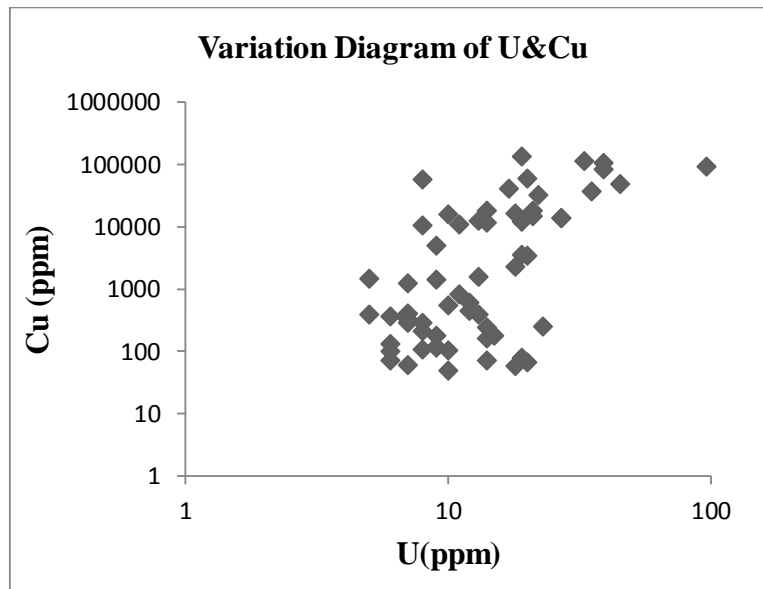
غنی شدگی نشان می‌دهد. جدول ۳ مقایسه میانگین عناصر مهم برحسب ppm در منطقه آغل مسی با مقادیر کلارک لیتولوژی‌های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به دندروگرام ترسیمی از نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌ها منطقه نشان می‌دهد میزان همبستگی عناصر با یکدیگر مشخص شده است (شکل ۱۵). همان‌طور که

جدول ۲: توالی پاراژنتیک کانه‌ها در کانسار مس - اورانیوم رسوبی آغل مسی

	Pre-mineralization		Mineralization		Post-mineralization			
	Diagenesis					Tectonic Processes (uplift)	Supergene	
	Syn diagenesis	Early diagenesis	Middle diagenesis	Late diagenesis	Sulfide		Oxide	
Redding	-----							
Calcite cement	-----							
Qz overgrowth	-----							
Organic destruction & acidic solution	-----							
Porosity generation	-----							
Bleaching	-----							
Compaction	-----							
Fracture	-----							
Iron Oxide	-----							
Framboidal pyrite	-----							
Diagenetic pyrite	-----							
Bornite	-----							
Chalcopyrite	-----							
Chalcocite I	-----							
Argentite	-----							
Chalcocite II	-----							
Covellite	-----							
Digenite	-----							
Native copper	-----							
Malachite	-----							
Chrysocolla	-----							
Atacamite	-----							
Neotocite	-----							
Hematite	-----							
Goethite	-----							
Textures	Replacement	-----						
	Solution seams	-----						
	Vein-veinlet	-----						
	Grain cement	-----						
	Impregnation disseminated	-----						



شکل ۱۵: نمودار دندروگرام ترسیمی از نتایج آنالیزهای شیمیایی انجام شده از منطقه آغل مسی



شکل ۱۶: نمودار همبستگی دوتایی بین مس و اورانیوم

جدول ۳: مقایسه میانگین عناصر مهم بر حسب ppm در منطقه آغل مسی با مقادیر کلارک لیتولوژی‌های مختلف

عناصر	شیل	ماسه سنگ	کربنات	سنگ آذرین	آغل مسی
اورانیوم	۳/۷	۱/۸۵	۲/۲	۲/۷	۱۶/۲۲
توریوم	۱۲	۱۷	۱۷	۹/۶	۱۰/۰۸
وانادیوم	۱۳۰	۲۰	۲۰	۱۳/۵	۱۲۶/۲۵
سرب	۲۰	۷	۹	۱۳	۱۱۵/۷۱
روی	۹۵	۱۶	۲۰	۷۰	۷۹/۲۸
مس	۴۵	N	۴	۵۵	۱۶۱۹۳/۱۹
نیکل	۶۸	۲	۲۰	۷۵	۵۳/۷۵
کبالت	۱۹	۰/۳	۰/۱	۲۵	۲۳/۷۰

### خاستگاه و نحوه تشکیل

در کانسارهای مس رسوبی و در طی فرایند دیاژنز اولیه، هیدرولیز کانی‌های سیلیکاتی مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت موجب آزاد شدن آهن موجود در شبکه آنها، به صورت هیدروکسید آهن فریک (پیش ماده اولیه هماتیت) می‌گردد که با تجمع در پیرامون دانه‌های آواری، باعث سرخ شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنز می‌شود (Walker, 1989). همچنین در طی دیاژنز اولیه و در اثر تخریب مواد آلی، اسید هومیک ایجاد می‌شود و در محیط اسیدی ناشی از آن، تخریب برخی از کانی‌های سیلیکاتی ادامه می‌یابد. در اثر تخریب کانی‌های سیلیکاتی، جانیشینی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپات در جازا (اوتوژنیک) و نیز شسته شدن بیوتیت، عناصر فلزی موجود در شبکه آنها آزاد و این عناصر توسط هیدروکسیدهای آهن و اسمکتیت موجود در زمینه رسی ماسه‌سنگ، جذب می‌شوند (Brown, 2003). در مراحل بعدی دیاژنز، طی تبلور و بلوغ اکسیدهای آهن بی‌شکل و تبدیل آنها به هماتیت (Chan, 2000) و همچنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت، محتوای فلزی درون این کانی‌ها، از جمله مس و نقره، آزاد و وارد سیال اکسیدان می‌شوند و می‌توانند توسط آن حمل شوند. در منطقه آغل مسی سیال اکسیدان کانه‌دار در اثر فشار بار لیتوستاتیکی لایه‌های سرخ گره‌دو و در اثر آزدایی و انحلال کانی‌های تبخیری در توالی تبخیری‌ها، که (در پهنه مس رسوبی راور - طبس - عشق آباد) در زیر رسوبات لایه‌های سرخ گره‌دو قرار گرفته‌اند، ایجاد می‌گردد. این سیال غنی از کلرید و با شوری متوسط تا بالا است که تحت تأثیر شیب حرارتی ناشی از فرایند دی‌پایریسم منطقه، در رسوبات سازند سرخ گره‌دو به گردش در می‌آید، مس و دیگر فلزات آزاد شده از کانی‌های سیلیکاتی

ناپایدار را به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌کند. افزون بر این، تخریب مواد آلی و ایجاد اسید هومیک همچنان در این مرحله ادامه دارد. از طرف دیگر وجود تمرکزهای بالایی از مواد آلی، در چند افق از توالی لایه‌های سرخ گره‌دو، باعث می‌شود که آب میان‌سازندی موجود در اطراف بخش‌های غنی از فسیل گیاهی تحت تأثیر مواد آلی، احیا و موجب تشکیل سیال احیایی شود. در واقع باکتری‌های بی‌هوازی با گرفتن انرژی مورد نیاز خود از مواد آلی، سولفات موجود در آب میان‌سازندی را به  $H_2S$  احیا نموده، و در نتیجه افزون بر ایجاد گوگرد، باعث دگرسانی شستشو در افق غنی از فسیل گیاهی می‌شوند (Brown, 2003). در این حالت، اکسیدهای آهن موجود در بخش‌های احیا شده، در مجاورت گوگرد، یا به صورت پیریت دیاژنتیک ته‌نشست پیدا نموده و یا از سنگ شسته شده و در مرز محیط احیا و اکسید شده تمرکز می‌یابند. سیال اکسیدان کانه‌دار در مسیر چرخش خود درون لایه‌های سرخ گره‌دو، با رسیدن به افق‌های احیایی غنی از مواد آلی و فسیل گیاهی و در اثر برخورد با سیال احیایی در این بخش، باعث ناپایدار شدن کمپلکس کلریدی حامل مس می‌شود و در نتیجه سولفیدهای مس، ته‌نشین و جانشین بخش‌های مختلف فسیل‌های گیاهی می‌گردند. این فرایند به‌طور معمول کمی پس از شروع شستشو محیط احیایی مناسب برای ته‌نشست کانی‌های سولفیدی، رخ می‌دهد. بنابراین کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و آرزانتیت با بافت‌های جانیشینی، سیمان میان‌دانه‌ای و دانه پراکنده، در مرحله دیاژنز میانی و پیش از دیاژنز تدفینی تشکیل می‌شوند.

سنگ درونگیر: بنا بر گفته کوکس و همکاران (Cox et al, 2007)، سنگ میزبان کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه ماسه سنگ، کنگلومرا و آرکوز مربوط به محیط‌های با انرژی بالا با منشأ قاره‌ای هستند. همچنین، براساس نظر هیتزمن و همکاران (Hitzman et al, 2005) کانسارهای مس رسوبی سرخ لایه در فصل مشترک ماسه‌سنگ و کنگلومرای سرخ اکسیدان (هماتیت‌دار) و خاکستری به نسبت احیایی و به‌طور معمول پیریت‌دار تشکیل می‌شوند. رخداد مس - اورانیوم آغل - مسی، در ماسه‌سنگ و کنگلومرای ریزدانه موجود در افق‌های احیایی سازند سرخ گره‌دو تشکیل شده است. این سازند بر روی واحد تبخیری قرار گرفته است. از ویژگی‌های مهم رخداد مس - اورانیوم آغل‌مسی، کانه‌زایی مس در قاعده کانال‌های دیرینه موجود در توالی ستبر سرخ گره‌دو است. ژئومتری، ساخت و بافت: ماده معدنی در کانسارهای نوع سرخ لایه بدون کنترل ساختاری - گسلی به صورت عدسی‌شکل و هم‌خواب با لایه‌بندی و در یک افق چین‌های خاص صورت می‌گیرد. بافت ماده معدنی در این کانسارها به‌طور معمول جانشینی و دانه پراکنده است. رخداد مس - اورانیوم آغل‌مسی نیز به صورت هم‌خواب با لایه‌بندی و بافت اصلی در آن، بافت جانشینی و دانه پراکنده است. پاراژنز: مواد معدنی در کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه شامل؛ کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، دیژنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی، گالن و اسفالریت است. کانی‌های باطله بیشتر کلسیت، دولومیت و باریت هستند. براساس بررسی‌های میکروسکوپی و نتایج XRD کانی‌شناسی رخداد مس - اورانیوم آغل‌مسی بیشتر شامل؛ هماتیت، تیتانوهماطیت، کالکوسیت، کوولیت، آرژانتیت،

کانه‌زایی مس - اورانیوم آغل‌مسی و نوع آن ژئومتری، کانی‌شناسی، نوع سنگ درونگیر، نوع عامل احیا و گستردگی کم آن، نوع محیط رسوبی و عناصر همراه در منطقه آغل‌مسی، همگی نشان‌دهنده تشابه کانه‌زایی مس محدوده معدنی آغل - مسی با کانسارهای مس رسوبی نوع لایه قرمز است. به منظور بررسی بیشتر این شباهت‌ها ابتدا به کانسارهای رسوبی نوع لایه قرمز و ویژگی‌های آنها اشاره و سپس رخداد مس - اورانیوم آغل‌مسی با آنها مقایسه خواهد شد.

محیط تکتونیکی: محیط زمین ساختی تشکیل کانسارهای مس رسوبی نوع سرخ لایه<sup>۱۰</sup> مربوط به حوضه‌های گسل‌خورده در نواحی مختلف مانند کافت‌ها، حوضه‌های کششی و حوضه‌های پیش‌بوم است (Cox et al, 2007). به نظر کوکس و همکاران (Cox et al, 2007) گنبدی شدن نمکی<sup>۱۱</sup> در فرایند کانه‌سازی برخی از کانسارها، نقش بسزایی داشته است. با توجه به توالی رسوبی موجود در منطقه و نیز زمین‌ساخت دیرینه این بخش از ایران مرکزی در زمان ژوراسیک - کرتاسه (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۷؛ قاسمی و جمشیدی، ۱۳۹۲؛ قاسمی و جمشیدی، ۱۳۹۲؛ Cox et al, 2007) می‌توان گفت رخداد آغل‌مسی در یک محیط کششی تشکیل شده است، همچنین شواهد دی‌پایریسم نمکی در منطقه دیده می‌شود. از شاخص‌ترین کانسارهای مس سرخ لایه که در محیط کافت درون قاره تشکیل شده‌اند می‌توان به کانسار Nacimiento در ایالت نیومکزیکو آمریکا (Woodward et al, 1974) و Juramento در آرژانتین (Durieux and Brown, 2007) اشاره کرد که از نظر محیط زمین ساختی شباهت زیادی با رخداد مس آغل‌مسی دارند.

مهم‌ترین تفاوت میان کانسار Nacimiento و Lisbon Valley، نحوه دگرسانی شستشو در این دو کانسار و پیرو آن کانه‌زایی است. دگرسانی شستشو و کانه‌زایی در کانسار Nacimiento همانند رخداد مس- اورانیوم آغل مسی، در امتداد افق‌های ماسه‌سنگی و به صورت هم‌خواب با لایه-بندی سنگ میزبان است. اما در کانسار Lisbon Valley، دگرسانی شستشو و کانه‌زایی در اطراف گسل‌ها و گاه در امتداد افق‌های ماسه سنگی رخ داده و دارای کنترل کننده گسلی است. در جدول ۴ مقایسه رخداد مس- اورانیوم آغل مسی و کانسارهای Nacimiento و Lisbon Valley ارائه شده است.

لوکوکسن، گوتیت، مس، مگنتیت و پیریت و کانی‌های باطله آن بیشتر کلسیت و دولومیت است. کانسارهای شاخص مس رسوبی نوع سرخ لایه و جایگاه رخداد مس- اورانیوم آغل مسی کانسار مس رسوب (Nacimiento Woodward et al, 1974) در نیومکزیکو و کانسار مس رسوبی Lisbon Valley (Thorson, 2005) در ایالت کلرادو، به‌عنوان شاخص جهانی کانسارهای نوع سرخ لایه شناخته شده‌اند (Hitzman et al, 2005). این کانسارها همانند رخداد مس- اورانیوم آغل- مسی، در توالی ماسه سنگ و کنگلومرای سرخ رنگ در یک محیط کشتی حاشیه کافتی، تشکیل شده‌اند.

جدول ۴: مقایسه رخداد مس- اورانیوم آغل مسی و کانسارهای Nacimiento و Lisbon Valley

کانسار	آغل مسی	Nacimiento	Lisbon Valley
موقعیت	راور- ایران	نیومکزیکو - آمریکا	یوتا - آمریکا
سن	ژوراسیک فوقانی	تریاس	کرتاسه تحتانی
عناصر معدنی	Cu-Ag-U	Cu-Ag	Cu
موقعیت زمین‌ساختی	محیط کشتی	کافت و محیط کشتی	کافت و محیط کشتی
محیط ته‌نشست	جزر و مدی	کم‌زرفا	جزر و مدی
ژئومتری	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	عدسی و هم‌روند با لایه‌بندی	چینه کران تا چینه‌سان
سنگ میزبان	ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرا	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	ماسه‌سنگ
کانی‌شناسی کانسنگ	روتیل، هماتیت، تیتانوهمازیت، کالکوسیت، کوولیت، آرزانتیت، اسفن، لوکوکسن، گوتیت، مس، مگنتیت و پیریت، نئوتوسیت	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا و آرزانتیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت، کوپریت، گالن و اسفالریت
ساخت و بافت	جانشینی و دانه‌پراکنده، سیمان بین دانه‌ای	جانشینی و دانه‌پراکنده	جانشینی و دانه‌پراکنده، رگه و رگچه
دگرسانی	Bleaching	Bleaching	Bleaching
عامل احیایی	فسیل گیاهی و پیریت دیاژنتیکی	فسیل گیاهی و پیریت دیاژنتیکی	فسیل گیاهی، پیریت دیاژنتیکی و مواد هیدروکربنی
عوامل کنترل کننده کانی-زایی	وجود عامل احیاء و نفوذپذیری سنگ میزبان، مجاورت با گنبد‌های نمکی	وجود عامل احیاء و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیاء و نفوذپذیری سنگ میزبان
تیپ کانه‌زایی	Red bed Sediment-hosted Copper deposits	Red bed Sediment-hosted Copper deposits	Red bed Sediment-hosted Copper deposits

### نتیجه‌گیری

بررسی‌های صورت گرفته در رخداد مس- اورانیوم آغل مسی با وجود شواهدی مانند رخداد بخش عمده کانه‌زایی به صورت بافت جانشینی، حضور بافت درزه انحلالی، نفوذپذیری سنگ میزبان،

دگرسانی در مرحله دیاژنز و تشکیل پهنه‌های شسته شده، سرخ اکسیدان و احیا کانه‌زایی شده، کانه‌زایی در کانال‌های دیرینه، نبود بافت‌های سین ژنتیک، نقش تبدیل و تحولات دیاژنزی کانی‌های رسی، نقش قطعات فسیل‌های گیاهی در احیای سیال کانه‌ساز، همگی دلالت بر رخداد کانه‌زایی

است، نشان می‌دهد. فسیل‌های گیاهی در تشکیل سیال احیایی، و تبخیری‌های زیر لایه‌های سرخ گره‌دو در ایجاد سیال اکسیدان حامل فلزات کانه-ساز نقش داشته‌اند. برخورد این دو سیال در پیرامون و محل قطعات فسیل گیاهی در پهنه شسته شده، موجب کانه‌زایی مس طی دیاژنز میانی شده است. بررسی رخداد مس - اورانیوم آغل‌مسی می‌تواند الگویی برای بررسی و اکتشاف این نوع کانسارها و بررسی عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز آنها باشد.

مس - اورانیوم به صورت دیاژنتیک دارد. حفظ شدگی ساختارهای سلولی در بافت جانیشینی سولفیدها نشان دهنده کانه‌زایی پیش از تدفین ژرفی است. این پدیده‌ها کانه‌زایی در دیاژنز میانی را در رخداد آغل‌مسی به خوبی نشان می‌دهند. بررسی‌های انجام گرفته در رخداد مس - اورانیوم آغل‌مسی، همراهی کانه‌زایی مس را با دو پدیده موجود در منطقه، یعنی فسیل‌های گیاهی و تبخیری‌ها، با توجه به بررسی‌های کانسارهای مشابه در دیگر نقاط جهان، که نشان‌دهنده ارتباط میان این پدیده‌ها و تشکیل کانسار مس رسوبی

### پانویس

- 1-Redbed type sediment-hosted copper deposit
- 2-Red bed
- 3-Uranophane
- 4-Uranotile
- 5-Red Oxidized Zone

- 6-Bleached Zone
- 7-Consolidated Iron Oxide
- 8-Redox Boundry
- 9-Mineralized Reduced Zone
- 10-Redbed
- 11-Salt Diapirism

### منابع

و مولیبدن در معدن فیروزه نیشابور، رساله دکترای مهندسی دانشگاه نانس فرانسه، ۲۴۰ ص. -پناه زاده، م.، ۱۳۸۹. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی لایه‌های رسوبی مس‌دار در روستای چهرگان، تسوج، استان آذربایجان خاوری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، ۲۲۵ ص. -تاکر، م.ای.، ۱۳۷۳. سنگ‌شناسی رسوبی، ترجمه موسوی حرمی، ر. و محبوبی، ا.، مشهد، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۴۲۰ ص. -جوانشیر، ع.ر.، ۱۳۸۸. گزارش اکتشافی شماره ۸۷-۰۷۵۳، گزارش فاز پی جویی ناحیه امید بخش راور، سازمان انرژی اتمی، ۲۳۰ ص. -جوانشیر، ع.ر. و خسروی، م.، ۱۳۸۸. گزارش اکتشافی شماره ۸۸-۰۷۷۲، گزارش مرحله دوم فاز پی جویی ناحیه امید بخش راور، سازمان انرژی اتمی، ۳۲۰ ص.

-آدابی، م.ح.، ۱۳۸۳. ژئوشیمی رسوبی، تهران، نشر آراین زمین، ۳۵۰ ص. -آدابی، م.ح. و کریم پور، م.ح.، ۱۳۸۳. نام‌گذاری و طبقه‌بندی جامع سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی، مشهد، دانشگاه فردوسی، ۲۰۰ ص. -اسپهبد، م.ر. و سید اصفهانی، م.، ۱۳۶۰. بررسی -های زمین‌شناسی و متالوژنی اورانیوم در معادن طالمسی و مس کنی انارک، سازمان انرژی اتمی، ۴۰۰ ص. -اسپهبد، م.ر.، ۱۳۸۵. مطالعه تئوریک تعادل رادیو اکتیو در کانی‌های اورانیوم و مواردی چند از نتایج آن در ایران، گزارش داخلی سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۳۶، ۲۰۰ ص. -اسپهبد، م.ر.، ۱۳۵۶. کانی‌سازی و اختصاصات زمین‌شناسی، ژئوشیمی و متالوژنی اورانیوم با مس

- قاسمی، ح.، حصوری، م.ر. و صادقیان، م.، ۱۳۹۷. فعالیت ماگمایی بازی در حوضه کششی پشت کمانی ژوراسیک زیرین - میانی در لبه شمالی پهنه‌های ایران مرکزی - جنوب البرز خاوری، شاهرود - دامغان. مجله علوم زمین، شماره ۱۰۷، ص ۱۲۳ تا ۱۳۶.
- مهدوی، ا.، ۱۳۸۷. زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس مارکشه، شمال غرب راور، استان کرمان. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۷۰ ص.
- نقی زاده، ر.، عباداله، ش.، دری، م.ب. و ریاضی، ن.، ۱۳۸۶. بررسی صحرایی کانی‌سازی مس در منطقه تسوج استان آذربایجان شرقی، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، ۱۰-۲۵ ص.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۹. گزارش نهایی کانه‌زایی مس رسوبی چشمه سفید عشق آباد، شرکت آتی کان آرمان.
- شمسی، پ.، ۱۳۷۸. بررسی ژئوشیمی و ژنز معدن مس خونگاه، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شیراز، ۸۹ ص.
- قاسمی، ح. و جمشیدی، خ.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی، پتروولوژی و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگ‌های بازیک آلکالن در قاعده سازند شمشک، زون البرز مرکزی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴، ص ۶۹۹-۷۱۴.
- قاسمی، ح. و جمشیدی، خ.، ۱۳۹۲. بررسی خصوصیات ناحیه منشأ سنگ‌های آلکالن بازیک قاعده سازند شمشک در البرز خاوری، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۷، شماره ۲۷، ص ۲ تا ۱۷.

- Chen Zuyi, 2010. Regional Distribution of Uranium Deposits in Northern Asia, in: Sandstone type Uranium Deposits in China, Bureau of Geology, CNNC, Atomic Energy Press, 217 p.
- Berberian, M. and King, G.C., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran, Canadian Journal of Earth Sciences, v. 18(2), p. 210-265.
- Brown, A.C., 2003. Redbeds: "source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead and sandstone uranium-vanadium deposits, In: Lentz DR (ed) Geochemistry of sediments and sedimentary rocks: evolutionary considerations to mineral deposit-forming environments, Geological Association of Canada Geotext, v. 4, p. 121-133.
- Brown, A.C., 2005. Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model, Economic Geology, v. 100, p. 765-771.
- Catuneanu, O., 2006. Principles of Sequence Stratigraphy, 1st edition, Elsevier, 375 p.
- Chan, M.A., Parry, W.I. and Bowman, J.R., 2000. Diagenetic hematite and manganese oxides and fault-related fluid flow in Jurassic sandstones, southeastern Utah, American Association of Petroleum Geologists Bulletin, v. 84, p. 1281-1310.
- Cox, D.P., Lindsey, D.A., Singer, D.A. and Diggles, M.F., 2007. Sediment-hosted copper deposits of the world: US Geological Survey, Open-file report, v. 03-107, 50 p.
- Dahlkamp, F.J., 1993. Uranium Ore Deposits, Springer Pub, 460 p.
- Durieux, C.G. and Brown, A.C., 2007. Geological context, mineralization, and timing of the Juramento sediment-hosted stratiform copper-silver deposit, Salta district, northwestern Argentina, Mineralium Deposita, v. 42, p. 879-899.
- Finch, W.I., 1985. Sandstone-Type Uranium Deposits- Summary and

- Conclusions, in; IAEA- TECDOC -328, Geological Environments of Sandstone-type Uranium Deposits, p. 400-408.
- Folk, R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 p.
- Gansser, A., 1995. New aspects of the geology in Central Iran, 4th World Petroleum Congress, Rome, Section I/A/5, p. 280-300.
- Gilbert, J.M. and Park, J.R., 1997. The Geology of Ore Deposits, Freeman and Company, New York, 985 p.
- Hitzman, M.W., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. and Selley, D., 2005. The sediment-hosted stratiform copper ore system, In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, p. 609-642.
- Hitzman, M.W., Selley, D. and Bull, S., 2010. Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History, Economic Geology, v. 105, p. 627-639.
- Jowett, E.C., 1991. The evolution of ideas about the genesis of stratiform copper-silver deposits. Economic Geology Monograph, v. 8, p. 117-132.
- Kirkham, R.V., 1996. Sediment-hosted stratiform copper, In: Eckstrand OR, Sinclair WD, Thorpe RI (eds) Geology of Canadian mineral deposit types, Geological Survey of Canada, v. 8, p. 223-240.
- MacIntyre, T.J., 2005. Fault-controlled hydrocarbon-related bleaching and sediment-hosted copper mineralization of the Jurassic Wingate sandstone at the Cashin Mine, Montrose County, Colorado, M.S thesis, Department of Geology and Geological Engineering.
- Mahdavi, A., Rastad, E. and Hosseyni, M., 2008. Markasheh sediment-hosted stratiform Cu mineralization in the Ravar region, Central Iran, 33 International Geological Congress, Oslo.
- Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: evolutions Presentations, London, 100 p.
- Stocklin, J., Eftekhari Nezhad, J. and Hushmandzadeh, A., 1972. General Lut reconnaissance, East Iran, Geological Survey of Iran, Report, v. 22, 62 p.
- Subias, I., Fanlo, I. and Mateo, J., 2003. A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, p. 20-40.
- Thorson, J.P., 2005. Valley sediment-hosted copper deposits and Paradox Basin fluids field trip", Economic geology, guidebook series, v. 37, p. 125-138 (Lisbon).
- Tucker, M.E., 2001. Sedimentary Petrology, Third Edition, Blackwell, Oxford, 260 p.
- Verdel, C. and Ramezani, J., 2007. Geology and thermochronology of Tertiary Cordilleran-style metamorphic core complexes in the Saghand region of central Iran, Geological Society of America Bulletin, v. 119(7/8), p. 961-977.
- Walker, T.R., 1989. Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits, In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geological Association of Canada, Special Paper, v. 36, p. 85-96.
- Woodward, L.A., Kaufman, W.H., Schumacher, O.L. and Talbot, L.W., 1974. Stratabound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico: Economic Geology, v. 69, p. 108-120.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals, American mineralogist, v. 95(1), p. 185-187.