

سنگ‌نگاری، محیط رسوب‌گذاری و کانه‌زایی مس در لایه‌های رسوبی قرمز رنگ، شمال تربت حیدریه (حوضه رسوبی کدکن)

- مصطفی اسماعیلی وردنجانی^(۱)، ایرج رسا^(۲)، محمد یزدی^(۳) و کاوه پازند^(۳)
۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۲. استاد گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
 ۳. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۶

چکیده

کانی‌سازی مس در حوضه رسوبی کدکن به صورت عدسی شکل و چینه‌سان و احتمالاً از نوع کانسارهای مس با میزبان طبقات قرمز می‌باشد. کانی‌سازی عمدتاً به صورت پراکنده و محدود به واحدهای ماسه‌سنگی-مارنی قرمز رنگ با میان‌لایه‌های ضخیم و صخره‌ساز، کنگلومرا با سن ائوسن-الیگوسن و شامل کانی‌های اولیه کالکوپیریت، پیریت و کالکوسیت و کانی‌های ثانویه کولیت، مالاکیت و آزوریت است. با توجه به یافته‌های به دست آمده، کنترل کانی‌سازی در این ماسه‌سنگ‌ها در ارتباط با میزان دگرسانی فلدسپارها، تمرکز رس‌ها و مواد آلی می‌باشد. ماسه‌سنگ‌ها از نوع آرکوز، لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیتارنایت ساب مچور ریزدانه آهن دار، متوسط تا ضخیم لایه و به رنگ قرمز روشن تا خاکستری تیره می‌باشند که در محیط دلتای تحت تاثیر رودخانه و حاشیه فعال نهشته شده‌اند. نتایج به دست آمده گویای آن است که تیپ کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه از نوع کانسارهای مس با میزبانی طبقات قرمز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: چینه‌سان، تربت حیدریه، لایه‌های قرمز رنگ، مس رسوبی.

مقدمه

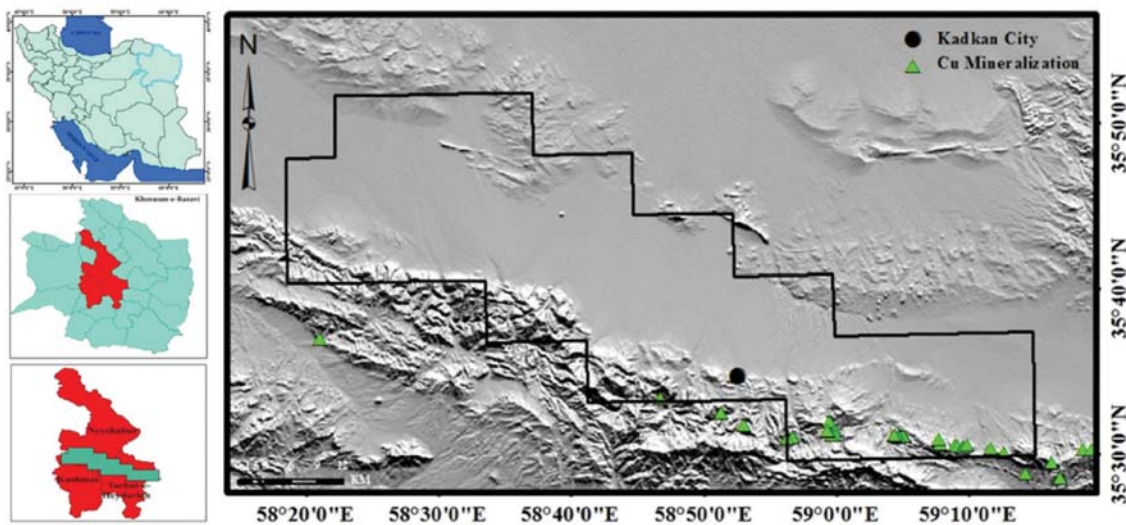
پورفیری هستند. این کانسارها علاوه بر Cu منشا مهمی برای فلزات Ag، Co و در برخی کانسارها Pb، Zn و U نیز می‌باشند و در حوضه‌های دریایی یا دریاچه‌ای بزرگ مقیاس که واحدهای تخییری بلافاصله لایه‌های قرمز^۱ قاره‌ای را می‌پوشانند، تشکیل می‌شوند (Hitzman et al., 2005). توجه به شرایط زمین‌شناسی تشکیل کانسارهای مس با میزبان رسوبی گویای آن است که لایه‌های قرمز (ماسه‌سنگ‌های

محدوده مورد مطالعه در ۱۱۰ کیلومتری جنوب مشهد و ۳۰ کیلومتری شمال تربت حیدریه واقع شده است (شکل ۱). اولین مطالعات صورت گرفته در محدوده مذکور مربوط به اکتشافات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور می‌باشد که رخدادهای کانی‌سازی مس را تأیید کرده است (سپهری‌راد، ۱۳۸۹). کانسارهای مس رسوبی، دومین تولیدکننده مس رسوبی در جهان پس از کانسارهای مس

1. Redbeds

* نویسنده مرتبط: mostafa_esmaily@yahoo.com

۱. ضخامت قابل توجه (بیش از ۵۰۰ متر) لایه‌های قرمز و حضور سنگ‌های ولکانیکی مافیک تا حد واسط قدیمی در نزدیکی طبقات قرمز.
 ۲. ضخامت مناسب واحدهای تبخیری در بالای سکانس رسوبی لایه‌های قرمز.
 ۳. شواهد ساختاری همانند زون‌های گسلی، طاق‌دیس‌ها و فضا‌های مناسب چینه‌شناسی.
 ۴. آثار کانی‌سازی مس در آبراهه‌های قطع‌کننده لایه‌های قرمز.
- قرمز) ضخیم با میان‌لایه‌ها و عدسی‌های ماسه‌سنگی احیایی (خاکستری رنگ) همراه با شرایط ساختی و بافتی مناسب، می‌توانند میزبان این نوع کانی‌سازی‌ها باشد (Cox et al., 2005; Hitzman et al., 2007; Hitzman et al., 2010) وجود چنین شرایطی در حوضه رسوبی کدکن موجب شد تا رخدادهای مس رسوبی در این حوضه رسوبی بررسی شوند. حضور شواهد ذیل که به‌نوعی خود معیار پی‌جویی چنین کانی‌سازی‌هایی نیز هستند، احتمال رخدادهای کانی‌سازی مس رسوبی را در منطقه تقویت می‌کند:



شکل ۱. جایگاه محدوده مورد مطالعه در نقشه ایران، استان خراسان رضوی، شهرستان‌های تربت حیدریه، نیشابور و کاشمر به همراه موقعیت‌های کانه‌زایی‌های مس رسوبی در حوضه رسوبی کدکن

روش مطالعه

۲۷ نمونه جهت آنالیز عناصر اصلی، عناصر فرعی و نادر با روش ICP-MS و ۲۷ نمونه به‌منظور آنالیز اکسیدهای اصلی به روش XRF در آزمایشگاه زرآزما، ۳۵ نمونه برای مطالعه مقاطع نازک و تعداد ۱۵ نمونه نیز جهت تهیه مقاطع صیقلی جمع‌آوری و مطالعه شد (جدول ۱). طی عملیات صحرایی هدف از نمونه‌برداری، شناسایی نوع و عیار حداکثری عناصر همراه با کانی‌سازی بوده و به همین دلیل نمونه‌گیری از بخش‌های پرعیار ماده معدنی صورت گرفته است. با توجه به نوع احتمالی کانی‌سازی، نمونه‌ها برای اکسیدهای اصلی و عناصر Cu-W-Mo-Pb-Zn-Co-Ni-V-Cd-Ag آنالیز شده‌اند.

طی بررسی‌های اولیه صحرایی مشخص شد که افق‌های کانی‌سازی عمدتاً نازک لایه (کمتر از ۰/۵ متر ضخامت)، چینه‌سان و عدسی شکل هستند. تقریباً در تمامی موارد، درون آبراهه‌های منتهی به کانی‌سازی قطعات سنگ میزبان کانی‌سازی با آغشتگی مالاکیت و کمی آزوریت مشاهده می‌شود و با توجه به عدسی بودن فرم کانی‌سازی، تمامی آبراهه‌هایی که تماماً به‌صورت عمودی لایه‌های قرمز را قطع می‌کنند، مورد بررسی و پی‌جویی قرار گرفتند. طی بررسی‌های صحرایی در منطقه مذکور مجموعاً تعداد ۷۷ نمونه شامل ۲۷ نمونه جهت بررسی ژئوشیمیایی و آنالیز عنصری از بخش‌های مرتبط با کانی‌سازی مس رسوبی

جدول ۱. نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت شده از ماسه‌سنگ‌های کانهدار

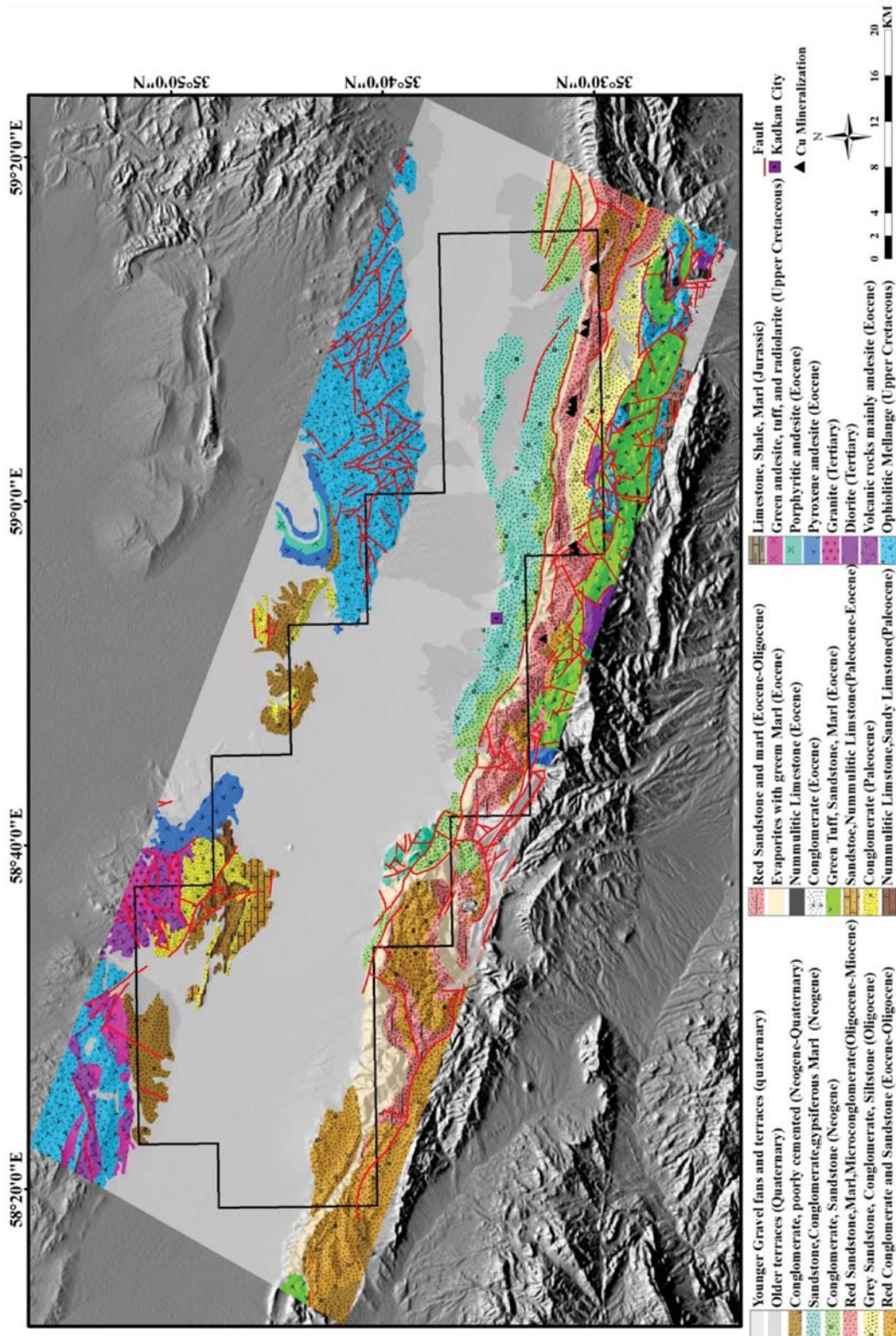
Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ag	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	V	W	Zn
.NO	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
KD-01	47.291	7.741	3.274	12.677	1.358	5.453	1.4	0.519	0.103	0.105	84	0.16	15.9	4.72%	2.1	122	29.1	378	0.5	33.1
KD-02	55.951	8.525	2.127	6.986	1.857	5.259	1.255	0.475	0.051	0.085	280	0.4	12.7	3.87%	0.7	127	46.7	262	0.5	54.5
KD-03	49.759	7.227	3.029	10.998	1.247	7.676	1.339	0.519	0.107	0.095	6.6	0.21	15.3	4.31%	1.5	164	49.4	1420	0.4	63.6
KD-04	49.349	7.419	3.027	9.611	1.05	8.266	1.445	0.568	0.089	0.098	9.7	0.33	15.7	4.79%	2.6	172	28.8	1340	0.4	42.3
KD-05	45.778	7.738	3.223	14.17	1.298	5.86	1.583	0.479	0.122	0.097	30	2.55	14.9	4.09%	2.7	120	49.5	174	0.5	41.8
KD-06	49.232	7.967	3.364	10.417	1.512	6.949	1.324	0.479	0.1	0.089	20	0.27	13.3	4.39%	5.3	126	38.3	333	0.5	37.4
KD-07	55.596	9.789	1.768	14.353	1.87	2.37	1.826	0.498	0.065	0.1	4.9	0.32	13.6	5089	0.5	21	24.3	66	0.8	39
KD-08	54.349	8.866	2.684	5.739	1.632	6.147	1.554	0.546	0.054	0.088	160	1.05	12.6	4.17%	0.9	122	27	481	0.6	31.8
KD-09	54.03	10.057	4.333	10.906	0.97	3.177	2.532	0.607	0.066	0.07	3.6	0.11	12.5	0.71	1.6	73	15.8	122	1.3	54.3
KD-10	44.842	5.221	4.395	18.863	1.103	1.316	0.807	0.366	0.103	0.097	7.4	0.13	10.1	4.34%	2.4	45	17.1	188	0.8	24.7
KD-11	51.105	10.61	5.188	11.021	0.664	3.243	2.771	0.659	0.089	0.066	4.6	0.13	16.5	1.20%	2	43	19.8	164	2.3	54
KD-12	49.745	8.857	3.749	7.931	1.206	7.052	1.348	0.592	0.093	0.096	13	0.05>	14.2	4.85%	3.4	131	21.1	122	0.6	32.3
KD-13	46.999	10.634	4.277	6.428	1.048	6.975	1.415	0.546	0.1	0.092	40	0.05	15.4	5.88%	5.2	142	24.3	143	0.7	33.8
KD-14	51.607	8.986	3.654	4.163	0.957	10.326	1.634	0.637	0.084	0.095	18	0.06	19.6	4.16%	1.7	215	18.9	173	0.6	38
KD-15	47.438	9.469	3.718	7.771	1.205	6.881	1.478	0.625	0.105	0.105	20	0.05>	14.9	5.08%	3	127	23.7	196	0.6	31.8
KD-16	53.193	8.964	2.471	7.573	2.246	1.787	1.801	0.59	0.065	0.149	4.7	0.1	6.7	5.80%	1.5	31	22	2570	0.7	32
KD-17	48.694	8.69	3.352	13.21	1.086	1.864	2.144	0.567	0.087	0.1	24	2.46	15.5	3.62%	2.4	24	71.9	84	1	32.8
KD-18	51.265	9.216	1.713	12.28	1.74	1.856	2.046	0.567	0.065	0.109	510	0.08	6.9	4.12%	1	19	14.1	1120	0.8	29.3
KD-19	52.846	9.347	2.16	5.464	1.585	8.508	1.087	0.544	0.073	0.085	43	0.96	13.7	5.13%	3.3	145	49.3	226	0.4	31.7
KD-20	47.543	10.284	3.083	12.03	1.627	3.633	5.799	0.764	0.079	0.452	2.2	0.21	11.1	1.87%	1.1	56	41.1	233	1.5	32.1
KD-26											100	0.43	13.8	4.30%	1.4	150	153	1890	0.6	158
KD-27											19	0.65	20	4.23%	2.5	91	61.7	126	0.8	44.1

زمین‌شناسی

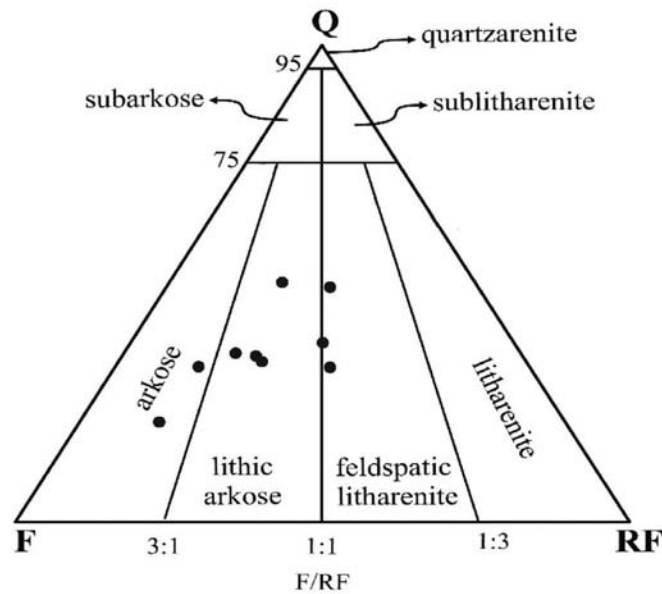
سنگ‌نگاری

مطالعات سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که ماسه‌سنگ‌های ائوسن-الیگوسن در منطقه مورد مطالعه عمدتاً حاوی کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، کلریت، گلوکونیت و خرده‌سنگ می‌باشند. این اجزاء احتمالاً حاصل هوازدگی و تخریب سنگ‌های رسوبی و آذرین مانند دیوریت و توفیت می‌باشند. بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که میزان فلدسپار (پلاژیوکلاز، آلبیت، میکروکیلین و ارتوکلاز)، در این سنگ‌ها بالا است و معمولاً نیمه جور شده هستند. رخساره سنگی این ماسه‌سنگ‌ها بر اساس طبقه‌بندی فولک (Folk, 1980)، در محدوده لیت آرنایت فلدسپار دار، آرکوز لیتیک و آرکوز قرار می‌گیرد (شکل‌های ۳ و ۴).

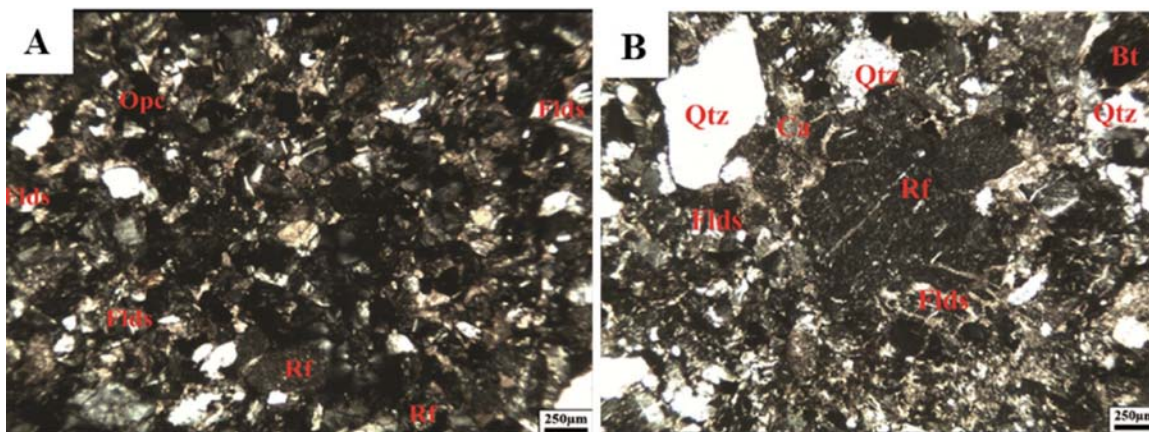
افق‌های کانی‌سازی مس در منطقه مورد مطالعه با روند تقریبی شرقی-غربی در ورقه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تریبت‌حیدریه و کاشمر قرار می‌گیرند (شکل ۲)، (افتخارنژاد و همکاران، ۱۹۷۶؛ واعظی پور، ۱۳۷۰). این افق‌های کانهدار در طبقات قرمز که بخشی از واحدهای ائوسن-الیگوسن (EOlms, EOls EOlc) و الیگوسن (Osms) هستند، واقع می‌شوند. واحد EOlms از تناوب مارن و ماسه‌سنگ تشکیل شده است. واحد EOIS متشکل از ماسه‌سنگ‌های قرمز و مارن، واحد EOIC متشکل از کنگلومراهای قرمز و ماسه‌سنگ و واحد Osms نیز از ماسه‌سنگ‌های خاکستری، کنگلومرا و سیلتستون تشکیل شده است. واحدهای EOIC و Osms به‌عنوان جوان‌ترین واحدهای سنگی، هسته‌های ناودیس را در ساختار زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (برای مثال در محدوده روستای غنچی) تشکیل می‌دهند.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه (نقشه پایه از افتخارنژاد و همکاران، ۱۹۷۶؛ واعظی پور، ۱۳۷۰)



شکل ۳. موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوارتز (Q)، فلدسپات (F) و خرده‌سنگ (RF) (Folk, 1980)



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی ماسه‌سنگ‌ها. (A) آرکوز - آرکوز لیتیک، (B) لیت‌آرنایت فلدسپاردار (نور (Flds)، XPL، فلدسپار، RF: قطعات خرده‌سنگی، Qtz: کوارتز، Ca: کلسیت، Bt: بیوتیت، Opc: کانی اوپک (Kretz, 1983)

نقطه شماری ماسه‌سنگ‌های کانه‌دار

اساس در ماسه‌سنگ‌های کانه‌زایی شده بعد از فلدسپارهای دگرسان شده، به ترتیب بیشترین همبستگی بین عیار مس با مقادیر رس، مواد آلی و فلدسپارهای دگرسان نشده وجود دارد (شکل ۵-B و C). همبستگی نسبتاً بالای مقدار مس با مقادیر مواد آلی و رس به ترتیب احتمالاً به دلیل نقش مواد آلی در ایجاد شرایط احیایی مناسب جهت ته‌نشست فلزات (مس) و نقش رس در جذب سطحی مس می‌باشد.

نتایج نقطه شماری ماسه‌سنگ‌های کانی‌سازی شده در جدول ۲ نشان داده شده است. تقریباً اغلب دانه‌های فلدسپار دگرسان شده‌اند. در نه نمونه مطالعه شده مقادیر بالاتر درصد فلدسپارهای دگرسان شده با مقادیر بالای مس همخوانی دارد و نشان می‌دهد نمونه‌های با مقدار فلدسپار دگرسان شده بیشتر، مقدار مس بالاتری دارند (شکل ۵-A). بر این

جدول ۲. نقطه شماری در نه نمونه از ماسه‌سنگ‌های رخدادهای مس شمال تربت‌حیدریه

نمونه شماره	مقدار مس (%)	نقطه شماری (درصد حجمی)											
		DQ	AQ	FF	AF	Ptr	SC	SR	LF	Mi	Cl	OM	Cal
Kad 3	2.78	35	5	8	17	0.4	2	0.8	24	1.3	3	0.3	3.2
Kad 4	2.98	30	13	5	30	0.8	2.5	2	10	0.8	3.5	0.4	2
Kad 6	2.8	45	14.5	7	10	0.5	1	2	12	0.7	2	0.3	5
Kad 11	4.35	15	15	5	35	0.7	3	2	15	0.8	4	0.5	4
Kad 12	4.73	10	6	25	35	1.7	3.5	2	10	0.5	4	0.3	2
Kad 14	3.32	25	5	10	21	1	3	2	25	0.6	3	0.4	4
Kad 37	4.26	30	10	4	20	0.4	2	0.8	25	1.5	3	0.3	3
Kad 42	5.95	9	4.5	20	50	0.3	4.5	2	2	0.5	5	1.2	1
Kad 43	3.66	40	10	10	13.5	0.5	2.5	2	16	1	2	0.5	2

DQ: کوارتز آواری، AQ: کوارتز درجا، FF: فلدسپار فاقد دگرسانی، AF: فلدسپار دگرسان شده، Ptr: تخلخل، SC: کانی‌های سولفیدی پرکننده حفرات یا تخلخل اولیه، SR: کانی‌های سولفیدی جایگزین دانه‌های آواری یا سیمان دیاژنتیکی، LF: خرده‌سنگ، Mi: میکا، Cl: رس، OM: مواد ارگانیکی، Cal: کلسیت (Kretz, 1983).

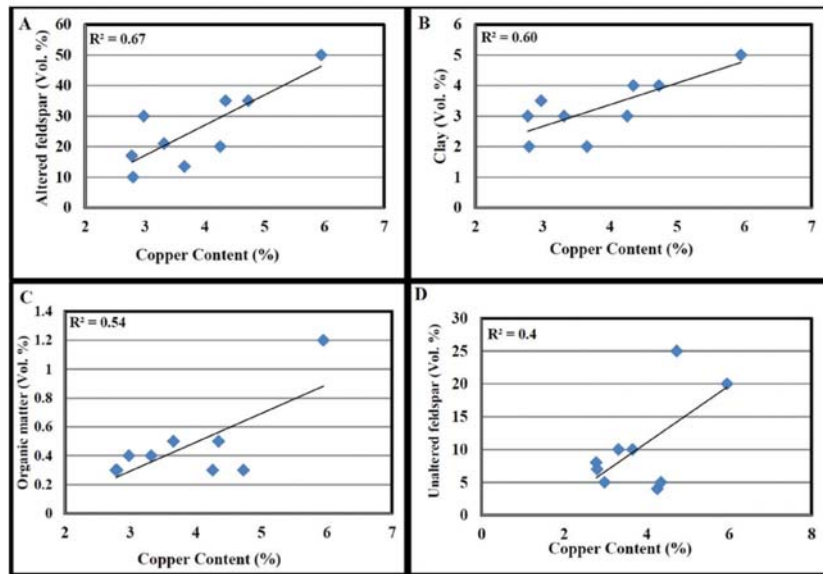
محیط رسوبی

گیاهی تشکیل شده‌اند. رسوبات دلتایی که در آب و هوای نیمه‌خشک رسوب کرده‌اند معمولاً به دلیل تشکیل هماتیت در مراحل اولیه دیاژنز دارای رنگ قرمز هستند.

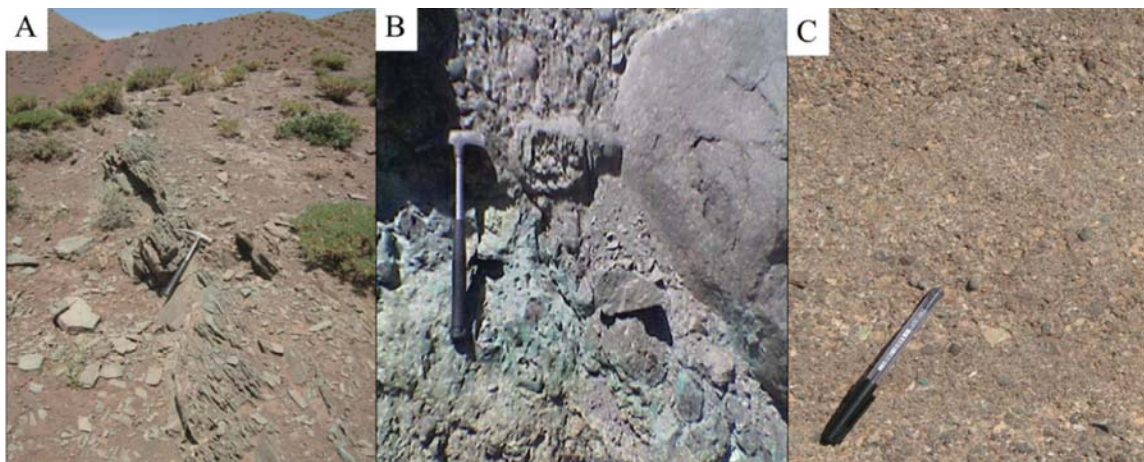
جایگاه تکتونیکی

باتیا و کروک (۱۹۸۶) از نمودار دو متغیره $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در برابر $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ برای تعیین محیط‌های زمین‌ساختی استفاده کرده‌اند (شکل ۷). بر این اساس اکثر نمونه‌ها در محیط حاشیه فعال قاره‌ای، تعداد کمی در حاشه غیرفعال و یک نمونه نیز در محیط زمین‌ساختی کمانی قرار می‌گیرند.

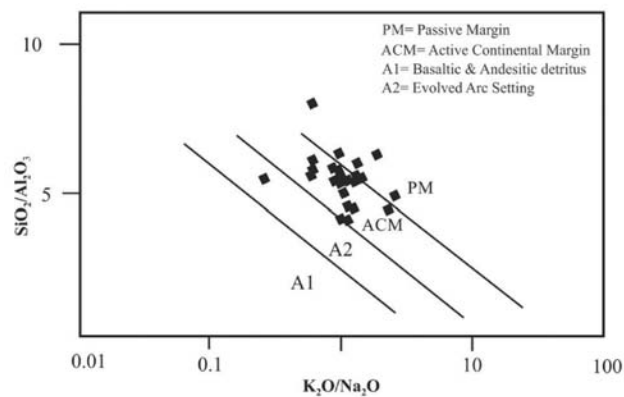
ساختمان‌های رسوبی عمده موجود در منطقه مورد مطالعه شامل لایه‌بندی، لامیناسیون، ریپل‌مارک، طبقه‌بندی تدریجی^۱ و آثار فسیلی می‌باشد. شواهد موجود در منطقه (۱) لیتولوژی منطقه بیشتر ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا می‌باشد، (۲) رنگ قرمز محیط که نشان‌دهنده محیط اکسیدان است، (۳) وجود توالی‌های ریز شونده به سمت بالا، (۴) ساختمان‌های رسوبی موجود، (۵) وجود پیل‌های شیلی در ماسه‌سنگ‌ها و (۶) نوع ماسه‌سنگ‌ها که آرکوز، لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیتارنایت می‌باشد (شکل‌های ۴ و ۶ تا C)، دلالت بر محیط رسوبی دلتای تحت تاثیر رودخانه ماسه سنگ‌های مورد مطالعه دارد. فسیل‌ها در رسوبات دلتایی فراوان نیستند و عمدتاً از مواد



شکل ۵. نمودارهای روابط بین ترکیب ماسه‌سنگ‌های رخدادهای مس شمال تربت‌حیدریه و مقدار مس موجود در آن‌ها بر اساس نقطه شماری. (A) نمودار رابطه بین درصد فلدسپارهای دگرسان شده و مقدار مس، (B) نمودار رابطه بین مقدار رس و مقدار مس، (C) نمودار رابطه بین مقدار مواد آلی و مقدار مس، (D) نمودار رابطه بین درصد فلدسپارهای دگرسان نشده و مقدار مس



شکل ۶. (A) افق ماسه‌سنگ شیلی همراه با کانی‌سازی مس، (B) افق کنگلومرایی مالاکیت‌دار، (C) تکرار توالی ریز شونده



شکل ۷. ترسیم ماسه‌سنگ‌های منطقه کدکن در نمودار دومتغیره $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ در برابر $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (Bhatia and Crook, 1986)

بحث

کانه‌زایی

اصطلاحاً از نوع سبز، سفید یا خاکستری شدن^۴ سنگ‌های دربرگیرنده است. سیالات درون‌سازندی، در مجاورت با مواد آلی، حالت احیایی پیدا می‌کنند و در مسیر عبور خود از سنگ میزبان، در نتیجه واکنش با رسوبات قرمز، موجب این نوع دگرسانی می‌شوند.

طبق بررسی‌های صحرایی تقریباً کمر بالا و پائین افق‌های کانه‌سازی در گستره مورد مطالعه (به جز در مواردی که میزبان کانی‌سازی کنگلومراست) از ماسه‌سنگ‌های خاکستری تیره تا قهوه‌ای تیره تشکیل شده است. نکته جالب در این سنگ‌ها حضور نودول‌های رسی تیره در متن آن‌ها است که در اغلب موارد شسته شده و به صورت حفراتی مشاهده می‌شوند (شکل ۸-B). در این پهنه، اکسیدهای آهن از پیرامون دانه‌ها شسته شده و در نتیجه این پهنه از نظر میزان آهن تهی شدگی نشان می‌دهد. آهن جدا شده یا به صورت پیریت ریزدانه و پراکنده ته‌نشست می‌یابد یا به صورت اکسیدهای آهن سخت شده^۵ در مرز اکسیداسیون- احیا تجمع می‌یابد (Chan et al., 2000; Parry et al., 2004; Thorson, 2004; MacIntyre, 2005).

۳. پهنه احیایی کانه‌زایی شده

مطالعات ژئوشیمیایی و شواهد زمین‌شناسی در بیشتر کانسارهای مس رسوبی نشان می‌دهند که عامل احیاء اولین عامل نهشت سولفید در کانسارهای مس با میزبان رسوبی است. عوامل احیاء در حوضه‌های رسوبی میزبان چنین کانسارهایی شامل مواد آلی، هیدروکربن‌های متحرک یا سولفیدهای از قبل موجود می‌باشد. پیریت دیاژنزی اولیه^۶ در تعدادی از کانسارها یک عامل احیاء آشکار است. عامل احیا می‌تواند توسط تخریب مواد آلی در سیلت سنگ‌ها و شیل کربن‌دار مانند کوپرشیفر و کانسارهای مس زامبیا، مواد حاصل از عملکرد سیانوباکتری‌ها در لامینه‌های کربناته مانند کانسار (Chartrand et al., 1989) Redston و یا

ضخامت متوسط افق‌ها و عدسی‌های حاوی کانه‌زایی مس در طبقات قرمز رنگ در حدود ۴۰ سانتیمتر و گسترش طولی آن‌ها از آخرین نقطه‌ای که کانی‌سازی مس رسوبی در غرب ورقه کدکن مشاهده شده تا انتهای جنوب شرقی ورقه رباط سفید، به حدود ۶۰ کیلومتر می‌رسد. در حالت کلی در اکثر آبراهه‌هایی که به صورت عرضی افق‌های قرمز رنگ را قطع کرده‌اند، آثار کانه‌سازی را می‌توان ردیابی نمود. مشخصات کانی‌سازی در تمامی موارد مشابه یکدیگر بوده و شامل: آثار فسیل‌های گیاهی، حالت غالب مالاکیتی شدن، ماسه‌سنگ‌های خاکستری روشن (احیایی) و چینه‌سان بودن است.

دگرسانی در مرحله دیاژنز و نقش آن در تشکیل پهنه‌های مختلف در افق‌های کانه‌دار

هر یک از افق‌های احیایی کانه‌دار از سه پهنه تشکیل می‌شود که در طی مراحل مختلف دیاژنز اولیه^۱ و پیش از تدفین ژرفی بر اثر پدیده‌های دگرسانی ایجاد شده‌اند، این پهنه‌ها عبارتند از ۱- پهنه قرمز اکسیدان، ۲- پهنه شسته شده و ۳- پهنه احیایی کانه‌زایی شده.

۱. پهنه قرمز اکسیدان^۲

واژه طبقات قرمز به توالی‌های رسوبی اطلاق می‌شود که رنگ قرمز دارند و معمولاً با نسبت‌های متفاوتی از میان لایه‌های خاکستری، خاکستری-سبز، قهوه‌ای یا سیاه همراه هستند و محدوده وسیعی از رخساره‌های محیط‌های رسوبی غیردریایی را شامل می‌شوند. در ورقه کدکن افق‌های کانی‌سازی مس رسوبی تماماً در طبقات قرمز رنگ الیگوسن (Osms) قرار می‌گیرند. این واحد به صورت رخساره آواری از تناوب ماسه‌سنگ، سیلتستون و مارن تشکیل شده است. ماسه‌سنگ‌ها از نوع آرکوز، لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیتارنایت ساب مچور ریزدانه آهن‌دار، متوسط تا ضخیم لایه می‌باشند (شکل ۸).

۲. پهنه شسته شده^۳

بر اساس مطالعات هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) و کاکس و همکاران (۲۰۰۷)، دگرسانی اصلی کانسارهای مس رسوبی

1. Early diagenesis
2. Red Oxidized Zone
3. Bleached Zone
4. Bleaching
5. Consolidated Iron Oxide
6. Mineralized Reduced Zone
7. Pre ore

پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت و نیز کانی‌های غیر سولفیدی مانند مالاکیت مشاهده می‌گردد (شکل ۹-D تا F).

۴. بافت فرامبوئیدال

پیریت به صورت فرامبوئیدال نیز وجود دارد. پیریت فرامبوئیدال نشان‌دهنده تشکیل در مراحل اولیه دیاژنز، پس از شکل‌گیری ژل سولفیدی اولیه بوده که پیریت به صورت فرامبوئیدال از آن تبلور یافته است (Brockley and Love 1973). که در برخی از موارد احتمالاً توسط اکسیدهای آهن جانشین شده است (شکل ۹-G-H).

توالی پاراژنتیکی

بر اساس مطالعات کانه‌نگاری انجام شده مراحل مختلف کانی‌سازی در کانسار مورد مطالعه را می‌توان در مراحل زیر خلاصه کرد (جدول ۳):

۱. مرحله همزمان با نهشته‌گذاری:

مرحله پیش از کانی‌زایی که همزمان با نهشته‌گذاری صورت گرفته است و در این مرحله قلوه‌های دارای کانی‌سازی که دارای قطعات پیریت بوده‌اند نهشته شده‌اند. علاوه بر آن، قطعات آواری هماتیت نیز در این مرحله در بین رسوبات دیده می‌شوند.

۲. مرحله دیاژنز و تکوین دیاژنتیکی

بررسی مجموعه کانی‌شناسی سنگ میزبان کانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که دیاژنز بلافاصله بعد از رسوب‌گذاری دانه‌های تخریبی شروع شده است. بلورهای کالکوپیریت همراه با پیریت در این مرحله تشکیل گردیده‌اند و به تدریج با پیشرفت دیاژنز و ورود سیالات مس‌دار بین چینه‌ای و برخورد با محیط احیایی کانی کالکوسیت تشکیل شده است.

۳. مرحله سوپرژن

با پایان یافتن مرحله کانه‌زایی، به مرور عوامل جوی بر منطقه اثر گذارده و مرحله سوپرژن آغاز شده است. در این مرحله از کانه‌زایی همه سولفیدهای مس مراحل قبلی در معرض فرآیندهای اکسیداسیون قرار گرفته و تبدیل به کولیت و مالاکیت شده‌اند.

خرده‌های چوبی و گیاهی موجود در طبقات قرمز رنگ مانند کانسار (Woodward, 1974) Nacimiento تأمین گشته و در نتیجه شرایط احیایی مناسب جهت ته‌نشست فلزات را فراهم کند. مواد نفتی نیز می‌توانند به عنوان یک عامل احیای متحرک باعث ایجاد شرایط احیایی و رسوب فلزات شوند (مهدوی ۱۳۷۸).

در منطقه مورد مطالعه واحدهای ماسه‌سنگی میزبان مس رسوبی، خاکستری روشن (احیایی)، هم‌روند با طبقات بالا و پایین خود و عمدتاً در قاعده ماسه‌سنگ میزبان، با آثار فسیل‌های گیاهی فراوان همراه با مالاکیت و آزوریت می‌باشند (شکل ۸-C تا L).

کانی‌شناسی

مهمترین کانی‌های مس‌دار موجود در شمال تربت‌حیدریه عبارتند از: کانی‌های اولیه کالکوپیریت و کالکوسیت و کانی ثانویه کولیت و مالاکیت. کانی‌های کولیت - کالکوسیت، فراوان‌ترین کانی‌های سولفیدی موجود در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۹-A تا F). پیریت و کالکوپیریت معمولاً به صورت بلورهای کوچک و انگشت‌شمار و ریزدانه در متن سنگ پراکنده‌اند و مالاکیت نیز به صورت پرکننده فضاهای خالی مشاهده می‌شود (شکل ۹-A-F). انواع بافت‌های کانی‌های مذکور عبارت است از:

۱. بافت دانه پراکنده

بافت چیره در نمونه‌های مورد مطالعه بافت دانه پراکنده می‌باشد. سولفیدهای مس، کانی پیریت و اکسیدهای آهن و همچنین مالاکیت دارای این بافت می‌باشند و در متن بین قطعات آواری پراکنده هستند (شکل ۹-A و B).

۲. بافت پرکننده فضای خالی میان دانه‌ای

این بافت حالت خاصی از بافت دانه پراکنده هست که در آن تمرکز کانی‌های سولفیدی مانند پیریت در پیرامون و فضای بین دانه‌های آواری دیده می‌شود و به آن سیمان میان دانه‌ای نیز گفته می‌شود (شکل ۹-C و D).

۳. بافت جانشینی

بافت اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه بافت جانشینی می‌باشد. به نحوی که در نمونه کانی‌های سولفیدی مانند

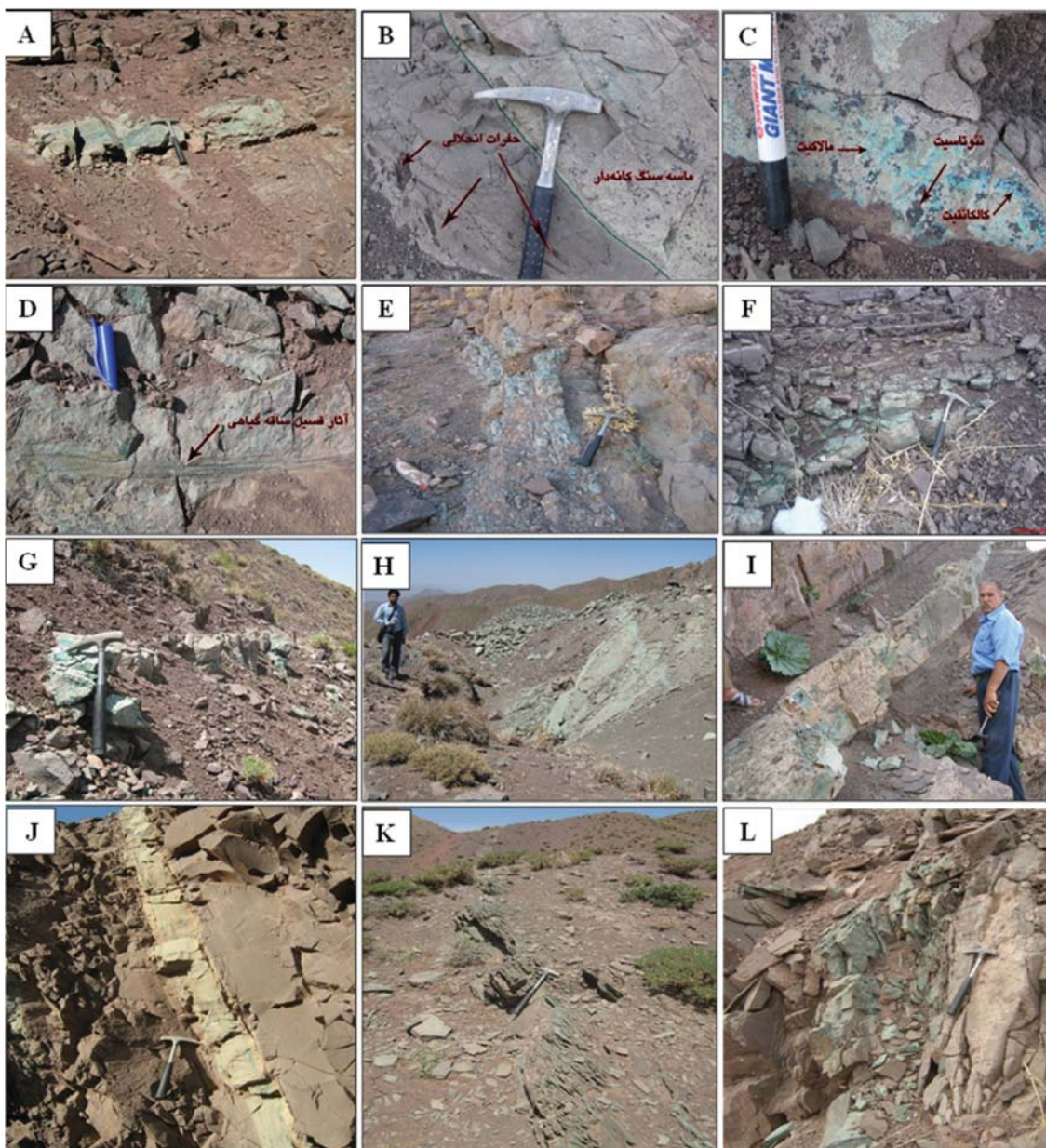
جدول ۳. مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانه‌ها و بافت مربوط به آن‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه

	Pre-Mineralization	Mineralization	Post-Mineralization
	Deposition	Diagenesis	Supergene
Ore mineral			
Iron Hydroxide		██████████	
Pyrite I		██████████	
Pyrite II		██████████	
Chalcopyrite		██████████	
Chalcocite		██████████	
Covelite			██████████
Hematite	██████████		██████████
Malachite			██████████
Azurite			██████████
Texture			
Breccification		██████████	
Replacement		██████████	██████████
Open space filling		██████████	██████████

خاستگاه و نحوه تشکیل

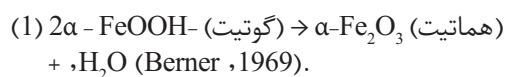
توالی رسوبی-تخریبی کانسارهای مس رسوبی نوع قرمز لایه از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و کمی شیل تشکیل می‌شود (Hitzman et al., 2005; Hitzman et al., 2010). در این کانسارها عامل احیا گستردگی کمتری دارد و غالباً شامل واریزه‌های ارگانیک موجود در ماسه‌سنگ و به مقدار کمتر پیریت می‌باشد. طبق جدول ۴، ۸۵ درصد کانسارهای مس نوع قرمز لایه، دارای سنگ میزبان ماسه‌سنگ و کنگلومرا هستند، درحالی‌که کانسارهای مس نوع رخساره احیایی، دارای سنگ‌های میزبان تخریبی ریزدانه و کم انرژی و کربنات‌ها می‌باشند. در رخداد‌های مس رسوبی شمال تریبت‌حیدریه، سنگ‌های میزبان کانی‌سازی طبقات قرمز رنگ شامل: شیل، ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرا است. ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً شامل لیتارنایت با قطعات لیتیک و لکانیکی می‌باشند. وجود واریزه‌های فسیل‌های گیاهی و احتمالاً حضور پیریت‌های اولیه یا دیاژنتیک به‌عنوان عوامل احیاء کننده محیط، همراه با لایه‌های رسوبی تبخیری به‌عنوان منبع احتمالی تامین کننده کمپلکس‌های کلریدی انتقال دهنده مس و نفوذپذیری سنگ میزبان نقش اساسی در انجام کانی‌سازی مس داشته‌اند. با توجه به نوع کانی‌سازی، منبع تامین کننده مس و سایر عناصر همراه (W-Mo)

Pb-Zn-(U?) احتمالاً قطعات لیتیک تشکیل دهنده ماسه‌سنگ‌ها و میکروکنگلومراهای طبقات قرمز می‌باشد (White, 1968; Brown, 1974; Lustwerk and Rose, 1984; Brown, 1984). لایه‌های قرمز به‌طور معمول حاوی کانی‌های ناپایداری نظیر پیروکسن، بیوتیت، هورنبلند، مگنتیت و فلدسپار می‌باشند که این کانی‌ها دارای مقادیر جزئی از مس هستند (Zielinski et al., 1967; Walker, 1967; Walker, 1989). این کانی‌ها حاوی مقادیر ناچیزی از مس (بیش از ۵۰ ppm) و دیگر فلزات غیر آهنی می‌باشند. در طی دیاژنز اولیه و در اثر تخریب مواد آلی، اسید هومیک ایجاد می‌شود. این اسید موجب تخریب کانی‌های سیلیکاته شده و با جانشینی پلاژیوکلاز توسط فلدسپار پتاسیم در جازا و نیز شسته شدن بیوتیت، عناصر فلزی از شبکه آن‌ها آزاد و توسط هیدروکسیدهای آهن و یا کانی‌های رسی جذب می‌شوند (Brown, 2003). در کانسارهای مس رسوبی، طی فرآیند دیاژنز اولیه، هیدرولیز کانی‌های سیلیکاته مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت موجب آزاد شدن آهن موجود در شبکه آن‌ها به‌صورت هیدروکسید آهن فریک می‌شود که با تجمع در پیرامون دانه‌های آواری، باعث قرمز شدن رسوبات در مراحل اولیه دیاژنز می‌شود (Walker, 1989). در مراحل



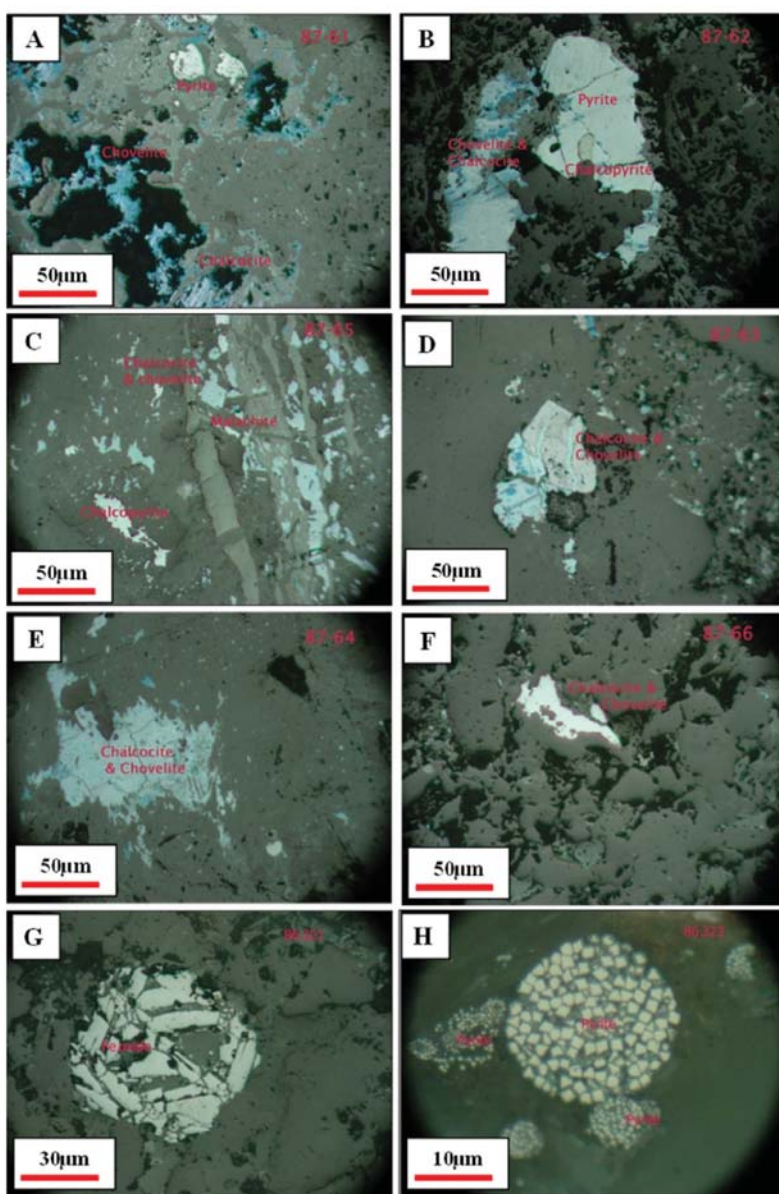
شکل ۸. A) پهنه قرمز اکسیدان به همراه رخنمون افق ماسه‌سنگی کانه‌دار، B) حفرات ناشی از انحلال قطعات رسی در کمر پائین یک افق کانه‌دار، C) کانه‌های قابل مشاهده در رخنمون عدسی ماسه‌سنگی، D) آثار مربوط به ساقه‌های گیاهی در افق‌های کانی‌سازی، E) رخنمون بخشی از قاعده میکروکنگلومرایی کانه‌دار، F) نمایی از رخنمون افق کانه‌دار، G) بخشی از رخنمون افق کانه‌دار، H) رخنمون افق کانه‌دار، I) نمایی از رخنمون لایه ماسه‌سنگی کانه دار، J) رخنمون افق کانه‌دار، K) افق ماسه‌سنگ شیلی همراه با کانی‌سازی مس، L) نمایی از رخنمون لایه ماسه‌سنگی کانه‌دار

مس رسوبی شمال تربت‌حیدریه محتمل باشد.



وجود تخلخل و نفوذپذیری در رسوبات مربوط به سکانس طبقات قرمز، سنگ‌های پوشاننده واحدهای کانه‌دار و

بعدی دیاژنز و طی تبلور و بلوغ هیدروکسیدهای آهن بی‌شکل و تبدیل آن‌ها به هماتیت طبق رابطه ۱ و همچنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت، محتوای فلزی درون این کانی‌ها از جمله مس، آزاد شده و با ورود به سیال اکسیدان انتقال می‌یابند. به نظر می‌رسد رخداد چنین مکانیسمی در تشکیل رخداد‌های



شکل ۹. (A) کالکوسیت، کوولیت و پیریت (نور)، (B) RPPL کالکوسیت، کوولیت، پیریت و کالکوپیریت با بافت پرکننده فضاهای خالی (نور)، (C) RPPL کالکوسیت، کوولیت، پیریت و مالاکیت (پرکننده حفرات) (نور)، (D) RPPL کالکوسیت و کوولیت با بافت پرکننده فضاهای خالی (نور)، (E) RPPL کالکوسیت، کوولیت و پیریت (نور)، (F) RPPL کالکوسیت و کوولیت (نور)، (G) RPPL اکسیدهای آهن که احتمالاً جانشین پیریت‌های فرامبوئیدل شده‌اند (نور)، (H) RPPL پیریت با بافت فرامبوئیدال، نور (RPPL)

حتی بعد از دیاژنز، بایستی حفظ شده و یا در اثر انحلال و یا تکتونیک افزایش یابد تا جریان هیدرولوژیکی لازم فراهم شود (Hitzman et al., 2005; Hitzman et al., 2010).

میزبان رسوبی اهمیت فراوانی دارد. اگر سیستم کانه‌دار بخواهد به صورت هیدرولوژیکی عمل نماید، بایستی طبقات قرمز رنگ نسبت به سنگ‌های اطراف خود نفوذپذیرتر باشند. این حالت برای کانی‌سازی در مراحل دیاژنزی تأخیری تا

جدول ۴. درصد سنگ‌های میزبان انواع سه‌گانه کانی‌سازی مس رسوبی (Cox et al., 2007)

Deposit Type	Number of deposits and occurrences	Sandstone, quartzite, arkose conglomerate	Siltstone, shale clay mudstone	Limstone, dolomite marl	Schist, phyllite, amphibolite marble
Redbed	155	85	12	2.5	1>
Reduced facies	100	29	41	28	2
Revett	31	77	22	0	1>
Unclassified	102	30	20	25	25

کانسارهای مس رسوبی نوع قرمز لایه و جایگاه رخدادهای مس شمال تربت‌حیدریه

کانسارهای مس رسوبی براساس شکل کانسار، محیط‌های رسوب‌گذاری و هم‌چنین بر اساس تفاوت در تناژ و عیار مس، شامل: (۱) Reduced-facies Cu (۲) Redbed Cu و (۳) Revett Cu می‌باشند که در مقدار و میزان تاثیر عوامل احیایی در حین رسوب‌گذاری متفاوت هستند (Cox et al., 2007). هر یک از تیپ‌های سه‌گانه توسط کاکس و همکاران (۲۰۰۷) به صورت مدل‌های جداگانه‌ای بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی، موقعیت تکتونیکی، سنگ میزبان، ساخت-بافت و کانی‌شناسی و موارد دیگر در جدول ۵ تشریح شده است. در این جدول رخدادهای مس رسوبی منطقه مورد مطالعه با این تیپ‌ها مقایسه شده‌اند. طبق این جدول کانی‌سازی مس در شمال تربت‌حیدریه بیشترین شباهت را با کانسارهای مس رسوبی نوع قرمز لایه دارا است.

جدول ۵. مقایسه رخدادهای مس رسوبی شمال تربت‌حیدریه با سایر کانسارهای مس رسوبی

Sediment-hosted stratiform copper deposits				
ویژگی	reduced-facies Cu	Revett Cu	redbed Cu	رخدادهای مس رسوبی شمال تربت‌حیدریه (حوضه رسوبی کدکن)
موقعیت تکتونیکی	الاکوژن یا ریفت درون قاره‌ای	ریفت و به‌طور کلی محیط کششی	ریفت و به‌طور کلی محیط کششی-نواحی دارای گنبد‌های نمکی	حاشیه فعال
محیط ته‌نشست	جزر و مدی	Fan delta حوضه بسته پلایا و محیط‌های ساحلی دیگر	محیط‌های ساحلی و نواحی کم‌عمق	دلتای تحت تاثیر رودخانه
سنگ میزبان	شیل، سیلتستون، کربنات ریفی، شیل دولومیتی	سکانس ضخیم ماسه‌سنگی و به مقدار کمتر سیلتستون و شیل	سکانس تخریبی Redbed شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا	سکانس تخریبی Redbed شامل شیل، ماسه‌سنگ و کنگلومرا
سن	Late neoproterozoic-middle neoproterozoic	Neoproterzoic- late mesozoic -early cenozoic	انوسن- الیگوسن	
ژئومتری	لایه‌ای، عدسی	عدسی - همروند با لایه‌بندی	عدسی - همروند با لایه‌بندی	عدسی - همروند با لایه‌بندی
ساخت و بافت	دانه پراکنده، جانیشینی، لامینه، کلوفرم	دانه پراکنده، جانیشینی	دانه پراکنده، جانیشینی	دانه پراکنده، کلوفرم
کانی‌شناسی غالب	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، دیژنیت، مس طبیعی، پیریت، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، نقره طبیعی، گالن اسفالریت	کالکوسیت، کولیت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی (گالن و اسفالریت)	کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، بورنیت، آزوریت

Sediment-hosted stratiform copper deposits				
ویژگی	reduced-facies Cu	Revett Cu	redbed Cu	رخدادهای مس رسوبی شمال تربت‌حیدریه (حوضه رسوبی کدکن)
دگرسانی	Bleaching شدن	Bleaching	Bleaching	Bleaching
فراوانی عامل احیاء	عامل احیاء گسترده شامل پیریت و algal mat	عامل احیاء گسترده، واریزه های فسیل گیاهی، مواد هیدروکربنی	عامل احیاء گسترده کمی دارد، واریزه های فسیل گیاهی، پیریت	عامل احیاء گسترده کمی دارد، واریزه های فسیل گیاهی، پیریت
منبع تامین کننده مس	رسوبات Redbed طبقات پائین	توالی Redbed	توالی Redbed	لایه های قرمز
عناصر همراه	Co-Ag-Pb-Zn-Ge-Au	Ag-Pb-Zn-(Mo-V-Re)	Ag-Pb-Zn-U-Co	W-Mo-Pb-Zn-(U?)
عامل کنترل کننده	محیط احیا شامل شیل سیاه پیریتی، algal mat سولفید بیوژنیک، نفوذپذیری کم پائین Kupferschiefer	نفوذپذیری لایه‌ها، وجود عامل احیاء و بعضاً گسل خوردگی	نفوذپذیری لایه های ماسه سنگی، وجود واریزه های گیاهی	فسیل گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان
مثال	Zambia deposits Kamoto Cox et al., 2007; Hitzman et al., 2005; Annels, 1989;	Dzhezkazgan Spar Lake Cox et al., 2007; Gablina, 1981; Adkins, 1993; Hayes & Einaudi, 1986.	Nacimiento, Corocoro Woodward et al., 1974; Cox et al., 2007; Thorson, 2005; Avila-Santos, 1990; Flint, 1989.	اندیس های مس شمال تربت‌حیدریه (حوضه رسوبی کدکن)
منابع	Haynes, 1986a & 1986b; Oszczepalski, 1999; Sweeney and Binda., 1989.			تحقیق حاضر

نتیجه‌گیری

لایه‌های رسوبی تبخیری به‌عنوان منبع احتمالی تامین کننده کمپلکس‌های کلریدی انتقال‌دهنده مس، نقش اساسی در انجام کانی‌سازی مس داشته‌اند. با توجه به نوع کانی‌سازی، منشاء تامین کننده مس احتمالاً قطعات لیتیک ماسه‌سنگ‌ها و میکروکنگلومرهای طبقات قرمز می‌باشد.^۱

منابع

- آقناباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۱۹.
- افتخارنژاد، ج. آقناباتی، ع. و حمزه پور، ب.، ۱۹۷۶. نقشه زمین‌شناسی برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سپهری راد، ر.، ۱۳۸۹. گزارش پی‌جویی مس رسوبی

رخدادهای مس رسوبی در شمال تربت‌حیدریه از نوع کانسارهای مس رسوبی با میزبان طبقات قرمز می‌باشد. فرم کانی‌سازی به‌صورت عدسی شکل و چین‌سان بوده و سنگ‌های میزبان کانی‌سازی طبقات قرمز، شامل شیل، ماسه‌سنگ و میکروکنگلومر است. ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً شامل لیتارنایت با قطعات لیتیک ولکانیکی می‌باشد که در محیط دلتای تحت تاثیر رودخانه و حاشیه فعال نهشته شده‌اند. کانی‌سازی عمدتاً به‌صورت پراکنده و محدود به افق‌های میزبان رسوبی است و شامل کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، بورنیت، آزوریت و پیریت می‌باشد. اگرچه عوامل احیایی گسترده کمی دارند اما واریزه‌های فسیل‌های گیاهی و نفوذپذیری سنگ میزبان و احتمالاً حضور پیریت‌های اولیه یا دیازنتیک به‌عنوان عوامل احیاء کننده محیط و وجود

1. Redbed type sediment-hosted copper deposits

- Brown, A.C., 1984. Alternative sources of metals for stratiform copper deposits. *Precambrian Research*, 25, 61-74.
- Brown, A.C., 2003. Redbeds: source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium-vanadium deposits. *Geological Association of Canada*, 4, 121-133.
- 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*, 84, 1281-1310.
- Chartrand, F.M., Brown, A.C., and Kirkham, R.V., 1989. Diagenesis, sulphides, and metal zoning in the Redstone copper deposit, Northwest Territories. In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C. and Kirkham, R.V., (Eds.), *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper, 36, 189-206.
- Cox, D., Lindsey, D.A., Singer, D.A., Moring, B.C., and Diggles, M.F., 2007. *Sediment-Hosted copper Deposits of the world: Deposit Models and Data base*. USGS, Open file Report, 53.
- Flint, S.S., 1989. Sediment-hosted stratabound copper deposits of the Central Ande. In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., (Eds.), *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper, 36, 371-400.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill's Book Store, Austin, Texas 185.
- Gablina, I.F., 1981. New data on formation conditions of the Dzhezkazgan copper deposit in the Kyzylkum Desert. *Geology*, 9, 103-106.
- در محور کدکن-ششتمد (شمال تربت حیدریه). سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲۶.
- مهدوی، ا.، ۱۳۸۷. کانی شناسی و ساخت و بافت افق های کانه دار مس رسوبی مارکشه در شمال غرب راور. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۸.
- واعظی پور، م.ج.، ۱۳۷۰. نقشه زمین شناسی برگه ۱:۲۵۰۰۰۰ تربت حیدریه. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Adkins, A.R., 1993. Geology of the Montanore stratabound Cu-Ag deposit, Lincoln and Sanders Counties, Montana, Montana Bureau of Mines and Geology, Open File Report, 381.
- Annel, A.E., 1989. Ore genesis in the Zambian Copper belt, with particular reference to the northern sector of the Chambishi basin. In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., (Eds.), *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*, Geological Association of Canada, Special Paper, 36, 427-452.
- Avila-Santos, W., 1990. Origin of the copper pres at Corocoro, Bolivia. In: Fontboté, L., Amstutz, G.C., Cardozo, M., Cedillo, E., and Frutos, J., (Eds.), *Statabound Ore Deposits of the Andes*, Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Special Publication, 8, 659-670.
- Berner, R.A., 1969. Goethite stability and origin of red beds. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 35, 267-273.
- Bhatia, M.R., and Crook, K.A.W., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 92, 181-193.
- Brown, A.C., 1974. An epigenetic origin for stratiform Cd-Pb-Zn sulphides in the lower Nonesuch Shale, White Pine, Michigan. *Economic Geology*, 69, 271-274.

- posit. *International Geology Review*, 23, 1303-1311.
- Haynes, D.W., 1986a. Stratiform copper deposits hosted by low-energy sediments: I. Timing of sulfide precipitation- an hypothesis. *Economic Geology*, 81, 250-265.
 - Haynes, D.W., 1986b. Stratiform copper deposits hosted by low-energy sediments nature of source rocks and composition of metal-transporting water. *Economic Geology*, 81, 266-280.
 - Hayes, T.S., and Einaudi, M.T., 1986. Genesis of the Spar Lake strata-bound copper-silver deposit, Montana: Part I. Controls inherited from sedimentation and preore diagenesis. *Economic Geology*, 81, 1899-1931.
 - Hitzman, M.W, Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J., and Selly, D., 2005. The Sediment-Hosted Copper ore System. *Economic Geology*, 100th, 609-642.
 - Hitzman, M.W., Selley, D., and Bull, S., 2010. Formation of Sedimentary Rock-Hosted Stratiform Copper Deposits through Earth History. *Economic Geology*, 105, 627-639.
 - Kretz, R., 1983. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279.
 - Love, L. G., and Brockley, H., 1973. Peripheral radial texture in framboids of polyframboidal pyrite. *Fortschr Miner*, 50, 264-269.
 - Lustwerk, R.L., and Rose A.W., 1983. Source and segregation of transition metals during diagenetic formation of the Redstone stratiform copper deposit, Mackenzie Mountains, Northwest Territories, Canada. *Geological Society of America, Abstracts with Program*, 15, 632.
 - 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, Colorado School of mine, 670.
 - MacIntyre, T.J., Thorson, J.P., and Hitzman, M.W., 2004. Setting the stage for sediment-hosted copper: fault-related hydrocarbon (?) bleaching and copper ore at the Cashin mine, Montrose County, Colorado. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 36, 516.
 - Oszczepalski, S., 1999. Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland. *Mineralium Deposita*, 34, 599-613.
 - Parry, W.T., Chan, M.A. and Beitler, B., 2004. Chemical bleaching indicates fluid flow in sandstone deformation bands. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 88, 175-191.
 - Sweeney, M.A. and Binda, P.L., 1989. The role of diagenesis in the formation of the Konkola Cu-Co orebody of the Zambian Copperbelt, In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., and Kirkham, R.V., (Eds.), *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*. Geological Association of Canada, Special Paper, 36, 499-518.
 - Thorson, J.P., 2004. Paradox Basin sandstone-hosted copper deposits generated by two episodes of basinal fluid expulsion [abst]. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 36, 517.
 - Thorson, J.P., 2005. Lisbon Valley Sediment-Hosted Copper Deposits and Paradox Basin Fluids Field Trip. *Economic Geology, Guidebook Series*, 37.
 - Walker, T.R., 1967. Formation of red beds in modern and ancient deserts. *Geological Society of America Bulletin*, 78, 281-282.
 - Walker, T.R., 1989. Application of diagenetic

netic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits. Geological Association of Canada, Special Paper, 36, 85-96.

- White, D.E., 1968. Environments of generation of some basemetal ore deposits. Economic Geology, 63, 301-335.

- Woodward, L.A., Kaufman, W. H., Schumacher, O.L., and Talbott, L.W, 1974.

Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico. Economic Geology, 69, 108-120.

- Zielinski, A., Bloch, S., and Walker, T.R., 1967. The mobility and distribution of heavy metals during the formation of first cycle red beds. Economic Association of Canada, Special Paper, 36, 710.