کانهزایی مس (- نقره) نوع ''Volcanic Red Bed'' در کانسار کشتمهکی، شمال باختر صفاشهر، پهنه سنندج- سیرجان جنوبی مینا بویری کناری '، ابراهیم راستاد ^۲و نعمتاله رشیدنژاد عمران ^۳

دانشجوی دکترا، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۲ دانشیار، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۳ استادیار، گروه زمینشناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۸

چگيده

U.S. iook

توالی آتشفشانی– رسوبی کرتاسه زیرین در شمال باختر و جنوب خاور صفاشهر (دهبید) در زیرپهنه حاشیهای (Marginal sub-zone) سنندج– سیرجان جنوبی، دربرگیرنده کانسار کشتمهکی و تعدادی اندیس معدنی مس (- نقره) است. کهن ترین رخنمون های سنگی منطقه مربوط به واحدهای شیلی و ماسه سنگی ژوراسیک است که توالی پیشرونده کرتاسه زیرین با کنگلومرای قاعدهای و ماسهسنگ و شیل.های سیلتی بهصورت دگرشیب بر روی آنها قرار گرفته است. کانهزایی مس (– نقره) در سنگ های آذرآواری و گدازههای آتشفشانی به سن کرتاسه زیرین رخ داده است. سنگ دربرگیرنده کانهزایی، کریستال لیتیک توف با ترکیب تراکی آندزیت– آندزیت است که ماده معدنی در آن به صورت چینه کران و عدسی شکل تا ۳۵ کیلومتر، به طور ناپیوسته ادامه یافته است. سنگ های آذرآواری و گدازههای آتشفشانی به طور جانبی و در جهت قائم به طور تدريجي به سنگ هاي كربناتي اربيتولين دار تغيير رخساره مي دهند. كاني شناسي ماده معدني به طور چيره شامل كالكوسيت، بورنيت، مس طبيعي، ديژنيت، كالكوبيريت، پيريت، کلاستهالیت نقرهدار، کوولیت، آنیلیت، مالاکیت و آزوریت است. بافت کانه به صورت پرکننده فضای خالی، رگه- رگچهای، جانشینی، دانه پراکنده و لامینهمانند است. مطالعات ليتوژ نوشيميايي در ۶ ستون سنگ چينه اي از شمال باختر تا جنوب خاور صفاشهر، نشان از رخداد كانه زايي مس (- نقره) در يك موقعيت چينه شناسي خاص و همبستگي مثبت آن با عنصر روی است. بررسی های سنگ شناسی، کانی شناسی، لیتوژئو شیمیایی و مطالعات میکروسکوپی نشان از آن دارد که مس در ابتدا همراه با فعالیت آتشفشانی در توالی آتشفشانی- آذرآواری رخ داده است (جذب مس توسط هیدروکسید فریک، کانیهای رسی و جایگزینی در شبکه فلدسپارها) و سپس در طی دیاژنز تدفینی (Burial diagenesis)، بر اثر آبزدایی رسوبات تخریبی و آذرآواری و تشکیل سیالهای گرمابی و دگرسانی ناشی از این سیالها، مس آزاد شده و از طریق سیالها حمل شده تا به واحد سنگی با نفوذپذیری زیاد (کریستال لیتیک توف) و دارای شرایط احیایی با حضور بلورهای پیریت رسیده و در آنجا به صورت کانیهای سولفیدی مس، جانشین پیریتهای تشکیل شده در مرحله دیاژنز اولیه شدهاند. نتایج حاصل از تجزیه ایزوتوپی گوگرد گویای آن است که گوگرد مورد نیاز برای تشکیل سولفیدها از طریق احیای سولفات آب دریا تأمین شده است. ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی و آذرآواری، نشان از تشکیل آنها در محیط کافت درون کمان آتشفشانی است. با توجه به مجموعه مطالعات انجام گرفته و با استناد به شواهد مختلف از جمله محیط زمین ساختی، سنگ دربر گیرنده، ژئومتری عدسی ماده معدنی، ساخت و بافت و پاراژنز (همبود) کانی شناسی و مقایسه آنها با ذخایر مس Volcanic Red Bed (VRB) می توان کانسار کشت مهکی و اندیس های معدنی مس (- نقره) پیرامون آن را در رده ذخایر VRB در نظر گرفت که از مرحله فعالیت آتشفشانی زیردریایی تا مرحله تدفین ژرفایی، تشکیل و تمرکز یافتهاند.

کلیدواژهها: توالی پیشرونده، آتشفشانی- رسوبی، کرتاسه زیرین، کانسار مس (- نقره)، تیپ VRB، کشتمهکی، پهنه سنندج- سیرجان جنوبی، صفاشهر، فارس. ***نویسنده مسئول:** ابراهیم راستاد

1- پیش گفتار

ذخاير مس رسوبي- دياژنزي شامل ذخاير كوپفرشيفر، Red Bed و Volcanic Red Bed هستند (Kirkham, 1996 a,b). این ذخایر معمولاً محتوی بیش از یک میلیون تن مس هستند که مس در آنها به صورت سولفید مس و یا مس طبیعی دیده می شود (Lydon, 2007). ذخایر مس نوع VRB ممکن است همانند آنچه در کوئیناو میشیگان دیده میشود، ارزش اقتصادی بسیار بالایی داشته باشند (White, 1968). این ذخایر در میشیگان، در سالهای ۱۸۴۵ تا ۱۹۶۸، اصلی ترین منبع تأمین کننده مس بوده و حدود ۵ میلیون تن مس از این نوع ذخایر استحصال شده است (Kirkham, 1996a). در شیلی، ذخایر چینه کران مس، دومین تولید کننده اصلی مس پس از ذخایر پورفیری هستند (Wilson et al., 2003b). ذخایر شیلی در کمربندی با جهت شمالی- جنوبی در حدود ۲۰۰ کیلومتر گسترش دارند و ذخایر زیادی با سن ژوراسیک پسین– کرتاسه زیرین بر روی این کمربند قرار میگیرند. ذخیره تالکونا در شیلی، دارای تناژ ۱۵ میلیون تن مس با عیار ۱ درصد و نقره با عیار ۲۰ گرم بر تن است (Oyarzun et al., 1998). به طور کلی، ذخایر VRB در محیط های Kirkham, 1996b) sub-aerial) تا محیط های دریایی کمژرفا و همراه با میانلایه های Red Bed تشکیل می شوند (Lefebure & Church, 1996). یکی از انواع ذخایر مس دنیا که در ایران کمتر گزارش شده است، ذخایر نوع (Volcanic Red Bed (VRB می باشد.

پهنه دگر گونی – ماگمایی سنندج سیر جان با روند شمال باختر – جنوب خاور جزو بخش درونی کوهزاد زاگرس در نظر گرفته شده است (Mohajjel, 1997; Alavi, 1994). در این پهنه ذخایر مهمی از جمله ذخایر طلای کوهزایی (Aliyari et al., 2007, 2009)، ذخایر طلای نوع اپی تر مال (Daliran, 2008) طلای کارلین (Mehrabi et al., 1999)، ذخایر سولفید توده ای (WMS) (Obaisvand et al., 2007, 2010)، ذخایر سرب و روی با میزبان میزبانی (Mousivand et al., 2007, 2010)، ذخایر سرب و روی با میزبان کربناتی (Ehya et al., 2009)، ذخایر آهن (توکلی، ۱۳۸۴؛ متولی، ۱۳۸۴؛ کاظمی و همکاران، گزارش شده است.

بررسی های صورت گرفته در بخش جنوبی این پهنه در گستره ای میان کشتمهکی و سیمکان از شمال باختر تا جنوب خاور صفاشهر (دهبید) در ۲۰۰ کیلومتری شمال خاور شیراز، نشان دهنده رخداد کانه زایی مس (- نقره) در طول حدود ۳۵ کیلومتر، به صورت ناپیوسته است (شکل های ۱ و ۲). کانسار چینه کران مس (- نقره) کشت مهکی و اندیس های معدنی کله ریزه، شمال خاور حسن آباد، خاور حسن آباد، خورجان و سیمکان با مختصات جغرافیایی "۵۷ '۰۰ ۵۳ طول خاوری و "۹۰ '۴۳ °۳۰ عرض شمالی در ۲۵ کیلومتری شمال باختر – جنوب خاور صفاشهر قرار دارند (شکل ۲).

اللي المراجع ممالي مراجع ملي مراجع ملي مراجع مل

این کانسار و اندیس های معدنی مس، در واحد آتشفشانی - رسوبی کرتاسه زیرین (Kv) رخ دادهاند (شکل های ۳ و ۴). پیشینه اکتشافی این کانسار به سال ۱۳۷۷ باز می گردد. زمانی که سامانی، پس از گزارش رخداد کانهزایی مس در منطقه، عیار آن را در کانسار کشت مهکی ۱۲/۰ تا ۱۵/۱ درصد بر آورد کرده است (سامانی، ۱۳۷۷). مقصودی و یونسی (۱۳۸۸) پس از بررسی ژئوشیمی ورقه ۱۱۰۰۰۰۰ دهبید، موقعیت کانهزایی را مشخص و عیار مس را با توجه به یافته های جدید در مورد کانی سازی، حدود ۱ درصد بر آورد کردهاند. پس از آن شهپری (۱۳۸۸) بر پایه مطالعه مغزه های چهار گمانه اکتشافی، کانهزایی کانسار کشت مهکی را از نوع سولفید تودهای نوع کورو کو معرفی کردهاند.

این پژوهش افزون بر بررسی ویژگیها و سیماهای شاخص کانه زایی مس در کانسار کشت مهکی و مطالعه رخداد کانه زایی در طول ۳۵ کیلومتر در اندیس های معدنی مختلف، ار تباط کانه زایی با سنگ های آتشفشانی – آذر آواری (واحد K۷) را مشخص و "نوع" آن را با توجه به داده های به دست آمده، (VOlcanic Red Bed (VRB) معرفی کرده است. همچنین با توجه به قرار گیری کانسار کشت مهکی در زیر پهنه حاشیه ای کرده است. (Marginal Sub-Zone) پهنه سنندج – سیر جان جنوبی (شکل ۱) و گسترش واحد VA در این زیر پهنه، بر پی جویی و اکتشاف رخدادهای مشابه مس در این زیر پهنه تأکید می گردد.

۲- روش مطالعه

پس از گردآوری و ارزیابی اطلاعات پیشین در رابطه با کانسار کشتمهکی، بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی به صورت زیر انجام گرفته است: - مطالعات صحرایی بهمنظور تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰ و نقشه زمین شناسی-معدنی ۱:۲۰۰۰

- پیمایش در طول ۶ ستون سنگچینهای و لیتوژئوشیمیایی و نمونهبرداری از رخسارههای سنگی و افق معدنی.

 مطالعه مقاطع میکروسکوپی نمونه های ستون های لیتوژ نوشیمیایی و سنگ چینه ای برای شناخت تغییرات افق های کانه دار و غیر کانه دار و ار تباط آنها با یکدیگر.

 تهیه ۳۵ مقطع نازک و ۲۲ مقطع نازک – صیقلی برای مطالعه بافت و ساخت،
کانی شناسی و بررسی توالی همبود کانه ها و مطالعه ارتباط کانه ها با کانی های سنگ ساز.

- تجزیه ۱۱ نمونه به روش XRF و روش ICP-MS و ICP-AES در آزمایشگاه
- محزیه ۱۱ نمونه به روش XRD در آزمایشگاه دانشگاه دانشگاه
- New Brunswick کانادا و ۷ نمونه به روش XRF در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و تجزیه ۱۹ نمونه به روش ICP-AES در سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای مطالعه ژئوشیمی عناصر خاکی کمیاب.

- تجزیه EPMA نقطه در آزمایشگاه دانشگاه EPMA تجزیه Clausthal آلمان و بررسی کانی شناسی ماده معدنی.

- تجزیه ۶ نمونه کانی سولفیدی مس برای بررسی تغییرات ایزوتوپی گوگرد در دانشگاه آریزونای آمریکا.

3- زمینشناسی

پهنه سنندج-سیرجان توسط (2003) Mohajjel et al. از جنوب باختر به شمال خاور به ۵ زیرپهنه رادیولاریتی، سنگ آهک های بیستون، مجموعه افیولیتی، زیرپهنه حاشیه ای و زیرپهنه با دگرشکلی پیچیده تقسیم شده است (شکل ۱) که به ترتیب متشکل از رسوبات دریایی ژرف مزوزوییک، کربنات های دریایی کمژرفا، پوسته اقیانوسی توسی کمان آتشفشانی و توالی دگرشکل شده پالئوزوییک پسین- مزوزوییک هستند. زیرپهنه حاشیه ای توسط سنگهای آتشفشانی- آذرآواری به سن ژوراسیک

پسین - کرتاسه زیرین و میانلایه هایی از رسوبات دریایی کم ژرفا مشخص می شود. کانسار مس (- نقره) کشتمهکی نیز در این جایگاه زمین ساختی، طی دوره ای از فعالیت های زمین ساختی که شامل فعالیت های آتشفشانی - آذر آواری همزمان با نهشته شدن واحدهای کربناتی اربیتولین دار کرتاسه زیرین بوده است، در یک حوضه دریایی کم ژرفا، تشکیل شده است (شکل ۱). اصلی ترین سیمای ساختاری در منطقه کشت مهکی، تاقدیسی با روند سطح محوری شمال باختر - جنوب خاور است که گسل ها و شکستگی های با روند شمال باختر - جنوب خاور و گاه شمال خاور - جنوب باختر، سبب جابه جایی واحدهای سنگی در آن شده اند (شکل ۳).

بر پایه مطالعات سنگ شناسی و چینه شناسی انجام شده، در منطقه کشت مهکی گستره وسیعی از توالی واحدهای آتشفشانی، آتشفشانی– رسوبی و رسوبی به سن کرتاسه زیرین رخنمون دارند. در این توالی ابتدا واحد ماسهسنگ توفی و سپس بر روی آن مجموعهای از سنگهای تخریبی متشکل از وکستون سیلتی و شیل سیلتی قرار گرفته است. روی این مجموعه، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری قرار می گیرند که توسط شهیدی و طراز (۱۳۶۹) به عنوان واحد Kv نامگذاری شده است (شکل ۲). ترکیب سنگهای آتشفشانی از بازالت تا آندزیت تغییر می کند. بیشترین حجم سنگهای رخنمون یافته در منطقه کشتمهکی، سنگهای آذر آواری متشکل از کریستال لیتیک توف با ترکیب تراکی آندزیت- آندزیت است که فرسایش شدیدی را متحمل شده و با ریخت هموار و کم شیب، برونزد دارد (شکل ۳)، در حالی که سنگهای آتشفشانی، ریختشناسی مرتفع دارند. توالی یادشده توسط واحد كربناتي ناز كلايه كرتاسه زيرين پوشيده مي شود. سنگآهكهاي ناز كلايه بهطور جانبی و بهصورت میانلایهای به واحدهای آذرآواری تغییر رخساره میدهند (شکل ۳). ستبرای واحدهای کربناتی در نزدیکی سیمکان حدود ۴۲۸ متر (پروانهنژادشیرازی و شهیدا، ۱۳۸۱) بوده، در حالی که در بخش شمال باختری و در منطقه کشتمهکی به حدود ۲۰ متر میرسد (شکل ۴). ستبرای بخشهای آتشفشانی و آذرآواری به سمت شمال باختر افزایش یافته و به ۱۲۰–۱۰۰ متر میرسد. تغییر رخساره جانبی واحد Kv به واحد آهکی توسط برداشت ۶ مقطع سنگچینهای، از شمال باختر تا جنوب خاور صفاشهر، كاملاً مورد مطالعه قرار گرفته است (شكل ۴). در بالای واحد آذرآواری و در محل تبدیل آن به واحد کربناتی، رخساره سنگی آذرآواری- کربناتی دیده میشود که بیانگر آن است که این واحد، از دو منبع آتشفشانی و رسوبی، تغذیه شده است که در بخش های بالایی، به رخساره کاملاً کربناتی تبدیل میشود. وجود مقادیر زیادی از توفها و سنگهای آتشفشانی با ترکیب بازالتی تا داسیتی و سنگهای رسویی تخریبی و کربناتی کمژرفا در توالی آتشفشانی-رسوبی کشتمهکی، نشاندهنده حضور یک حوضه کافتی درون کمانی است (بویری کناری، ۱۳۸۹).

۴- کانهزایی و رخساره کانهدار

کانهزایی مس (- نقره) با ژئومتری عدسی شکل و چینه کران درون واحد کریستال لیتیک توف و به صورت همروند و همخوان با لایه بندی دیده می شود (شکل ۵). بررسی ها نشان می دهد که عدسی های کانه دار با ابعاد مختلف در واحد آذر آواری قرار دارند. بزرگترین این عدسی های کانه دار با ابعاد حدود ۲۰ متر طول و ۲ متر ستبرا، در کانسار کشتمه کی دیده می شود. دیگر عدسی های کانه دار کوچک ترند و با طول ۶-۵ متر و ستبرای ۲۰۰۰ - ۵۰ سانتی متر قابل پیگیری هستند. از ویژگی های این عدسی ها می توان به محدود بودن آنها به واحد کریستال لیتیک توف (Kt) اشاره کرد (شکل ۵). بخش های رگه- رگیحه ای سیلیسی دارای کانه زایی سولفیدی مس نیز درون این عدسی ها روی داده اند (شکل ۶). مشاهداتی چون محدود بودن رگه-رگچه های سیلیسی کانه دار به واحد توفی و ادامه نداشتن آن در واحدهای کمربالا و کمرپایین (شکل های ۵ و ۶)، نظریه سیال های ماگمایی - گرمابی را مورد سوال

قرار داده و نقش محیط رسوبی، رخساره سنگ درونگیر و تغذیه دیازنزی رگهها از عدسیهای کانهدار را به طور کامل آشکار میسازد. موقعیت فضایی کارهای پیشین صورت گرفته در قالب ترانشههای اکتشافی و همچنین برداشتهای دقیق روی زمین نشان می دهد که عدسیهای کانهدار هم روند با لایه بندی، بیشترین مکان برای فعالیتهای معدنکاری بودهاند. قطعات سنگی موجود در واحد کریستال لیتیک توف دارای ترکیب تراکیتی – داسیتی هستند. درشت بلورها، خودشکل تا نیمه خودشکل بوده و شامل ارتوز، پلاژیو کلاز و کوارتز هستند که در زمینهای ریزبلور از کوارتز، ارتوز، آلبیت و اکسید آهن (هماتیت) قرار گرفته اند. کمربالای واحد کانهدار بیشتر واحدهای کربناتی نازکلیه (K1) و کمرپایین آن، واحدهای آتشفشانی تراکیتی ۳ – ۱/۵ و طول ۲۵ – ۳ متر دارند که به طور جانبی به رخسارههای کربناتی نازکلایه (K1) تغییر می یابند (شکل های ۳ و ۴).

۵- دگرسانی

به طور کلی، دگرسانی های رخداده در منطقه معدنی کشت مهکی را می توان در دو گروه اصلی دستهبندی کرد: دگرسانی پروپیلیتی که مرتبط با خروج سنگهای آتشفشانی در محیط دریایی و ظهور دگرسانی کلریتی، اپیدوتی، کلسیتی و اکسیدی آهن گسترده است که در اثر واکنش با آب دریا ایجاد شده است و دیگری، دگرسانی ناشی از فعالیت سیالهای کانهساز است که به موجب آن، شورابههای حوضهای در اثر افزایش ژرفا در مرحله دیاژنز تدفینی (Deep Burial)، دارای ویژگی های سیالهای گرمایی گشته و موجب دگرسانی در واحدهای آتشفشانی– رسویی و از جمله واحد آذر آواری شدهاند. این دگرسانی به صورت کانی های کوارتز، کلسیت، اپيدوت، سريسيت، کلريت، زئوليت، هماتيت و آلبيت در منطقه نمود دارد. کانه زايي ارتباطی بسیار نزدیک با این دگرسانیها به ویژه در واحد آذرآواری با نفوذپذیری بالا دارد (شکل ۷). حضور زئولیت در سنگهای رسوبی، می تواند بیانگر رخداد تدفين در حوضه رسوبي باشد كه در اثر دگرساني فلدسيارها ايجاد مي شود. در كانسار کشتمهکی نیز زئولیت یکی از کانیهایی است که در اثر دگرسانی (شکل ۷ – ه) و در مرحله دیاژنز تدفینی تشکیل شده است. کوارتز به صورت رگه-رگچهای، پرکننده فضاي خالي و دانه پر اکنده روي داده و بيشترين حجم د گرساني را به خود اختصاص داده است. دگرسانی کلسیتی بیشتر شامل تشکیل کانی های کلسیت و پس از آن، ایبدوت و اسفن بوده و به صورت رگه- رگچهای و دانه پراکنده در مقاطع میکروسکوپی دیده میشود. زمینه سنگ بیشتر از کوارتز، ارتوز، آلبیت و اکسید آهن (هماتیت) ریزبلور تشكيل يافته است كه پورفيرهاي ارتوز و پلاژيو كلاز آنها را همراهي مي كنند (شكل ۷). سیلیسی شدن و کربناتی شدن، از عمدهترین و معمول ترین دگرسانی ها در کانسارهای مس نوع Cabral & Beaudoin, 2007) Volcanic Red Bed) و کانسارهای مس نوع Manto هستند (Kojima et al., 2007).

6- ساخت و بافت و کانیشناسی

ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار کشتمهکی و اندیس های معدنی اطراف آن به صورت بافت های پرکننده فضای خالی، رگه- رگچهای، جانشینی، دانه پراکنده و لامینهمانند است.

بافت پرکننده فضای خالی: این بافت که بافت چیره دربردارنده ماده معدنی (مس- نقره) است، فضاهای خالی و تخلخل ناشی از فرایندهای دیاژنزی را پر کرده است. از آنجا که یکی از اصلی ترین مراحل فرایندهای دیاژنزی انحلال است، فرایند یادشده فضاهای خالی زیادی را در سنگ ایجاد کرده است که این فضاها مکان مناسب برای تمریز مواد معدنی شدهاند (شکل ۸). در این بافت انواع سولفیدهای مس مانند کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت و مس طبیعی دیده می شود

(شکلهای ۸ و ۹). در بیشتر مقاطع میکروسکوپی مورد مطالعه، کالکوپیریت و بورنیت به صورت همرشد رخ دادهاند (شکل ۸ – د).

بافت رگه- رگچهای: یکی از عمده ترین سیماهای مواد معدنی در بخش کانه دار، حضور آنها به صورت رگه- رگچهای است که ابعاد آنها از میلیمتر تا سانتیمتر و متر متغیر است. رگهها عمدتاً کانی شناسی ساده داشته و متشکل از کانیهای کوارتز، کلسیت و سریسیت (حاصل از دگرسانی گرمابی) به همراه کانهزایی سولفیدی مس هستند. این بافت، در کانسار کشتمهکی و در همه اندیس.های معدنی دیده میشود. کانیشناسی رگه- رگچهها کاملاً همانند با کانیهای موجود در متن سنگ (کانی.های دارای بافت لامینهمانند و دانهپراکنده) بوده و به نظر میرسد که این رگه- رگچهها، از نوعی هستند که در موقع سنگ شدگی (دياژنز) شکل گرفتهاند، زيرا عموماً محدود به رخساره کريستال ليتيک توف هستند (شکل ۴). رگهها از نظر ریختشناسی، ظاهر مسطح تا انحنادار و سینوسی دارند. کانی های کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی و کالکوپیریت از عمده ترین کانی هایی هستند که در این نوع بافت دیده می شوند (شکل ۹). این نوع رگه- رگچه ها با همین کانیشناسی و همین ترکیب سولفیدی در کانسارهای مس مرکز شیلی (Carrillo-Rosua et al., 2003)، شمال شیلی (Espinoza et al., 1996)، ذخایر مس موجود در بازالتهای پرمین اسلواکی (Ferenc & Rojkovic, 2001) و ذخایر مس نوع Kirkham, 1996b) VRB) نيز گزارش شدهاند. جالب توجه است که مس طبيعي نیز به همراه دیگر کانیهای اصلی سولفیدی (بورنیت و کالکوسیت) به صورت پرکننده فضای خالی و رگه- رگچهای در واحد کریستال لیتیک توف میزبان کانەزايى دىدە مىشود (شكل ۹- ج).

بافت جانشینی: در این بافت، پیریت هایی که در مرحله دیاژنز آغازین تشکیل شده اند، در مرحله دیاژنز تدفینی، توسط سولفیدهای مس جانشین شده اند (شکل ۱۰). جانشین شدن پیریت توسط کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت را به خوبی می توان توسط حضور زبانه ها و یا دنباله هایی از سولفیدهای مس در باقیمانده های بلورهای پیریت دید (شکل ۱۰). این بافت نشان دهنده آن است که ابتدا پیریت در مرحله دیاژنز آغازین تشکیل شده و سپس در مرحله دیاژنز تدفینی، توسط سولفیدهای مس جانشین شده است. بافت جانشینی در کانی های سولفیدی مرحله برون زاد (سوپرژن) نیز به خوبی دیده می شوند. کانی های سولفیدی ثانویه مانند کالکوسیت ثانویه، کالکوپیریت، آنیلیت و کولیت، از اطراف جانشین کانی های سولفیدی اولیه مانند کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت شده اند (شکل های ۸ و ۹ – الف). کانی کو ولیت در برخی بلورها، جانشین تینه های کالکوپیریت شده است. کانی آنیلیت به صورت بافت جانشینی و تنها در کانسار کشت مه کی دیده می شود. کانی یادشده به رنگ زیتونی – قهوهای، در حاشیه دیژنیت دیده می شود و هیچ گونه حاشیه جانشینی با کانی های کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت ندار (شکل ۸ – د).

بافت لامینهمانند: یکی از بافتهایی که می تواند شرایط رسوبی- دیاژنزی اولیه را نشان دهد، بافت لامینه است. در کانسار کشتمهکی، کانی کالکوپیریت به صورت لامینهمانند دیده می شود (شکل ۹- د). کالکوپیریت در مراحل بعدی و در طی هوازدگی به گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است. بافت لامینهمانند در ذخایر شمال شیلی که از نوع Manto هستند نیز گزارش شده است (Kojima et al., 2007). این بافت در اثر فشارهای ناشی از وزن لایههای بالایی در طی دیاژنز تدفینی، حالت منحنیمانند و سینوسی به خود گرفته است (شکل ۹-د).

بافت دانه پراکنده: این بافت تنها در کانسار کشت مهکی و در متن واحد آذر آواری دیده می شود. در کانسار مس کشت مهکی، کالکوسیت اولیه به صورت دانه پراکنده در زمینه سنگ میزبان دیده می شود. پیریت های جانشین نشده توسط سیال های مس دار در کانسار نیز به صورت نیمه خود شکل تا بی شکل و به شکل دانه پراکنده دیده می شوند. بافت دانه پراکنده سولفید های مس در ذخیره

اللي المحالي محالي م

Ramirez et al., 2006b) Mantos Blancos ،(Wilton & Sinclair, 1988) Sustut و کانسارهای مرکز و شمال شیلی (;Espinonza et al., 1996) igual, 2003 (Carillo-Rousa et al., 2003) نیز گزارش شده است.

۷- ژئوشیمی سنگهای آتشفشانی و آذرآواری و محیط زمینساختی

به منظور بررسی و ثبت تغییرات عناصر اصلی، فرعی و کمیاب، واحدهای مختلف سنگی پس از مطالعه مقاطع میکروسکویی، ۵ نمونه از سنگهای کمربالا و کمرپایین (گدازههای تراکیتی- تراکی آندزیتی) و ۶ نمونه از سنگ میزبان کانهزایی (کریستال لیتیک توف) انتخاب و پس از خردایش توسط سنگ شکن آگاتی، به آزمایشگاه ALS-Chemex در ونكوور كانادا براي انجام تجزيه هاي ICP-AES ، XRF و ICP-MS ارسال شد. نتایج ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در نرمافزارهای مختلف مورد تجزیه و تحلیل آماری زمین شناسی قرار گرفت. بر مبنای این نتایج، گدازه ها در نمودار سیلیس در برابر قلیاییها (Irvin & Baragar, 1971)، در دو محدوده آلکالن و سابآلکالن و توفها بیشتر در قلمرو سابآلکالن قرار دارند (شکل AFM الف)، برخی از نمونه ها نیز ماهیت تحولی دارند. همچنین بر پایه نمودار AFM (Irvin & Baragar, 1971)، بيشتر نمونهها در محدوده كالك آلكالن قرار گرفتهاند (شکل ۱۱– ب). برای تعیین سری ماگمایی سنگهای آذرین از نمودار دوتايي ,Zr/TiO در برابر Winchester & Floyd, 1977) Nb/Y)، (شكل ۱۱– ب) و برای ردهبندی سنگها از نمودار دوتایی Zr/TiO₂ 0.0001 در برابر SiO, (Winchester & Floyd, 1977) (شکل ۱۱– ب) استفاده شده است. بر پایه نمودار Y در برابر Zr (Barrett & MacLean, 1994)، سنگها دارای ماهیت تحولی هستند (شکل ۱۱-ج) (داده ای XRF در جدول ۱ آمده است).

با توجه به نمودارهای یادشده، نمونه ها ترکیبی از آلکالی بازالت - ساب آلکالن بازالت تا داسیت (شکل ۱۲ – الف) و آندزیت بازالت تا داسیت (شکل ۲۲ – ب) دارند. بر پایه نتایج به دست آمده از داده های ژئوشیمیایی، سنگهای منطقه معدنی به کافت درون کمان آتشفشانی (شکل های ۱۳ – الف و ب) در ارتباط با حاشیه فرورانش تعلق دارند. ماگماهای کالک آلکالن معمولاً در جزایر آتشفشانی بالغ و در کمانهای قاره ای، در مکان هایی که سنگهای آتشفشانی دارای ترکیب بازالت تا ریولیت و عمدتاً حدواسط (آندزیتی) هستند، بیشتر گسترش دارند (Murphy, 2007).

عناصر خاکي کمياب، از مفيدترين عناصر کمياب بوده و مطالعه آنها، کاربر د مهمي در سنگ شناسی (آذرین، رسوبی و دگر گونی) دارد. این عناصر در طی فرایندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمابی، به نسبت غیرمتحرک هستند (Rollinson, 1993). تركيب عناصر كمياب و خاكي كمياب در سنگهاي آتشفشاني و آذر آواري منطقه کشت مهکي در جدول ۲ آورده شده است. الگوي پراکند گي عناصر کمیاب در مجموعه کریستال لیتیک توف با بی هنجاری مثبت در میزان Th،Ba و Zr، و بی هنجاری منفی Nb و بی هنجاری منفی شدید در Pb, Rb, Cr و Ni مشخص می شو د که نشان از آلودگی پوستهای دارد. مقادیر پایین نیکل و بیهنجاری منفی نیوبیم (شكل ۱۴ – الف)، نشاندهنده تعلق واحدهاي سنگي منطقه به مناطق كمان آتشفشاني است (Wilson, 1989; Pearce, 1996). ميزان Gd ،La/Lu ،La/Yb) در اين واحدها بالا است که سبب شیبدار شدن الگوی عناصر خاکی کمیاب در آن شده است. از Eu تا Eu شيب ها ملايم هستند، از Eu به سمت HREE الگوى عناصر به صورت مسطح ديده مي شود. در واقع با توجه به روند يكسان الكوى تغييرات عناصر خاكي کمیاب برای همه نمونه ها (شکل ۱۴ – ب)، می توان گفت که سنگ های آتشفشانی و آذرآواری منطقه، به مناطق کمان آتشفشانی تعلق دارند (Wilson, 1989). میزان منفی عصر Eu نیز در پیشتر کانسارهای بروندمی از جمله نوع VRB و مانتو (مانند Mantos Blancos) معمول است (Ramirez et al., 2006a).

۸- مطالعات ایزوتوپی گوگرد

به منظور بررسی منشأ گوگرد در کانی های سولفیدی، ۶ نمونه کانی کالکوپیریت و بورنيت از نقاط مختلف سنگ ميزبان كانهزايي (واحد كريستال ليتيك توف) انتخاب شد. پس از خرد کردن نمونهها در زیر میکروسکوپ بینوکولار با خلوص بالای ۹۹ درصد، سولفیدها از کانیهای باطله جدا و در هاون آگاتی پودر شدند. سیس حدود ۰/۵ گرم از کانی سولفیدی بهدست آمده، جدا و به دانشگاه آریزونای آمریکا ارسال شدند. اندازه گیری مقادیر ایزوتوپی توسط طیفسنج جرمی Finnigan Delta Plus انجام شد. نتیجه تجزیه در جدول ۳ نشان داده شده است. همان گونه که دیده می شود، مقادیر ³⁴S در کانسار کشتمهکی دارای محدوده وسیعی از حدود ۴/۹- تا ۱۳/۷– درصد است که می توان بر یایه داده های یادشده و با توجه به گسترده بودن دامنه نتایج ایزوتوپی، منشأ احیای باکتریایی سولفات را برای سیالهای مؤثر در کانهزایی در کانسار مس کشتمهکی در نظر گرفت (شكل ۱۵). همان گونه كه (Kirkham (1996b) با مطالعه ذخایر VRB، پیشنهاد میدهد که مقادیر منفی S⁴8 بیانگر آن است که گو گرد مورد نیاز، از احیای باکتریایی سولفات ایجاد شده است و الگوی عمومی پراکندگی ایزوتوپ گوگرد در ذخایر مس نوع VRB همانند ذخایر مس نوع رسوبی و اورانیم ماسهسنگی است، چنین استنباط می شود که گوگرد لازم برای تشکیل کانی های سولفیدی مس در کانسار کشتمهکی نیز از طریق احیای سولفاتهای آب دریا تأمین شده است. با توجه به این که شرایط تشکیل سنگها و رخسارههای redbed تنها در محیطهای اکسیدان فراهم می شود، می توان نتیجه گرفت که در شرایط اکسیدی ایجاد شده در محیط، واحدهای اکسیدی سرخ رنگ و همچنین هماتیت و اکسیدهای آهن ایجاد شدهاند که توانستهاند مس را حمل کنند. بدیهی است که در ذخایر سولفیدی، سولفیدهای مس (کالکوزیت، بورنیت و کالکوپیریت) در شرایط احیایی تشکیل می شوند. به عبارت دیگر، حمل کمپلکس های مسردار (مانند کانی های محلول اورانیم) در محیط اکسیدان (Red Bed) صورت می گیرد ولی تهنشینی آنها تنها در محیط های احیایی که پیریت یا مواد آلی در آنجا حضور دارند، صورت خواهد گرفت (Kirkham, 1996b)

۹- توالی همبود و مراحل تشکیل کانسار

بر پایه مطالعات انجامشده در مقیاس صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی و با توجه به ارتباط ساخت و بافت کانهها و کانیهای سنگ درونگیر، توالی همبود (پاراژنتیک) کانسار مس (–نقره) کشتمهکی ترسیم و در شکل ۱۶ ارائه شده است.

کانهزایی، شکل عدسی و چینه کران داشته و محدود به جایگاه چینه شناسی ویژهای در واحد کریستال لیتیک توف است. ترکیب کانی شناسی ماده معدنی شامل کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت، کالکوپیریت، کلاست هالیت نقرهدار، سلنید نقره، کوولیت و آنیلیت بوده و بافت آن به صورت پرکننده فضای خالی، رگه- رگچهای، جانشینی و لامینه مانند است.

با توجه به نمودار توالی همبود (شکل ۱۶)، مراحل مختلف تشکیل کانسار کشتمهکی را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

مرحله فعالیت آتشفشانی و دیاژنز اولیه (pre-mineralization): در این مرحله در شرایط کششی حاکم بر حوضه کافتی درون کمان آتشفشانی کرتاسه زیرین در زیرپهنه حاشیه ای سنندج – سیرجان و در محدوده حوضه شمال باختر – جنوب خاور صفاشهر، سنگهای آتشفشانی و آذرآواری به همراه سنگهای تخریبی و کربناتی تشکیل شده است. بر پایه مطالعات ICP-MS انجام شده، میزان مس در گدازه های آندزیتی و تراکی آندزیتی موجود در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۰ – ۲۰ پی پی ام است (جدول ۲) که در مقایسه با میزان کلار ک آن در سنگهای آندزیتی معمولی (حدود

مس در واحدهای تخریبی و کربناتی رسوبی دیده نمی شود. همراه با رخداد فعالیت آتشفشانی و در مرحله دیاژنز اولیه، پیریت نیز در سنگ های آذرآواری تشکیل شده و سبب ایجاد وضعیت احیایی در حوضه شده است. همان گونه که در بخش مطالعات ایزوتوپی گوگرد اشاره شد، باکتری های احیاکننده سولفات در محیط حضور داشته اند و فعالیت آنها، سبب ایجاد شرایط احیایی در حوضه و در نتیجه نهشته شدن پیریت شده است. حضور پیریت عامل مهمی برای ایجاد وضعیت احیایی در سنگ میزبان کانه زایی به شمار می رود.

مرحله دياژنز تدفيني (Mineralization) (Late diagenesis-deep burial): با توجه به میزان بالای اکسید آهن (هماتیت) در زمینه گدازهها و کریستال لیتیک توف (شکل ۷ –الف)، می توان چنین استنباط کرد که هیدروکسیدهای آهن فریک و کانیهای رسی، مس را از طریق جذب سطحی با خود همراه و آن را حمل کردهاند. در طی عملکرد فرایندهای دیاژنز تدفینی (Late Diagenesis) بر اثر آبزدايي، هيدروكسيد فريك به اكسيد آهن متبلور (هماتيت) تبديل شده و موجب آزادسازی مس می شود. از سوی دیگر در این مرحله در اثر رخداد دگر گونی تدفینی (Burial Metamorphism) در حد رخساره زئولیتی، کانی های فلدسپار به زئولیت، کلسیت، ایبدوت، کلریت و کوارتز تبدیل می شوند (شکل های ۷- ه ، و) و در نتیجه مس موجود درشبکه آنها نیز آزاد و به همراه سیالهای گرمابی ناشی از دیاژنز تدفینی حمل میشود و در مسیر خود به واحد سنگی مناسب با نفوذپذیری بالا و شرایط احیایی در نتیجه حضور پیریت (کریستال لیتک توف) میرسد و به جای پیریت های تشکیل شده در مرحله پیشین، جانشین شده و سبب تشکیل سولفیدهای مس می شود. گفتنی است که حضور زئولیت در سنگهای رسوبی، نشاندهنده رخداد تدفین در این محیطها و حضور آن در منطقه مورد مطالعه یکی از شواهد رویداد تدفین در سنگهای رسوبی و آتشفشانی– رسوبی منطقه کشتمهکی است. احتمالاً مس پس از شسته شدن از سنگهای آتشفشانی و آذرآواری، به صورت کلریدی حمل شده و پس از واکنش با پیریت، به صورت سولفیدهای مس (کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت) جانشین پیریت های تشکیل شده در مرحله پیش از کانهزایی شده است (شکل ۱۶). نتایج حاصل از مطالعات انجام شده بر روی ذخایر نوع مانتو در شیلی نیز نشان از آن دارد که کانهزایی در دو مرحله رخ داده است. در مرحله اول، پیریت کلوفورم و بلورهای خودشکل پیریت تشکیل شده و در مرحله بعدی سیالهای غنی از مس، باعث کانهزایی سولفیدی مس از طریق جانشینی آنها به جای پیریتهای اوليه شدهاند (Wilson & Zentilli, 1999; Wilson et al., 2003a). داده هاي ايزو توپي گوگرد منشأ گرفتن آنها را از احیای سولفات آب دریا تأیید کرده است (شکل ۱۵). مرحله سویرژن (Post-mineralization): در این مرحله و پس از رویداد فرایندهای زمين ساختي در منطقه در اثر چين خوردگي و بالاآمدگي واحد ميزبان کانهزايي، فرایند سوپرژن سبب تغییراتی در ترکیب کانی شناسی سنگها و تغییر و تبدیل

فرایند سوپرژن سبب تغییراتی در ترکیب کانیشناسی سنگها و تغییر و تبدیل کانیهای سولفیدی اولیه به کانیهای سولفیدی ثانویه مانند دیژنیت، کالکوسیت و کوولیت و کانیهای کربناتی مس مانند مالاکیت و آزوریت و کانیهای اکسیدی و هیدروکسیدی شده است.

10- بحث

ذخایر سولفیدی چینه کران و چینه سان، یکی از بزرگترین ذخایر سولفیدی برای کانهزایی مس هستند. محیط نهشته شدن این ذخایر بسیار متنوع بوده و می توانند در همه مراحل یک چرخه زمین ساختی ماگمایی- رسوبی تشکیل شوند. برای مشخص شدن " نوع" کانسار کشت مهکی، این کانسار با انواع ذخایر سولفیدی چینه کران و چینه سان مس، مانند ذخایر سولفید توده ای آتشفشانی (Manto) (SSC) دفتایر مس چینه سان (SSC) دفتایر نوع مانتو (Manto)

و (Oliveros et al., 2008; Kojima et al., 2007; Masksaev et al., 2003) دخاير نوع لايههاى سرخ آتشفشانى (VRB) (Cabral & Beaudoin, 2007;) (Wilton & Sinclair, 1988)، مقايسه شده است.

کانسار کشتمهکی، با توجه به نوع ساخت و بافت، نوع سنگ درونگیر، محیط زمین ساختی، همبود کانیایی و نوع دگر سانی، با کانسارهای سولفید توده ای (VMS) کانسارهای مس چینه سان رسوبی (SSC) متفاوت است. در حالی که، از نظر شاخص های اصلی (سنگ میزبان، کانی شناسی، بافت و ساخت و دگر سانی) بیشترین شباهت را با کانسارهای مس نوع مانتو و نوع RBV نشان می دهد. از این رو، کانسار مس کشت مهکی را با توجه به ویژگیهای یاد شده، می توان با کانسارهای نوع مانتو (در شیلی و آمریکای لاتین) و نوع RBV (در کانادا و آلمان)، مقایسه کرد. یادآوری می نماید که (2007) در نظر گرفته و علت نامگذاری متفاوت آنها را مربوط به دو محل و موقعیت جغرافیایی متفاوت در کانادا و امریکای لاتین (شیلی) می داند. برای مشخص کردن "نوع" کانسار کشت مهکی، برخی از ویژگیهای شاخص ذخایر نوع مانتو و RPV با

10-10. محيط زمينساختي

Kirkham (1996b) و Kirkham (2006, 2007) محیط زمین ساختی تشکیل کانسارهای نوع VRB را مربوط به رخدادهای کششی در خاستگاه کوهزایی میدانند. بر پایه مطالعات (1996) Espinonza et al. (1996 و 2006) Ramirez et al. (2006) بیشترین رخداد کانهزایی مس نوع مانتو در مناطق کششی و در کمربندهای ماگمایی مرتبط با فرورانش ژوراسیک تا کرتاسه، صورت گرفته است.

کانسار مس کشتمهکی در توالی آتشفشانی-رسوبی و محیط کافتی درون کمان آتشفشانی در زیرپهنه حاشیهای (Mohajjel et al., 2003) پهنه سنندج- سیرجان رخ داده و متشکل از سنگهای آتشفشانی-رسوبی کرتاسه زیرین همراه با میانلایههایی از سنگآهک است که به طور جانبی و قائم به رخسارههای آهکی تغییر می یابند. ۱۰-۲۰ سنگ میزبان

سنگ میزبان کانسارهای مس نوع VRB سنگهای آندزیتی - داسیتی (که میانلایههایی از رسوبات سیلیسی کلاستیک دارند)، توفها و ریولیتها هستند. سنگ میزبان کانسارهای مس نوع مانتو نیز بیشتر سنگهای آذرآواری آندزیتی و گدازههای آندزیتی آمیگدالوئیدال در توالی آتشفشانی آندزیتی -Oyarzun et al., 1998; استی است (;Wilson et al., 2003; Tosdal & Monizaga, 2003; Tristá-Aguilera et al., 2006; Wilson et al., 2000; Ourgan et al., 2000; Lane & George, 2000)

از ویژگیهای بنیادین کانسار مس کشتمهکی، رخداد کانهزایی مس در یک افق سنگ چینه نگاری ویژه و محدود به واحد آذر آواری است. کانهزایی مس همراهی نزدیکی با میزان فضای خالی موجود در این واحد توفی دارد. بر پایه (1984) Sato و Weege & Pollock (1972) وجود نفوذپذیری مناسب، یکی از عوامل مهم برای تشکیل این کانسارها است.

۱۰-3. کانیشناسی و همبود

كانى شناسى كانسارهاى نوع VRB شامل كالكوسيت، بورنيت، تنانتيت (آرژانتيت)، ديژنيت، احتمالاً آنيليت، كووليت، كالكوپيريت، مس طبيعى، نقره پراكنده و مالاكيت است ((Cabral & Beaudoin, 2007). در كانسارهاى نوع مانتونيز كانى هاى اصلى شامل بورنيت، كالكوسيت، كالكوپيريت، كووليت و ديژنيت، به همراه مقاديرى اسفالريت و پيريت است Oyarzun et al., 1998; Tristá-Aguilera et al., 2006; Ramirez et al., 2008; (Oliverous et al., 2008; Kojima et al., 2003).

کانیشناسی کانسار مس کشتمهکی شامل کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی،

دیژنیت، کالکوپیریت، پیریت، کلاستهالیت نقرهدار، آنیلیت و کوولیت است. مالاکیت و آزوریت نیز در پیرامون سولفیدهای مس در سطح شکستگیها تجمع یافتهاند.

10-4. دگرسانی

دگرسانیهای آلبیتی، کلریتی، اپیدو تی، زئولیتی، سیلیسی و اکسیدی آهن از دگرسانیهای شاخص کانسارهای نوع VRB است (Cabral & Beaudoin, 2006). این دگرسانیها بر اثر عملکرد سیالهای گرمابی ایجادشده در طی دیاژنز (دگر گونی تدفینی) ایجاد می شوند. بر پایه مطالعات ;(Instá-Aguilera et al. (2006); Espinonza et al. (1996) (Salaria) (2003a) یا یدو تی، آلبیتی، سیلیسی، کلسیتی و اسفنی است.

دگرسانی های رخداده در کانسار کشتمهکی بیشتر سیلیسی، کلسیتی، کلریتی، اپیدوتی، زئولیتی و اکسیدی (هماتیت) است. کانهزایی ارتباطی نزدیک و تنگاتنگ با دگرسانی های یادشده دارد و هرجا دگرسانی به میزان زیاد روی داده است، کانهزایی نیز به فراوانی یافت می شود.

10- 5. بافت ماده معدنی

به طور کلی بافتهای چیره در کانسارهای مس نوع VRB و مانتو، پرکننده فضای خالی، رگه- رگچهای، جانشینی و پراکنده است (;VRB و مانتو، پرکننده Ramirez et al., 2006a; Ferenc & Rojkovic, 2001; Kirkham, 1996b; (Lefbure & Church, 1996; Maksaev et al., 2003). از مهم ترین بافتهای موجود در کانسار کشتمهکی می توان به پرکننده فضای خالی، رگه- رگچهای، جانشینی، دانه پراکنده و لامینهمانند اشاره کرد.

11- الگوی تشکیل و نوع کانسار

میزان مس در واحدهای آتشفشانی- آذرآواری کانسار مس (- نقره) کشت مهکی، نسبت به میزان معمول آن در سنگهای آندزیتی، تهی شدگی نشان می دهد که می توان این تهی شدگی را ناشی از دگرسانی پروپیلیتی گستردهای که در این گدازه ها روی داده است، دانست (Sato, 1984; Cabral & Beaudoin, 2007). در واقع چنین تصور می شود که دگرسانی باعث شستشو و حرکت عناصر کانیایی در طی تدفین (دگرگونی) شده است (Sato, 1984). با توجه به گستردگی رویداد دگرسانی های سیلیسی، کلریتی، اپیدوتی، کلسیتی، زئولیتی و آلبیتی در کانسار کشت مهکی، می توان چنین در نظر گرفت که سیال های گرمابی ایجاد شده در

طی تدفین ژرف، مس آزادشده از تبدیل کانی های هیدرو کسید آهن (تشکیل شده در مرحله فعالیت آتشفشانی) به اکسیدهای آهن (هماتیت) و نیز مس آزادشده از شبکه کانی های فلدسپار موجود در واحدهای آتشفشانی دگرسان شده را حمل کرده و پس از چرخش در واحدهای سنگی و حرکت به سمت بالا، به واحد کریستال لیتیک توف با تخلخل و نفوذپذیری بالا و دارای کانی پیریت رسیده و کانی های كالكوسيت، بورنيت و كالكوپيريت، جانشين بلورهاي پيريت تشكيل شده در مرحله دياژنز آغازين شدهاند (شکل ۱۰). بنابراين چنين نتيجه گيري مي شود که عنصر مس از سنگهای میزبان آتشفشانی– رسوبی نشأت گرفته است. مقایسه الگوی تشکیل کانسار مس (- نقره) کشتمهکی (شکل ۱۷) با الگوی تشکیل ذخایر نوع VRB و نوع Manto (با تأكيد بر زير تيپ ,Manto و نوع المعادي المعاري المعاري المعاري المعاري المعاري المعاري المعاري ا (Kojima et al., 2007) نشان دهنده منشأ گرفتن عناصر از سنگ ميزبان است. همچنين مقايسه ويژگيهاي شاخص كانسار مس (- نقره) كشتمهكي با ويژگيهاي شاخص کانسارهای VRB و Manto (زیر تیب Host-Rock Derived) مانند رویداد کانهزایی در توالي آتشفشاني-رسوبي كرتاسه زيرين، سنگ ميزبان آذر آواري با ميان لايه هاي آهکی، بافت و ساخت پرکننده فضای خالی، رگه- رگچهای و جانشینی سولفیدها، کانی شناسی کالکوسیت، مس طبیعی و بورنیت، داده های ژئوشیمیایی، محیط زمین ساختی کافت درون کمان و ژئومتری چینه کران ماده معدنی، همگی نشانگر مشابهت این کانسار با ذخایر نوع VRB و مانتو (با تأکید بر زیر تیپ منشأ گرفتن عناصر کانه ساز از سنگ میزبان) است (بویری و همکاران، ۱۳۸۸).

در پایان، با توجه به تشکیل و گسترش کانسار مس (نقره) کشتمهکی و اندیس های معدنی مس کلهریزه، شمال خاور و خاور حسن آباد، خورجان و سیمکان در گسترهای حدود ۳۵ کیلومتر در زیرپهنه حاشیهای پهنه سنندج- سیرجان جنوبی، پی جویی و اکتشاف این نوع از کانسارها در مقیاس ناحیهای، پیشنهاد و بر آن تأکید می شود.

سپاسگزاری

نگارندگان برای انجام این پژوهش از حمایتهای معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تربیتمدرس برخوردار بودهاند که از ایشان سپاسگزاری می شود. از مسئولین محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به خاطر همکاری صمیمانه در تجزیه نمونهها و نیز از جناب آقای خسروانی معاون محترم فرمانداری خرمبید برای مساعدتهای فراوان، سپاسگزاری می شود.



شکل ۱– موقعیت کانهزایی مس (– نقره) کانسار کشتمهکی و اندیسهای معدنی در زیریهنه حاشیهای (Marginal Sub-Zone) از پهنه سنندج– سیرجان (برگرفته از Mohajjel et al., 2003)

www.SID.ir





شکل ۲- بخشی از نقشه زمین شناسی ساده شده ۲۵۰۰۰۰ اقلید (برگرفته از اوهانیان و همکاران، ۱۳۶۷) و گسترش واحد Kv در آن. واحد Kv در شمال باختر- جنوب خاور صفاشهر به صورت جانبی به واحد آهکی اربیتولیندار تغییر رخساره می دهد (مقطع AB کانسار کشتمهکی و مقاطع CD, EF, GH, IJ و KL به ترتیب محل مقاطع سنگ چینه ای اندیس های معدنی کله ریزه، شمال خاور حسن آباد، خاور حسن آباد، خورجان و سیمکان هستند که ستون سنگ چینه نگاری آنها در شکل ۴، نشان داده شده است).



شکل۳ - الف) نقشه زمین شناسی ۱:۲۰۰۰ و موقعیت کانسار کشتمهکی در واحد Kv در پیشانی طاقدیس؛ ب) رخنمون واحدهای سنگی کرتاسه زیرین و واحد Kv (رخساره آتشفشانی– آذرآواری کانهدار) در منطقه معدنی کشتمهکی؛ ج) گسترش واحد گدازهای و توفی (Kv) و ارتباط آن با واحد آهکی ناز کلایه (K1) در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴- تغییر رخساره جانبی واحد آتشفشانی- رسوبی کانهدار (Kv) به واحد کربناتی اربیتولیندار کرتاسه زیرین از شمال باختر تا جنوب خاور صفاشهر.

www.SID.ir



شکل ۵- الف) نمایی از واحد کریستال لیتیک توف کانهدار (Kct) همروند با گدازههای Ktr, a (فرودیواره) و واحد آهکی Kl (فرادیواره)؛ ب) نمایی نزدیک تر از واحد کریستال لیتیک توف کانهدار (Kct). رنگ این واحد در سطح بهدلیل اکسید شدن سولفیدهای مس، در جهت همروند با لایهبندی، سبزرنگ (مالاکیتدار) است.



شکل ۶- الف) نمایی از واحدهای سنگنشناختی و کریستال لیتیک توف در منطقه کلهریزه. واحدهای دیده شده از قدیم به جدید شامل گدازه های تراکی آندزیتی – آندزیتی (Ktr, a)، کریستال لیتیک توف کانه دار (Xct) و آهک ناز کلایه (Kl) است؛ ب) رگه- رگچه های سیلیسی – سولفیدی کانه دار (Z-Sul Veinlets) که به واحد کریستال لیتیک توف (Kct) محدود شده است. (خط منقطع، روند لایه بندی را نشان می دهد که واحد کریستال لیتیک توف کانه دار (Kct) در میان واحد گدازه تراکی آندزیتی – آندزیتی محدود شده است)؛ ج)تصویر میکروسکوپی از رگه- رگچه های سیلیسی – سولفیدی در واحد کریستال لیتیک توف کانه دار (رگه سیلیسی: Qz، کالکوپیریت: cpy، کالکوسیت: cc، بورنیت: B0 و مالاکیت: Mat).



شکل ۷- دگرسانی و ارتباط آن با کانهزایی سولفیدی. الف) دگرسانی سیلیسی (Qz) و همراهی آن با سولفیدها (Sul). زمینه سنگ متشکل از بلورهای ریز کوارتز، ارتوز و هماتیت (He) است که ارتوز (O) و کوارتز درشت به صورت پورفیر در آن قرار دارد؛ ب) دگرسانی سریسیتی (Se)، کلسیتی (Ca)، آلبیتی (Ab) و اپیدوتی (Ep) همراه با کانهزایی سولفیدی (Sul)؛ ج) اپیدوتی شدن (Ep) و کلریتی شدن (Cl) بلورهای پلاژیو کلاز (Pl) در زمینهای از کواتز، آلبیت (Ab) و هماتیت (He)؛ د) دگرسانی ارتوز به سریسیت (Se) و کلسیت (Ca) همراه با کانهزایی سولفیدی در ر گچهها و زمینه سنگ؛ ه) زئولیتی شدن (Ze) بلورهای فلدسپار کلسیت و کوارتز همراه با کانهزایی سولفیدی دیده می شوند؛ و) کلریتی شدن (Cl) بلورهای فلدسپار و رخداد دگرسانی کلریت، سولفیدی (IP) در واحد کر پستال لیتیک توف کانهدار.



شکل ۸- بافت پرکننده فضای خالی از سولفیدها در کریستال لیتیک توف میزبان کانهزایی؛ الف و ب) تصاویری از واحد کریستال لیتیک توف میزبان کانهزایی و بافت پرکننده فضای خالی از سولفیدها. کانیرایی کدر سولفیدها و بخشهای روشن سنگ کوارتز، ارتوز، آلبیت و هماتیت است (نور میری، اوp)؛ ج و د- بافت پرکننده فضای خالی از بورنیت (Pd)، کالکوپیریت (Cp) و دیژنیت (Pd) هستند (نور بازتابی). دیژنیت (Dg)، کوولیت (VD)، آنیلیت (An) و کالکوسیت ثانویه (CiD)، سولفیدهای ثانویه مس هستند که از اطراف جانشین سولفیدهای اولیه (کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت) شدهاند.

> شکل ۹- بافتهای جانشینی، رگه- رگچهای و لامینهمانند در کریستال لیتیک توف میزبان کانهزایی. الف) جانشینی بلورهای دیژنیت در اطراف کانی بورنیت؛ ب) بافت رگه- رگچهای متشکل از کانی است؛ ج) بافت رگه- رگچهای از کالکوسیت، بورنیت و مس طبیعی؛ د) بافت لامینهمانند از کالکوپیریت در واحد کریستال لیتیک توف (کالکوپیریت: Cpy، بورنیت: B0، کالکوسیت: Co، دیژنیت: gD. کوولیت: Co، مالاکیت: Ma، فلدسپار پتاسیم: Kf].





شکل ۱۰- تصاویری از جانشین شدن پیریت توسط سولفیدهای مس. الف و ب) جانشینی کالکوسیت به جای بلورهای پیریت (Py). همان گونه که در شکل دیده می شود، کالکوسیت وارد بلورهای پیریت تشکیل شده در مرحله پیش از کانهزایی شده و جانشین آن شده است؛ ج و د) جانشینی کالکوسیت (CD)، بورنیت (B0) و کالکوپیریت (cpy) (مرحله اصلی کانهزایی) (B0) و کالکوپیریت که در مرحله پیش از کانهزایی) تشکیل شدهاند. همان گونه که در تصویر دیده می شود، تنها تکههایی از بلورهای پیریت تشکیل شده از مرحله پیش، باقی مانده است و بیشتر بخش های این بلورها، توسط سولفیدهای مس جانشین شده است (همه تصاویر با عدسی OID گرفته شدهاند).



یری الم

شکل ۱۲- الف) سنگهای آتشفشانی و آذر آواری منطقه معدنی با استفاده از نمودار SiO₂ در برابر O.0001 ر SiO₂ (Winchester & Floyd, 1977) Zr/TiO₂ دارای ترکیبی از ساب آلکالن بازالت تا داسیت- ریوداسیت؛ ب) بر پایه نمودار دوتایی Zr/TiO₂ در برابر Winchester & Floyd, 1977) Nb/Y)، ترکیبی از آندزیت بازالت تا ریوداسیت- دارند.



ا- با توجه به موقعیت دادهها بر روی نمودارهای الف) (Wood (1980) و ب) (Pearce & Cann (1973) سنگهای کانسار مس (- نقره) کشتمهکی به موقعیت زمین ساختی کمان آتشفشانی کالکآلکالن تعلق دارند.





شکل ۱۴- الگوهای پراکندگی الف) عناصر کمیاب و ب) عناصر خاکی کمیاب در کانسار مس (- نقره) کشتمهکی در نمودارهای ژئوشیمیایی Sun & MaDonough (1989).



شکل ۱۵- محدوده ایزوتوپی گوگرد در کانسار مس کشتمهکی نشانگر منشأ گرفتن آن از سولفات آب دریا است (با تغییرات، پس از Allegre, 2008).

www.SID.ir

1	Stages	Pre-mineralization	mineralization	Post-mineralization
	Minerale	Volcanism	Late diagenesis	Supergene
		Early diagenesis	(Deep burial)	
	Pyrite			
	Chalcocite I			
	Chalcocite II			
В	ornite+Chalcopyrite			
	Bornite		_	
	Native copper			
	Chalcopyrite			
Silve	er-bearing Clausthalite		—	
	Albite			
	Orthoclase			
	Sericite			
	Chlorite			
	Epidote			
	Zeolite			
	Calcite			
	Quartz I	—		
	Quartz II			
	Hematite I	—		
	Hematite II			
	Anilite			
	Covelite			
Digenite				
	Malachite			
	Azurite			
	Geothite			
_	Laminated-like			
inre	Open space filling			
Text	Vein-veinlet			
Textu	Vein-veinlet Replacement	_		

شکل ۱۶-مراحل تشکیل و تکوین کانهزایی و توالی همبود کانهها و کانیها و ساخت و بافت آنها در کانسار مس (-نقره) کشتمهکی.





شکل ۱۷- الگوی تشکیل و تکوین نمادین کانسار مس (-نقره) کشتمهکی در طی دیاژنز تدفینی (Burial Metamorphism) (بر پایه Kojima et al., 2007). سنگ میزبان، واحد آتشفشانی- آذر آواری (Kv) است.

ALS- Chemex کانادا انجام شده است (بر حسب درصد و) کشتمهکی که در آزمایشگاه	XRI نمونه های کانسار مس (- نقره)	جدول ۱- نتايج تجزيه ٦
---	---------------------------	----------------------------------	-----------------------

Field N.	Rock type	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	Na2O	K20	Cr2O3	TiO2	MnO	P2O5	SrO	BaO	LOI	Sum
3	ore-bearing tuff	62.45757	17.02874	5.227427	0.7920344	5.6234442	5.8271102	1.2219959	0.0113148	0.7015162	0.1244625	0.2376103	0.0339443	0.712831	5.17	93.6
412	ore-bearing tuff	67.466111	16.631908	2.8258603	1.2513034	1.6579771	8.2794578	0.5109489	0.0104275	0.9489051	0.0521376	0.2815433	0.0104275	0.0729927	2.24	98.1
413	andesite	51.946678	18.03851	9.4583157	6.5065595	5.1311892	6.5488785	0.2644943	0.0211595	1.4705882	0.1904359	0.370292	0.0423191	0.0105798	4.69	99.2
414	trachyandesite	51.727909	15.201225	9.7550306	10.03937	4.1229221	7.152231	0.0984252	0.0218723	1.3013998	0.2296588	0.328084	0.0109361	0.0109361	7.74	99.2
501	ore-bearing tuff	89.311557	2.8219971	4.341534	1.6022328	0.2894356	0.5168493	0.4444904	0.031011	0.5065123	0.020674	0.0723589	0.020674	0.020674	1.34	98.1
A1	ore-bearing tuff	67.341203	16.863406	2.4170883	1.3041034	1.6975829	8.1506464	0.8881394	0.0112423	1.0230467	0.0449691	0.2248454	0.0112423	0.0224845	2.96	91.9
A15	ore-bearing tuff	55.003173	17.45293	9.6995981	2.2530146	6.1561244	6.8013539	0.2538608	0.0211551	1.7770256	0.2115507	0.3384811	0.0105775	0.0211551	3.73	98.3
C31	ore-bearing tuff	68.699655	16.340621	2.1864212	1.2197929	1.4959724	8.561565	0.0460299	0.0115075	1.0241657	0.0345224	0.287687	0.0115075	0.0805524	3.16	90.1
K33	andesite	67.494102	15.181044	4.9748692	1.7437686	0.5949328	8.2469997	0.4308134	0.0205149	0.9642015	0.0307724	0.2974664	0.0102575	0.0102575	0.49	98
R32	andesite	50.299658	14.340753	12.253853	11.825771	0.2675514	8.2619863	0.0856164	0.0107021	2.1618151	0.1177226	0.3531678	0.0107021	0.0107021	7.14	100.5
R34	trachyandesite	58.485039	13.391923	11.770245	5.827579	0.6591337	7.2190835	0.0523122	0.0104624	2.1134128	0.0627746	0.3871103	0.0104624	0.0104624	3.31	98.9



	Field N.	Rock type	Ag	Cu	Nb	Zr	Y	Zn	Ni	Pb	U	Co	Ni	Eu
1	3	ore- bearing tuff	19	10000	9.6	155	17.9	157	46	5	2.53	26.7	46	0.74
2	412	ore-bearing tuff	12	10000	12.5	234	37.1	58	15	5	1.78	9.4	15	1.6
3	413	andesite	1	22	7.6	148	32.3	152	62	8	0.71	29	62	1.56
4	414	trachyandesite	1	33	5.9	121	25.1	152	40	5	0.47	18.6	40	1.42
5	501	ore- bearing tuff	6	10000	1.5	42	10.1	13	5	15	0.37	2.4	5	1.57
6	A1	ore- bearing tuff	27	10000	13.9	264	38.9	60	12	5	1.77	8.9	12	1.53
7	A15	ore- bearing tuff	10	10000	9.6	184	32	212	40	5	0.74	28.4	40	1.84
8	C31	ore-bearing tuff	33	10000	12.8	237	36.9	55	16	5	1.78	8.3	16	1.73
9	K33	andesite	1	30	8.6	187	33	31	12	5	1.28	5.2	12	1.95
10	R32	andesite	1	5	5.8	178	37.6	31	5	5	0.27	4.3	5	2.5
11	R34	trachyandesite	1	41	5.8	169	36	41	5	5	0.33	7.7	5	2.28

شده است (همه مقادیر بر حسب ppm هستند).	ALS- Chemex كانادا انجام	ِیه ICP که در آزمایشگاه	جدول ۲- نتايج تجز
--	--------------------------	-------------------------	-------------------

كتابنگاري

- اوهانیان، ت.، سهندی، ر.، طراز، ح.، آقانباتی، ع.، سهیلی، م. و آزرم، ف.،۱۳۶۷- نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ اقلید، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. بویری کناری، م.، ۱۳۸۹- زمین شناسی، کانی شناسی، ساخت و بافت، ژئو شیمی، ژنز و تیپ کانسار مس کشت مهکی، شمال باختر صفاشهر (استان فارس)، پایان نامه دوره کار شناسی ار شد زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- بویری کناری، م.، راستاد، ا. و رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۸۸ کانهزایی مس تیپ Volcanic Red Bed در توالی آتش فشانی رسوبی کر تاسه تحتانی، شمال غرب جنوب شرق دهبید، استان فارس، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، تهران.

پروانهنژاد شیرازی، م. و شهیدا. م.، ۱۳۸۱- چینهشناسی و فسیل شناسی نهشته های کرتاسه در زون سنندج- سیرجان.

توکلی، ح.، ۱۳۸۳- کانی شناسی، ژئو شیمی و خاستگاه کانسارهای آهن شمال غرب همدان، پایان نامه دوره کار شناسی ار شد زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

سامانی، ب.، ۱۳۷۷– گزارش ارزیابی استعداد معدنی منطقه گاوکشته– مهرهدراز در شمالغربی دهبید.

شهپری، ع.، ۱۳۸۸- اکتشاف معادن متروکه شمال استان فارس، مطالعات اکتشافی در محدوده کشت مهکی.

شهیدی، ع. و طراز، ح.، ۱۳۶۹ – نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ دهبید، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- عبدی، م.، ۱۳۸۶- بررسی لیتوژئوشیمیایی و خاستگاه کانی سازی در کانسارهای تنگستن-قلع (مس) دهحسین و نظام آباد و مقایسه آن با کانسار بامسر، جنوب غرب شازند اراک، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- عزیزپور مغوان، م.، ۱۳۷۸- ژئوشیمی، کانی شناسی و زنز اثرهای معدنی تنگستن اسکارنی بامسر و رگهای روشت و مقایسه آنها با کانسار تنگستن نظام آباد (شازند-اراک)، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- فردیندوست، ز.، ۱۳۸۲– ژئوشیمی ایزوتوپی و عناصر کمیاب ذخایر تنگستن (قلع و مس)، جنوب غرب آستانه اراک، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- کاظمیراد، م.، راستاد، ا. و محجل، م.، ۱۳۸۸- کانیشناسی، دگرسانی و ساخت و بافت کانسارهای آهن- منگنز هنشک، گلی و چشمهاسی در شمال شرق صفاشهر، استان فارس، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمینشناسی ایران.
- متولی، ک.، ۱۳۸۴– کانیشناسی، ژئوشیمی و منشأ کانسارهای آهن خسروآباد و تکیهبالا در شمال خاوری سنقر، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

مقصودی قرهبلاغ، ع. و یونسی، س.، ۱۳۸۶- گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی کانی سنگین در ورقه ۱:۱۰۰۰۰ دهبید، سازمان زمین شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور. www.SID.ir



References

Alavi, M., 1994-Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics, v. 229, p. 211-238.

- Aliyari, F., Rastad, E. & Zengqian, H., 2007- Orogenic Gold Mineralization in the Qolqoleh Deposit, Northwestern Iran. Resource Geology, v. 57, No. 3, p. 269–282.
- Aliyari, F., Rastad, E., Mohajjel, M. & Marehart, G. B., 2009- Geology and geochemistry of D–O–C isotope systematics of the Qolqoleh gold deposit, Northwestern Iran: Implications for ore genesis. Ore Geology Reviews, v. 36, p.306–314.

Allegre, C. J., 2008- Isotope geology. 534p (book).

- Barrett, T. J. & MacLean, W. H., 1994- Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks, *In* Lentz, D. R., (ed.), Alteration and Alteration Processes Associated with Ore-Forming Systems: Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 11, p. 433-467.
- Cabral, A. R. & Beaudoin, G., 2006- Red Bed Copper deposits of the Quebec Appalachians.
- Cabral, A. R. & Beaudoin, G., 2007- Volcanic Red Bed Copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. Miner Deposita, v. 42, p. 901-912.
- Carrillo-Rosua, F. J., Morales-Ruano, S., Morata, D., Boyce, A. J., Belmar, M., Fallick, A. E., Fenoll Hachali, P. & Munizaga, F., 2003- Sulfur isotope studies in Chilean Manto-type Cu- (Ag) deposits in the Coastal range of central Chile.
- Daliran, F., 2008- The carbonate rock-hosted epithermal gold deposit of Agdarreh, Takab geothermal field, NW Iran—hydrothermal alteration and mineralization. Miner Deposita, v.43, p.383–404.
- Ehya, F., Lotfi, M. & Rasa, I., 2009- Emarat carbonate-hosted Zn–Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. Journal of Asian Earth Sciences, v. 37, Issue 2, p. 186-194.
- Espinnoza, R. S., Veliz, G. H., Esquivel, L. J., Arias, F. J. & Moraga, B. A., 1996- The cupriferous province of the coastal ranges, Northern Chile *In* Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny. Soc. Econ. Geologists, spetial publication, No. 5, Camus, F., Sillitoe, R.H. and Petersen, R., p. 19-32.
- Ferenc, S. & Rojkovic, I., 2001- Copper mineralisation in the Permian basalts of the Hronicum Unit, Slovaki. Geoscience, N. 13.
- Galley, A., Hannington, M. & Jonasson, I., 2006- Volcanogenic-associated massive sulfide deposits (VMS).
- Guzman, J., Collao, S. & Oyarzun, R., 2000- Andacollo copper-gold district, La Serena, Chile: preliminary data from the porphyry copper and possible relationships between Cu and Au mineralization.
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, v. 8, p.523-548.
- Kirkham, R. V., 1996a- Sediment-hosted stratiform copper. *In* Eckstrand, O.R, Sinclair, W.D., and Thorpe, R.I., (eds.), Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada, No. 8, p. 223-240 (also Geological Society of America, The Geology of North America.
- Kirkham, R. V., 1996b- Volcanic redbed copper, *In* Eckstrand, O.R., Sinclair, W.D., and Thorpe, R.I., (eds.), Geology of Canadian Mineral Deposit Types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada, No. 8, p. 241-252 (also Geological Society of America, The Geology of North America.
- Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista, D. & Hayashi, K., 2003- Ore mineralogy, fluid inclusion and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coastal Cordillera of northern Chile, Miner Deposita, v. 38, p. 208-216.
- Kojima, S., Trista, A. D. & Hayashi, K. I., 2007- Genetic aspects of the manto-type copper deposits based on geochemical studies of North Chilean deposits. Resource geology, v. 59, No. 1, p. 87-98.
- Lane, R. A. & George, P., 2000- Northeast- Central Region, Ministry of energy and mines.
- Lefebure, D. V. & Alldrick, D. J., 1996- Sediment-hosted Cu+/-Ag+/-Co, in Selected British Columbia.
- Lefebure, D. V. & Church, B. N., 1996- Volcanic Red Bed Cu.
- Lortie, R. B. & Clark, A. H., 1987- stratabound cupriferous sulphide mineralization associated with continental rhyolitic volcanic rocks, Northern Chile: I. the Jardin copper- silver deposit. Econ Geo, v. 82, p. 546- 570.
- Lydon, J. W., 2007- An overview of the economic and geological contexts of Canada's major mineral deposit types, in Goodfellow, W.D., (ed.), Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 3-48.
- Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C. & Camus, F., 2003- Metallic ore deposits In Genesis of copper mineralization and associated alterations in Jurassic volcanic rocks of Buena Esperanza, The geology of Chile, Moreno.

- Mehrabi, B., Yardley, B. W. D. & Cann, J. R., 1999- Sediment-hosted disseminated gold mineralisation at Zarshuran, NW Iran. Miner Depos, v. 34, p. 673-696.
- Mohajjel, M., 1997- Structure and tectonic evolution of Palaeozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Ph.D. thesis, University of Wollongong, Wollongong, Australia (unpublished).
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. & Sahandi, M. R., 2003- Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences, v. 21, p. 397-412.
- Momenzadeh, M. & Rastad, E., 1973- Zinc, lead and iron mineralization in Cretaceous carbonatic rocks in the West-Central Iran metallogenic zone. Geological Survey of Iran, 4p.
- Momenzadeh, M., 1976-"Stratabound lead-zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments the Malayer-Esfahan district (west central Iran)", Lithology, Metal content, Zonation and Genesis. Ph.D thesis, Univ Heidelberg, 300p.
- Mousivand, F., Rastad, E., Hoshino, K. & Watanabe, M., 2007- The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: First recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran. N. Jb. Miner. Abh. v. 183, p. 297-315.
- Mousivand, F., Rastad, E., Meffre, S., Peter, J. M., Solomon, M. & Zaw, K., 2010- U-Pb geochronology and Pb isotope characteristics of the Chahgaz volcanogenic massive sulphide deposit, southern Iran.
- Murphy, J. B., 2007- igneous rock associations 8. Arc magmatism II: geochemical and isotopic characteristics. Geoscience of Canada, v. 34, No. 1.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M. & Palacios, C., 2008- Detailed ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. Miner Deposita, v. 43, p. 281-293.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. & Oyarzun, J., 1998- Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: the Talcuna and Argueros districts.v. 33, p. 547-559.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. Earth Planet. Sci. Lett., v. 12, p. 339-349.
- Pearce, J. A., 1996- Guide to basalt discrimination diagrams. In Wyman, D.A., (ed.), Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration, geological association of Canada, short coarse notes, v. 12, p. 79-113.
- Ramirez, L. E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M. A., Sial, A. N., Turiel, J. L. F., Gimeno, D., Valles, M. G. & Lehmann, B., 2006- the Mantos Blancos copper deposit: an upper Jurassic breccia- style hydrothermal system in the Coastal Range of Northern Chile. Miner Deposita, v. 41, p. 246-258.
- Ramirez, L. E., Parada, M. A., Palacios, C., Wittenbrink, J., Lehmann, B. & Sial, A. N., 2006- Magma sources of Mantos Blancos copper deposit, Coastal range of Northern Chile.
- Rastad, E., 1981- Geological, mineralogical and ore facies investigations on the lower Cretaceous stratabound Zn-Pb- (Ba-Cu) deposits of the Irankuh mountain range, Esfahan, west central Iran. PhD thesis.
- Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation. London, UK, 652p.
- Sato, T., 1984- Manto type copper deposits in Chile, a review. Bulletin of the geological survey of Japan, v. 35, p. 565-582.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders AD., Norry MJ. (ed.), Magmatism in Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., London, p. 313–345.
- Tosdal, R. M. & Munizaga, F., 2003- Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits, north-central Chile (30-34_S). Miner Deposita, v. 38, p. 234-250.
- Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S. & Ferraris, F., 2006- Re–Os isotope systematics for the Lince-Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile. Miner Deposita v. 41, p. 99-105.
- Weege, R. J. & Pollock, J. P., 1972- The geology of two native copper mines in the native copper district of Michigan. Econ Geo, v. 67, p. 622-633.
- White, W. S., 1968- the native-copper deposits of Northern Michigan. In Ridge JD (ed.), Ore deposits of the United States, 1933–1967: the Graton-Sales volume. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, New York, p 303-325.
- Wilson, M., 1989- Igneous Petrogenesis, A global tectonic approach.
- Wilson, N. S. F. & Zentilli, M., 1999-The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. Econ Geol, v. 94, p. 1115-1136.



- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. P. H. & Boric, R. R., 2003- Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type copper deposit, Chile: ⁴⁰Ar/³⁹Ar geochronology of K-feldspar. Chemical Geology, v. 197, p. 161–176.
- Wilson, N. S. F., Zentilli, M. & Spiro, B., 2003- A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado mantotype Cu deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum. Econ Geol, v. 98, p. 163–174.
- Wilton, D. H. C. & Sinclair, A. J., 1988- Ore petrology and genesis of a strata bound disseminated copper deposit at Sustut, British Columbia. Econ Geol, v. 83, p. 30-45.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977- Geochemical magma type discrimination; application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. Earth Planet Sci Lett, v. 28, p. 459-469.
- Wood, D. A., 1980- The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. Earth Planet. Sci. Lett., v. 50, p. 11-30.



Volcanic Red Bed Type Copper (-Silver) Mineralization in Keshtmahaki Deposit, Northwest of Safashahr, Southern Sanandaj-Sirjan Zone

M. Boveiri Konari¹, E. Rastad^{2*} & N. Rashidnejad-Omran³

¹Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran ² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran ³ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2011 February 26 Accepted: 2012 June 17

Abstract

Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence in the northwest and southeast of Safashahr (Dehbid) in marginal subzone of southern Sanandaj-Sirjan Zone comprises the Keshtmahaki deposit and few other occurrences of copper (-silver). The oldest rock units in the region are Jurassic shale and sandstone, which are unconformably overlain by the Lower Cretaceous progressive sequence with basal conglomerate, sandstone and silty shale. Copper (-Ag) mineralization occurred in the Lower Cretaceous pyroclastics and volcanic lava. The host rock is a crystal lithic tuff with trachyandesite-andesite affinity in which the stratabound and lenticular ore body is extended discontinuously over 35 km that laterally and vertically changed into orbitolina limestone. Ore minerals include chalcocite, bornite, native copper, digenite, chalcopyrite, pyrite, Ag-bearing clausthalite, covellite, anilite, malachite and azurite. Ore textures and structures are open space filling, vein-veinlet, replacement, disseminated and laminated-like. The lithogeochemical studies in 6 lithostratigraphic profiles from NW to SE of Safashahr indicated Cu (-Ag) mineralization occurrence in a specific stratigraphic unit and a positive relationship with Zn. The lithological, mineralogical, lithogeochemical and microscopic investigations revealed that mineralization initially occurred contemporaneously with volcanism in volcanosedimentary sequences (absorption of Cu by ferric hydroxide, clay minerals and replacement in feldspar lattice) and then in burial diagenesis during dehydration of pyroclastic and detrital units and alteration resulting from this hydrothermal fluid, Cu released and transported by hydrothermal diagenesis fluids. When this ore-bearing hydrothermal fluid received by the rock unit with high permeability (pyrite-bearing crystal lithic tuff) and reduced conditions resulted from abundance of pyite, replaced them as copper sulphide minerals. S isotopic data of sulphidic minerals indicated that the bacterially sulfate reduction of sea water as an important role provided the nessecary sulfur for sulfide mineralization. Geochemical features of volcanic and pyroclastic units indicated that they formed in an intra-arc rift. On the basis of this study and with respect to some evidences such as tectonic setting, host rock, lenticular shape of the ore body, structure and texture as well as mineral paragenesis we suggest that Keshtmahaki Cu (-Ag) mineralization and surrounding occurrences are Volcanic Red Bed (VRB) type deposit that formed and concentrated contemporaneously with submarine volcanism to deep burial diagenesis processes.

Keywords: Progressive Sequence, Volcano-Sedimentary, Lower Cretaceous, Cu(-Ag) Ore Deposit, VRB Type, Keshtmahaki, Southern Sanandaj-Sirjan Zone, Safashahr, Fars.

For Persian Version see pages 19 to 36

*Corresponding author: E. Rastad; E-mail: rastad@modares.ac.ir