مقاله

زمین‌شناسی، کانه‌زایی و خاستگاه مس رسوبی در محدوده الوندی، شمال بستان آباد استان آذربایجان شرقی

نیلوفر امانپور
کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

کیخسرو رادمرد
دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، شرکت معدن کاوان گنجینه ظفر

سیدغفور علوی
استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

محسن مؤید
استاد گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

چکیده

منطقه الوندی در ۲۱ کیلومتری شمال شهرستان بستان‌آباد در استان آذربایجان‌شرقی قرار دارد. در این منطقه کانی‌زایی مس از نوع اپیژنتیک و استراتاباند بوده و به‌صورت کانه‌های کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت در داخل سنگ‌های رسوبی به سن میوسن رخ داده است. واحدهای سنگ‌شناسی منطقه شامل مارن، سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرا به سن میوسن و رسوبات درجازاد و آبرفتی کواترنری هستند. ترکیب سنگ‌شناسی نمونه‌های الوندی، ماسه‌سنگ لیتارنایتی و کنگلومرای نوع پلی‌میکتیک است و بر اساس شاخص تنوع ترکیبی، ماسه‌سنگ‌های کانه‌زایی شده منطقه الوندی در چرخه اول رسوبی تشکیل شده که به واسطه وجود دانه‌ها و کانه‌های ناپایداری همچون خرده‌سنگ، فلدسپار و کانی‌های مافیک تأیید می‌شود. بر اساس نوع سنگ میزبان، کانه‌شناسی کانسنگ، ساخت و بافت کانه‌ها، نوع دگرسانی، عامل احیاکننده و کنترل‌کننده کانه‌زایی و مقایسه آن‌ها با کانسارهای شناخته شده در ایران کانی‌سازی منطقه الوندی با کانسارهای مس رسوبی نوع Red Bed تشابهاتی دارد. کانی‌سازی منطقه در نتیجه تخریب سنگ‌های حاوی کانی‌سازی مس در ارتفاعات ولکانوپلوتونیک بزقوش و قوشاداغ و رسوب آن‌ها در طبقات کنگلومرایی و سپس احیا به وسیله موآد آلی و فسیل‌های گیاهی موجود در این طبقات بوده است.

کلید واژه‌ها: الوندی، کنگلومرا، میوسن، استراتاباند، کانسارهای مس رسوبی، Red Bed

۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در ۲۱ کیلومتری شمال شهرستان بستان‌آباد در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این منطقه در بین طول‌های جغرافیایی شرقی از ′۳۰ °۴۶ تا ′۰۰ °۴۷ و عرض‌های جغرافیایی شمالی از ′۳۰ °۳۷ تا ′۰۰ °۳۸ تا واقع شده است و توپوگرافی کوهستانی دارد. کانی‌سازی مس در لایه‌های کنگلومرایی به رنگ خاکستری- سبز رخ داده است. ضخامت لایه‌های کنگلومرایی میزبان کانی‌سازی متغیر است و از ۱ تا ۲۰ متر تغییرات دارد. لایه‌های کنگلومرایی مزبور در تناوب با لایه‌های قرمز رنگ رس‌سنگ است. روند لایه‌ها، شرقی- غربی با شیب حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه به سمت شمال است. همراه با ماسه‌سنگ‌های خاکستری، سنگ‌های مارنی با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های قرمز رنگ نیز وجود دارد که ضخامت آن‌ها از ۰/۵ تا ۲ متر است. کانی‌سازی مس در این لایه‌های کنگلومرایی به‌طور عمده شامل آغشتگی‌های مالاکیت، آزوریت و کالکوسیت است که به‌صورت سیمان بین بلوری و پرکننده فضاهای خالی در بین قطعات تشکیل‌دهنده کنگلومراها

متمرکز شده است. افق‌های مس رسوبی معرفی شده در سکانس‌های ضخیمی از نهشته‌های قرمز اکسیدان تشکیل شده و این نهشته‌ها به‌طور عمده در رسوبات مولاسی بین کوهستانی و از سنگ مادرهای متفاوت تشکیل شده‌اند. مطالعات قبلی انجام شده در منطقه شامل تهیه نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ بستان‌آباد توسط سازمان زمین‌شناسی کشور، تهیه نقشه ۱:۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰ زمین‌شناسی در محدوده اکتشافی، انجام مطالعات ژئوفیزیکی، حفر ترانشه و چاهک در منطقه توسط شرکت گسترش توسعه خدمات بازرگانی کاوش انرژی برای برآورد حجم ذخیره کانسار است. ذخایر مشابهی از مناطق مجاور مانند مس رسوبی کلو، مس رسوبی گزارش شده است.

۲- روش مطالعه

تعداد ۶۰ نمونه سنگی در بررسی‌های صحرایی از منطقه برداشت شد. بعد از مطالعات آزمایشگاهی، تعداد ۲۶ عدد مقطع نازک، ۱۳ عدد مقطع نـازک صیقلی تهیه و مطالعه شد. بر اساس مطالعات صحرایی و نتایج مطالعات پتروگرافی، تعداد ۱۳ عدد نمـونه از رخنمون‌های کانی‌سـازی مس در منطقه الوندی به روش XRF (جدول۱) و تعداد ۵ نمـونه به روش ICP-MS (جدول۲) آنـالیز شده‌اند.

۳- بحث و بررسی

۳-۱- زمین‌شناسی منطقه

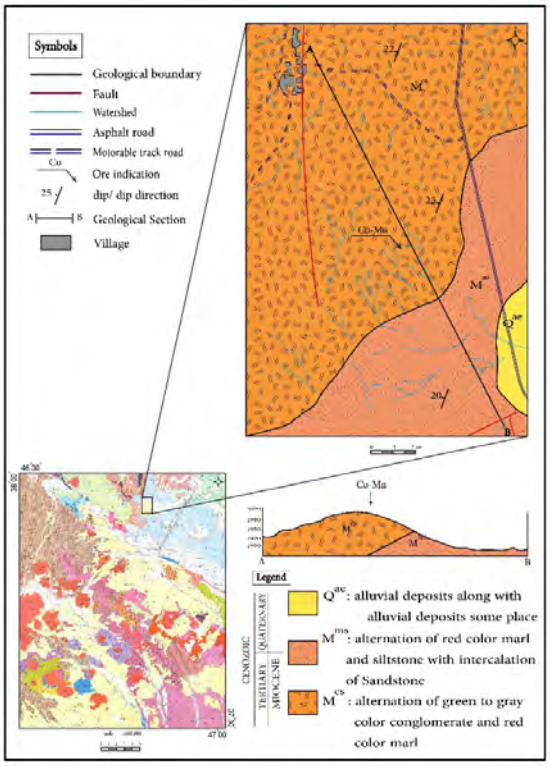
در منطقه مورد مطالعه، سه واحد سنگ‌شناسی رخنمون دارد. واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه بر اساس نقشه ۱:۵۰۰۰، از قدیم به جدید (شکل۱) عبارتند از: واحد M^{ms} که در بخش‌های مرکزی و جنوبی منطقه گسترش داشته و تناوبی از لایه‌های مارن و سیلتسنگ قرمز رنگ با میان لایه‌های ماسه‌سنگی است. جنس

جدول ۱- نتایج آنالیز XRF نمونه‌هایی از رخنمون‌های کانی‌سازی مس در محدوده اکتشافی (عیار به درصد)

Element	SiO_2	Al_2O_3	BaO	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SO_3	TiO_2	LOI	CU
Unit	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪	٪
ALV-CU14	۳۱/۳۷	۸/۰۳	۰/۱۷	۱۲/۴۶	۱/۶۶	۲/۳۷	۱/۶۷	۰/۲۴	۱/۶۶	۰/۳۹	۰/۴۳	۰/۷۹	۱۷/۸۱	۱/۳۱
ALV-CU15	۳۴/۶۳	۸/۶۳	۰/۰۵	۱۲/۷۵	۴/۶۲	۱/۴۴	۱/۱۶	۰/۴۶	۱/۱۹	۰/۳۲	۰/۷۴	۰/۳۵	۲۱/۲۴	۱/۶
ALV-CU33	۳۱/۸۳	۷/۸۲	۰/۰۵	۰/۷۰	۱/۲۶	۵/۲۱	۰/۴۸	۰/۲۸	۱/۲۵	۰/۵۴	۰/۰۴	۰/۴۵	۶/۲۴	۲/۲
ALV-CU2	۳۳/۶۵	۶/۶۳	۰/۰۵	۱۲/۷۵	۴/۴۴	۱/۶۲	۱/۱۸	۰/۴۶	۱/۱۹	۰/۳۲	۰/۷۴	۰/۳۵	۲۱/۲۴	۱/۶
ALV-CU3	۵۰/۸۳	۸/۷۲	۰/۰۶	۱/۷۰	۱/۲۱	۳/۵۵	۰/۴۸	۰/۲۱	۱/۲۸	۰/۵۱	۰/۰۵	۰/۴۰	۶/۲۴	۲/۲
ALV-CU4	۳۷/۸۱	۸/۰۳	۰/۱۱	۱۲/۶۶	۳/۴۶	۱/۶۷	۱/۳۷	۰/۳۷	۱/۲۴	۰/۳۱	۰/۷۹	۰/۴۳	۱۸/۹۰	۱/۳
ALV-CU5	۳۳/۶۵	۶/۶۳	۰/۰۵	۱۲/۷۵	۴/۴۴	۱/۶۲	۱/۱۸	۰/۴۶	۱/۱۹	۰/۳۲	۰/۷۴	۰/۳۵	۲۱/۲۴	۰/۶
ALV-CU2	۳۲/۶۶	۸/۰۳	۰/۱۷	۱۳/۴۶	۲/۶۶	۱/۶۷	۱/۳۷	۰/۳۷	۱/۲۴	۰/۳۱	۰/۴۳	۰/۷۹	۱۷/۸۱	۱/۳۹
ALV-CU1	۲/۲۸	۰/۶۱	۰/۵۷	۴۵/۶۶	۰/۵۴	۰/۱۶	۰/۶۰	۱۱/۳۹	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۰۳	۳۷/۵۰	۰/۱۴
ALV-CU6	۴۰/۴	۷/۳۹	۰/۴۶	۲۰/۸۶	۳/۹۱	۱/۶۵	۰/۹۶	۰/۷۹	۱/۱۵	۰/۱۲	۰/۳۲	۰۴۸	۱۹/۹۹	۱/۵۳
ALV-CU7	۷۵/۶۹	۱۲/۵۷	۰/۰۶	۰/۹۸	۰/۴۱	۵/۴۷	۰/۰۸	۰/۳۶	۰/۸۱	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۲	۳/۲۳	۰/۱۳
ALV-CU8	۳۱/۸	۷/۰۲	۰/۰۵	۰/۷	۱/۲	۵/۱۲	۰/۴۸	۰/۸۲	۱/۲	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۴	۶/۵۴	۲/۲۵
ALV-CU9	۳۳/۴۹	۶/۸۰	۰/۳۰	۱۴/۷۹	۳/۴۹	۰/۷	۱/۵۳	۱۸/۶۳	۲/۱۴	۰/۱	۰/۱۲	۰/۴۶	۱۷/۳۱	<۰/۰۱

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز ICP-MS نمونه‌هایی از رخنمون‌های کانی‌سازی مس در محدوده اکتشافی (عیار به ppm)

Element	Ag	As	Al	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	La	Li	Mg
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ALV-CU1	۱۴۲/۴	۲/۲	-	>۱۰٪	۱/۱	۷	۷	۳	-	-	۴	۷	-
ALV-CU2	۱۵۹/۶	۶/۲	-	>۱۰٪	۲۳۰/۳	۶	۵	۲	-	-	۴	۳	-
ALV-CU3	۴/۱	۳۳۶۸۵	۴۱۳/۴	۸۲۸۵۴	۱/۹	۳۳	۵۴	۱۶	۱۶۰۷۵	۱۱۶۸۷	۳۱	۱۸	۹۹۹۵
ALV-CU4	۰/۹	۳۸۹۴۵	۱۴/۳	۵۶۰۱۰	۰/۳	۲۴	۱۱	۱۳	۵۶۸	۳۱۴۶۲	۲۰	۱۳	۱۱۶۱۰
ALV-CU5	۲	۱۴۴۶۵	۱۱۰/۲	>۱۰٪	۴/۲	۳۱	۱۵	۱۴	۱۷۱۹	۱۲۵۶۳	۲۸	۹	۸۳۹۷
Element	Mn	Mo	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Th	V	Y	Yb	Zn
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ALV-CU1	-	۰/۷۳	۱۶	-	>۳٪	-	۴۵/۳	۱/۷	۲۹/۵	۵	۳	۰/۳	۲۰۲
ALV-CU2	-	۲/۱	۱۴	-	>۳٪	-	۱۵۰/۴	۱	۱۳/۱	۵	۳	۰/۴	۷۸
ALV-CU3	۶۷۱	۱/۲۵	۴۰	۸۹۹	۷۳	۲۴۶	۱/۹۱	۹/۵	۷/۷	۸۸	۱۸	۰/۹	۱۲۰
ALV-CU4	۱۵۴۲۳	۱/۸۳	۱۲	۵۸۹	۲۷۳۳	۱۵۸	۱/۲	۸/۱	۱۰/۷	۱۷۹	۱۳	۰/۹	۱۷۰
ALV-CU5	۶۹۹۷	۳/۵	۷۹	۲۹۷	۳۶۷	۵۳۸۱	۱/۱۵	۲/۷	۵۰/۵	۱۱	۲۱	۱/۱	۵۳۲



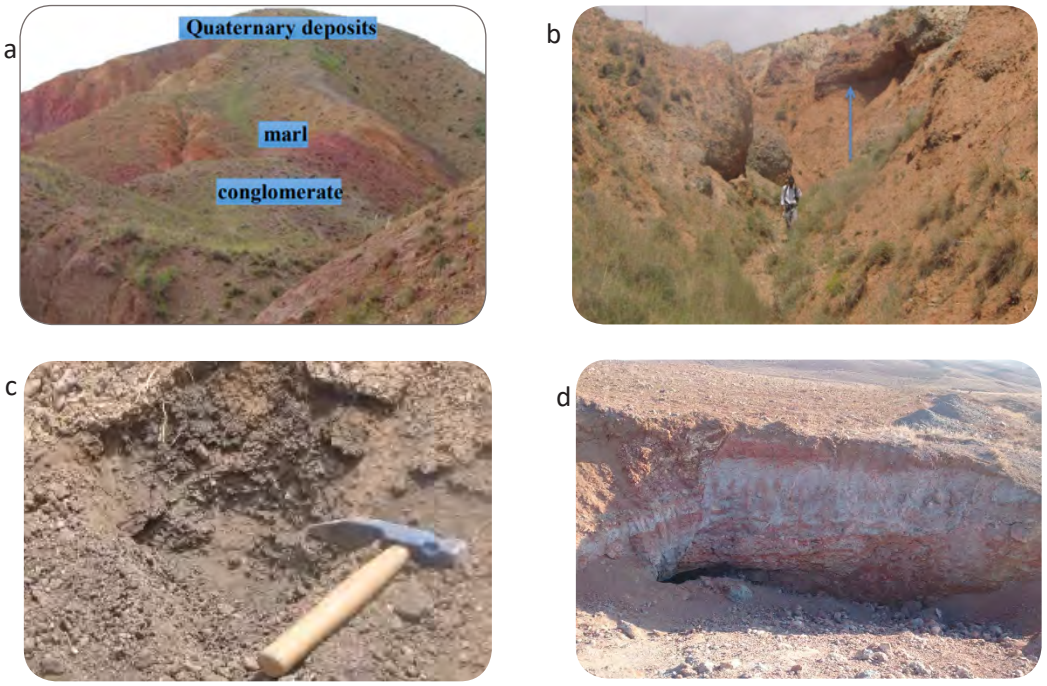
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰

۳-۲-سنگ‌شناسی

بر اساس بررسی‌های صحرایی و مطالعه نمونه‌های دستی منطقه مورد مطالعه از دو واحد لیتولوژیکی عمده تشکیل شده است. همان‌طور که در بحث زمین‌شناسی منطقه نیز اشاره شد، این دو واحد سنگی شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ است.

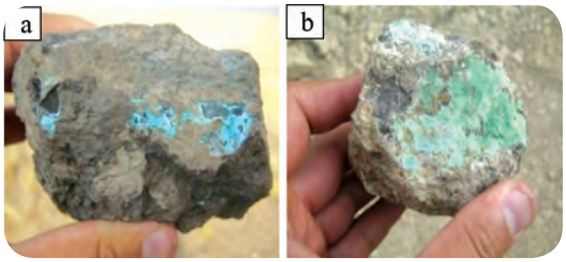
کنگلومرا:

کانی‌سازی مس در منطقه الوندی در لایه‌های کنگلومرایی به رنگ سیاه- سبز تشکیل شده است. ضخامت لایه‌های کنگلومرایی میزبان کانی‌سازی متغییر و عمدتاً بین ۱ تا ۲۰ متر در نوسان است: این لایه‌های کنگلومرایی در تناوب با لایه‌های قرمز رنگ مارنی هستند. کانی‌سازی مس در این لایه‌های کنگلومرایی عمدتاً به صورت آغشتگی‌های کالکوسیت، مالاکیت و گاه آزوریت است که به شکل سیمان بین بلوری و پرکننده فضاهای خالی در بین قطعات تشکیل‌دهنده کنگلومراها متمرکز شده‌اند. این کنگلومرا از قطعات مختلفی تشکیل شده و از نوع پلی‌میکتیک است. قطعات کنگلومرا در نمونه دستی به‌صورت واضح مشخص نیست و در واقع، برخی از قطعات و نیز برخی از کانی‌های مس مانند مالاکیت و آزوریت که



شکل ۲-a- نمایی از لایه‌های مارن قرمز، مارن و کنگلومرا به همراه رسوبات کواترنری. b- نمایی از آغشتگی مس در لایه‌های کنگلومرایی، دید به شرق. جهت فلش موقعیت کانی‌سازی مس در واحدهای کنگلومرایی را نشان می‌دهد. c- تصویری از گسل موجود در منطقه که لایه کنگلومرایی حاوی کانی‌سازی را قطع کرده است (دید به شرق). d- تصویری از رخنمون لایه‌های منگنزدار در منطقه مورد مطالعه

کانه‌های اصلی ماده معدنی را تشکیل می‌دهند در داخل کنگلومراها با بافت شکاف پر کن و آغشتگی‌های سطحی دیده می‌شوند (شکل ۳).

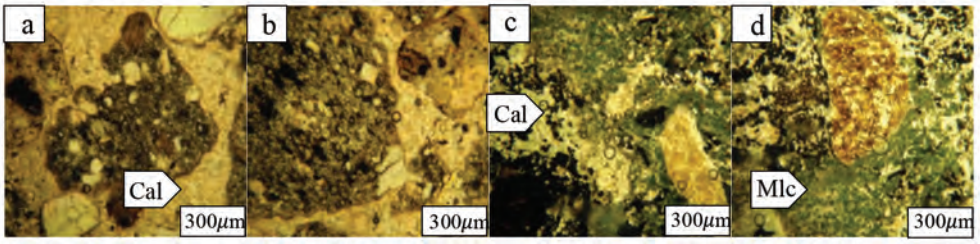


شکل ۳- نمونه دستی از آغشتگی مالاکیتی(a)، آزوریتی(b) در واحد کنگلومرایی منطقه الوندی

ماسه‌سنگ:

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی نمونه‌های ماسه‌سنگی خرده‌سنگ‌ها، اصلی‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده این ماسه‌سنگ‌ها هستند (۶۰ تا ۴۰ درصد). کانی‌های آواری شامل کوارتز، فلدسپار و میکا هستند. اجزای آواری تشکیل‌دهنده این ماسه‌سنگ‌ها به وسیله سیمان کلسیتی و دولومیتی به یکدیگر متصل شده‌اند. فلدسپارهای موجود از نوع فلدسپار پتاسیم و پلاژیوکلاز است و از سیلیکات‌های ورقه‌ای می‌توان به بیوتیت اشاره کرد. سیمان موجود در بین رسوبات از نوع کلسیتی و دولومیتی است که در مقاطع میکروسکوپی بدون رنگ‌آمیزی تفکیک این دو نوع از هم مشکل است. با این وجود، در مقاطع میکروسکوپی کربنات‌های یوهدرال (رومبوئدرال) به احتمال زیاد دولومیت هستند که در بین سیمان کلسیتی قرار دارند و احتمالاً جانشین آن‌ها شده‌اند. اکسید آهن به صورت رگه- رگچه‌ای بوده و یا در اطراف دانه‌ها رسوب کرده است (شکل ۴).

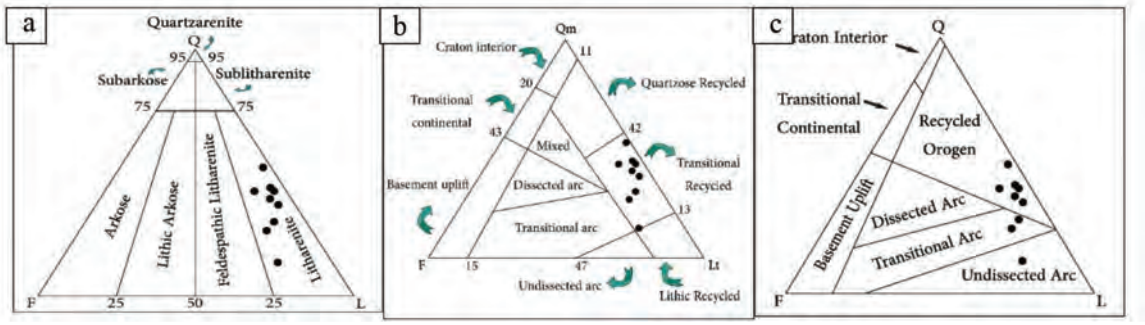
در نمونه‌های دستی، سنگ‌ها به رنگ قرمز و اطراف دانه‌های آواری را اکسید آهن احاطه کرده است. در زیر میکروسکوپ دانه‌ها گرد تا نیمه‌گرد و دارای جورشدگی بالا هستند، بنابراین این سنگ‌ها بلوغ بافتی[1] خوبی دارند که نشان‌گر مسافت زیاد حمل مواد آواری است. بلوغ کانی‌شناسی (نسبت کوارتز به فلدسپار) آن‌ها بالا بوده که نشان‌گر انجام فرآیند فرسایش و هوازدگی بر روی این ماسه‌سنگ‌ها است. بر پایه نمودار Folk (۱۹۸۰) از نظر کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه لیتارنایت هستند (شکل ۵-a). در بررسی خاستگاه ماسه‌سنگ‌های الوندی با استفاده از داده‌های نقطه شماری از دیاگرام‌های Dickinson et al (۱۹۸۳) استفاده شده است. نتایج نقطه شماری ماسه‌سنگ‌های الوندی بر روی نمودارهای QtFL و QmFLt نشان‌دهنده خاستگاه زمین‌ساختی Recycled orogeny است (شکل‌های ۵-b و ۵-c) که احتمالاً مقادیر کافی از خرده‌های سنگی دارند. در نمونه‌های مورد مطالعه وجود خرده سنگ‌های رسوبی نشان می‌دهد که دانه‌های آواری



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های منطقه الوندی. a- برش گرمابی با سیمان کلسیتی و قطعات سنگ‌های آذرین. b- برش گرمابی با سیمان کلسیتی و قطعات سنگ‌های آذرین. c- قطعات سنگ‌های آذرین در زمینه‌ای از کانی‌های اپاک، مالاکیت (Mlc) و کلسیت (Cal) .d - قطعات سنگ‌های آذرین در زمینه‌ای از کانی‌های اپاک، مالاکیت و کلسیت (PPL) [۱].

از مناطق کوه‌زایی با چرخه دوباره منشأ یافته‌اند. کم بودن میزان ماتریکس، فراوانی سیمان کربناتی و فراوانی خرده‌سنگ‌ها می‌تواند نشان‌دهنده شرایط آب و هوایی خشک در هنگام رسوب‌گذاری باشد. مطالعه صحرایی قطعات کنگلومرا و مطالعات میکروسکوپی خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگ‌ها نشان می‌دهد که سنگ منشأهای بسیاری در زمان رسوب‌گذاری رخنمون داشته‌اند. سنگ‌های متنوع ولکانیکی و پلوتونیکی متعلق به ائوسن- الیگوسن و نیز سازندهای قدیمی رخنمون یافته در کوه‌های بزقوش منابع احتمالی و بالقوه برای این خرده‌سنگ‌های متنوع بوده‌اند. شرایط و جایگاه

1- maturity



شکل ۵- a- موقعیت ماسه سنگ‌های سازند قرمز بالایی محدوده الوندی در نمودار (۱۹۸۰) Folk. رئوس مثلث: کوارتز Q، فلدسپار F، خرده‌سنگ L ، b- ترسیم داده‌های منطقه الوندی بر روی دیاگرام QmFLt ، c- داده‌های ماسه‌سنگ الوندی در نمودار QtFL

زمین‌ساختی تأثیر مستقیم بر ترکیب ماسه‌سنگ‌ها دارد. رسم نتایج روی دو نمودار QtFL و QmFLt روندی را از قطب خرده‌سنگ به قطب کوارتز با مقداری جابه‌جایی به سوی فلدسپارها نشان می‌دهد. در نمودار QtFL (شکل۵-c) برخی از نمونه‌ها در محدوده کمان ماگمایی بریده نشده (Undissected arc) قرار گرفته‌اند که نشان می‌دهد بخشی از رسوبات حاصل حمل دوباره رسوبات پیش‌کمانی هستند. رسوبات حاصل از فرسایش کمان‌های ماگمایی مقدار زیادی خرده‌سنگ‌های آتشفشانی تولید می‌کنند. با بالاآمدگی و فرسایش بیشتر کمان ماگمایی، ریشه کمان تشکیل شده از سنگ‌های نفوذی رخنمون می‌یابد و بر مقدار فلدسپار و کوارتز افزوده می‌شود و روندی را از کمان بریده نشده به سوی کمان بریده شده نشان می‌دهند. با در نظر گرفتن منشأ چرخه دوباره رسوبات کوه‌زایی (و بخشی از رسوبات کمان ماگمایی) برای توالی میوسن گستره الوندی، روندی که روی شکل ۵- b دیده می‌شود. سنگ‌های ولکانیک و پلوتونیک نوار ماگمایی گستره البرز- آذربایجان در یک قوس ماگمایی پس برخوردی تشکیل(مؤید،۱۳۸۰) و قطعات حاصل از این قوس در حوضه‌های درون قاره‌ای و بین کوهستانی نهشته شده‌اند.

۳-۳- مینرالوژی

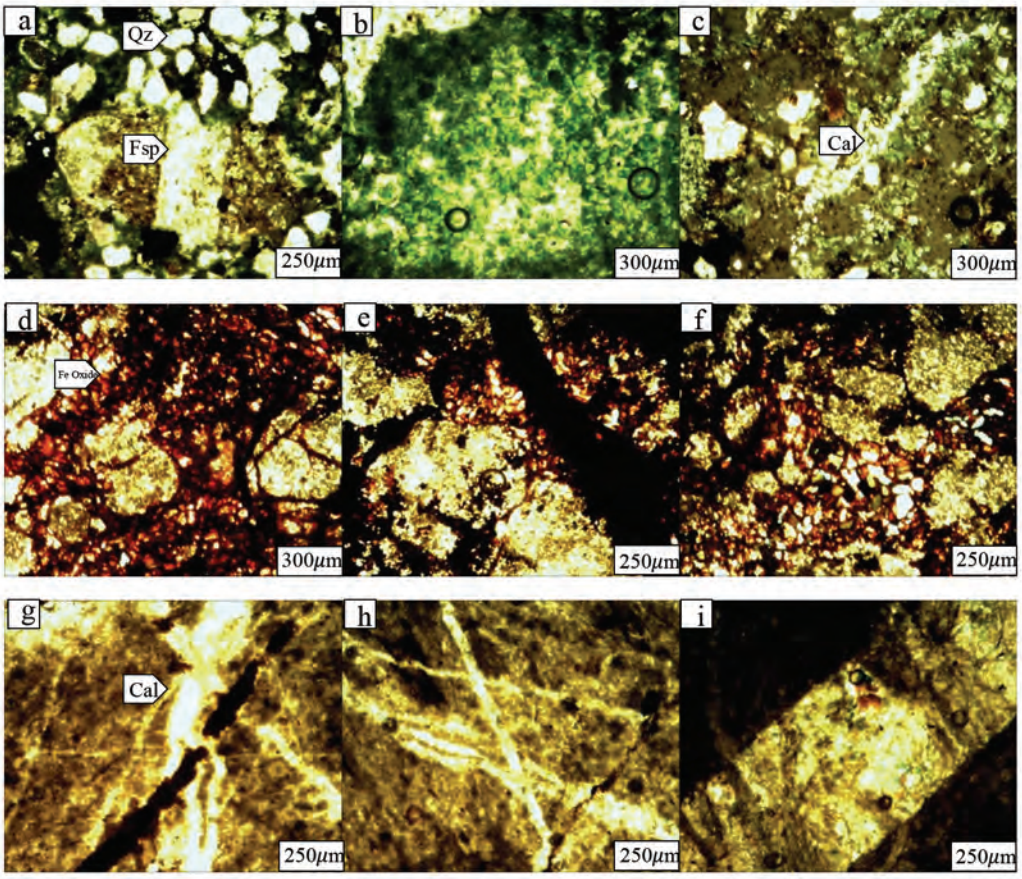
از دید کانی‌شناسی، در منطقه الوندی کانی‌های سولفیدی اولیه (کالکوسیت) در مقاطع بسیار کم است و دیده نمی‌شود. از جمله کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن که از دگرسانی کانی‌های اولیه، در مرحله برونزاد (سوپرژن) حاصل شده‌اند از کانی‌های باطله نیز می‌توان به کوارتز، کلسیت و دولومیت اشاره کرد. مالاکیت به‌صورت افشان در داخل ماسه‌سنگ‌های خاکستری مشاهده می‌شود و به‌صورت حاشیه‌ای و بخشی و یا تماماً جانشین سولفیدهای مس (کالکوسیت و کوولیت) موجود در زون کانی‌زایی شده و باعث نمایان شدن رنگ سبز و آبی در اطراف سولفیدها گشته است. شدت این جانشینی در مناطق سطحی بیشتر بوده به‌طوری که در زون‌های کانی‌زایی شده نزدیک سطح زمین رنگ خاکستری ماسه‌سنگ‌ها به رنگ سبز تبدیل شده است. کانی اپک موجود در مقاطع، طی مراحل اکسیداسیون و هوازدگی به کانی‌های اکسیدی آهن تبدیل شده‌اند. اکسیدهای آهن احتمالاً از اکسیداسیون مگنتیت و یا دگرسانی کانی‌های فرومنیزین حاصل شده‌اند (شکل ۶- d-e-f). وجود رگچه‌های کربناتی دلیل بر بالا بودن فوگاسیته CO_2 است که سبب تشکیل کربنات در فضای خالی و یا در حفرات موجود در سنگ می‌شود. رگچه‌های کربنات پس از کانی‌سازی در اثر انحلال یون کلسیم از کانی‌هایی مثل پلاژیوکلازها و عبور آب‌های سطحی حاوی CO_2 تشکیل شده و در محل درزه و شکاف سنگ‌ها رشد کرده است (شکل ۶ - g-h-i).

۳-۴- ژئوشیمی

بر اساس آنالیزهای حاصله مقدار مس نمونه‌ها در منطقه الوندی بین ۰/۶ تا ۵/۷۵ درصد و عیار میانگین ۱/۶۵ درصد است. نمونه برداشته شده از کانی‌سازی منگنز نیز عیار MnO را در حدود ۱۸/۶ درصد نشان داده است. در منطقه مجاور الوندی نیز فعالیت‌های اکتشافی و بهره‌برداری در منطقه ترکمپور انجام شده است که عیار متوسط مس در نمونه‌های برداشته شده حدود ۱/۷۳ درصد و عیار منگنز بین ۵/۱۷-۱۸/۶۳ درصد را نشان داده است.

۳-۴-۱- تعیین سنگ‌شناسی با استفاده از داده‌های ژئوشیمی

در بیشتر رده‌بندی‌های سنگ‌های رسوبی، ویژگی‌هایی مانند اندازه دانه‌ها، کانی‌شناسی اجزا و ماتریکس که در نمونه‌های دستی یا مقاطع نازک دیده می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما افزون بر این، استفاده از ژئوشیمی و تجزیه‌های عناصر اصلی و فرعی نیز در رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی و همچنین در تفکیک میان رسوبات بالغ و نابالغ، استفاده می‌شود.



شکل۶- a- تصویر میکروسکوپی از قطعات دگرگونی و کوارتز (Qz) و فلدسپار (Fsp) ماسه‌سنگ که اطراف قطعات و بلورها را مالاکیت (Mlc) احاطه کرده است. b- بخش‌های مالاکیتی شده سنگ. c- تصویری از رگچه کربناتی (Cal) که سنگ میزبان را قطع کرده است(PPL).
d-تصویری از بخش‌های اکسید آهن (Fe Oxide) که در اثر هوازدگی تشکیل شده‌اند. e- رگچه کانی اپک که سنگ کربناته را قطع کرده است. f- رگچه سیلیسی که سنگ میزبان و کانی اپک را قطع کرده است(PPL).
g- رگه- رگچه‌های اکسید آهن که رگه- رگچه‌های کربناته (Cal) و سنگ میزبان را قطع کرده است. h- رگه- رگچه‌های کوچک کربناته که سنگ میزبان را قطع کرده و رگچه اکسید آهن نیز آن‌ها را قطع کرده است. i- رگچه کربنات هیدروترمال که سنگ میزبان را قطع کرده است (PPL) [۱]

داده‌های عناصر اصلی نمونه‌های مورد مطالعه، روی نمودار Pettijohn et al (۱۹۸۷) و Herron (۱۹۸۸) رسم شدند که نتایج در شکل‌های a-۷ و b-۷ نشان داده شده است. در نمودار Pettijohn et al (۱۹۸۷) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سنگ‌های لیتارنایت و در نمودار Herron (۱۹۸۸) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده‌های سنگ‌های شیل، وکی و لیتارنایت قرار گرفته‌اند.

۳-۴-۲- بررسی خاستگاه و جایگاه زمین‌شناسی با استفاده از داده‌های ژئوشیمی

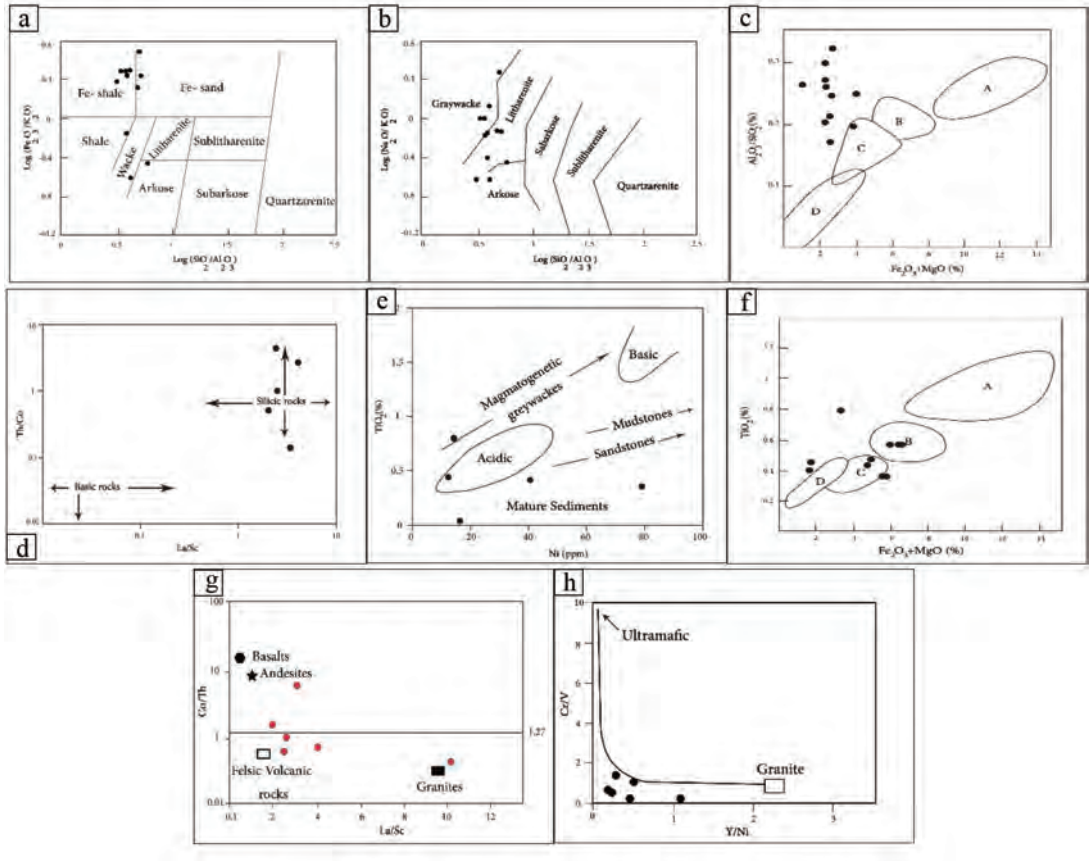
بررسی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های سیلیسی-آواری، برای نمونه ماسه سنگ‌های غنی از ماتریکس، به‌عنوان ابزاری ارزشمند در مطالعات منشأ به شمار می‌رود. برخی از پژوهشگران مانند Bhatia (۱۹۸۳) بر استفاده از ژئوشیمی عناصر اصلی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی بر پایه نمودارهای تفکیکی تأکید کرده‌اند. هر چند Altrin-Armstrong و Verma (۲۰۰۵) نیز به‌دلیل ابهام در نمودارهای تفکیکی، استفاده از ژئوشیمی در تفسیر جایگاه‌های زمین‌ساختی را با احتیاط پیشنهاد کرده‌اند. با این حال، کاربرد عناصر اصلی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی، در سال‌های اخیر همچنان مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶] و [۵] و [۴] و [۳] و [۲].

ترکیب اکسیدهای عناصر اصلی سنگ‌های منطقه الوندی بر روی نمودار Bhatia (۱۹۸۳) (شکل c-۷) و Roser and Korsch (۱۹۸۶) (شکل d-۷) برای مشخص کردن موقعیت زمین‌ساختی آن‌ها، رسم شده است. در این نمودارها، داده‌ها در محدوده جزایر

کمانی قاره‌ای و حاشیه قاره‌ای فعال قرار می‌گیرند. از این نتایج، در بخش بازسازی جغرافیای دیرینه منطقه استفاده خواهد شد. وجود کنگلومرای پلی‌میکتیک، ماسه‌سنگ‌های دانه درشت و غنی از خرده‌سنگ، سیلتستون و مادستون فراوان و همچنین، مقدار ناچیز کوارتزآرنایت در یک سازند نشان از محیط زمین‌ساختی فعال دارد. در این مطالعه با توجه به بررسی سنگ‌شناسی و سنگ‌نگاری انجام شده در منطقه الوندی، مرتبط بودن تشکیل این منطقه با محیط فعال زمین‌ساختی تأیید می‌شود.

۳-۴-۳- بررسی ماهیت سنگ منشأ با استفاده از داده‌های ژئوشیمی

عناصر فرعی مانند Nb، Zr، Hf، Th و La در سنگ‌های اسیدی و عناصری مانند Ni، Cr، Co و Sc در سنگ‌های مافیک فراوان‌تر هستند.[۷] Cullers (۲۰۰۰) از این عناصر برای تفکیک سنگ منشأ استفاده کرده است. دیاگرام‌های مبتنی بر عناصر فرعی از قبیل دیاگرام‌های دوتایی $Ni\text{-}TiO_2$ (شکل ۷-e) و Th/Co-La/Sc نشان‌دهنده سنگ منشأ آذرین فلسیک برای ماسه سنگ‌های منطقه الوندی هستند (شکل ۷-f). نمودار La/Sc در برابر Co/Th ارائه شده توسط Gu et al (۲۰۰۲) در تعیین نوع سنگ مادر استفاده می‌شود (شکل ۷-g). نمونه‌های الوندی در محدوده سنگ‌های فلسیک و دور از سنگ مادر قلیایی قرار می‌گیرند. رسم نمونه‌های الوندی در نمودار Y/Ni در برابر Cr/V (شکل ۷-h) نیز نشان می‌دهد که سنگ‌های سیلیسی- آواری این منطقه از سنگ‌های اسیدی منشأ گرفته‌اند. ماسه‌سنگ‌هایی



شکل ۷-a- تقسیم‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی بر پایه عناصر اصلی نمونه‌ها بیشتر در محدوده سنگ‌های لیتارنایتی قرار گرفته‌اند. b- تقسیم‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی بر پایه عناصر اصلی. نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر در محدوده سنگ‌های شیل، وکی تا لیتارنایت و آرکوز قرار گرفته‌اند. c- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها (اقتباس از Bhatia،1983). A: جزایر کمانی اقیانوسی B: جزایر کمانی قاره‌ای C: حاشیه قاره‌ای فعال D: حاشیه قاره‌ای غیرفعال. d- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها (اقتباس از Bhatia, 1983). شکل e- ترسیم مقادیر TiO_2-Ni که نشان‌دهنده سنگ منشأ اسیدی برای ماسه‌سنگ‌های الوندی است. f- نمودار La/Sc در برابر Th/Co نمونه‌های حاصل تأثیر سنگ‌های مادر اسیدی هستند.[۷] g- نمودار La/Sc در برابر Co/Th نمونه‌ها در محدوده سنگ مادر فلسیک قرار گرفته‌اند (Gu et al., 2002). h- نمودار Y/Ni در برابر Cr/V (McLennan et al., 1993) نمونه‌های الوندی از سنگ‌های مادر اسیدی منشأ گرفته‌اند.

که در موقعیت‌های کوه‌زایی با چرخه دوباره نهشته شده‌اند، مانند ماسه‌سنگ‌های منطقه الوندی، از سپرهای رخنمون یافته، سکوها و سنگ‌های پیسنگ مشتق می‌شوند. همچنین، آن‌ها ممکن است از پیسنگ‌های بلورین زیرین هوازده یا از رسوبات با حمل دوباره حاصل شوند. Korsch و Roser (۱۹۸۶) برای تمایز میان رسوباتی که منشأ اولیه آن‌ها سنگ‌های آذرین مافیک، حد واسط یا فلسیک و یا رسوبات دارای کوارتز است، نمودار متمایز کننده تابعی را پیشنهاد کرده‌اند. در این تابع، اکسیدها به صورت خام در محاسبه استفاده می‌شوند. بیشتر نمونه‌های الوندی در این نمودار در محدوده سنگ منشأ آذرین حد واسط قرار می‌گیرند.

بررسی ۵ نمودار بالا برای تعیین ماهیت سنگ منشأ نشان می‌دهد که نمونه‌های میوسن گستره الوندی در محدوده‌های مختلفی از سنگ منشأهای بازیک و فلسیک قرار می‌گیرند. همچنین، بررسی این نمودارها نشان می‌دهد برخی از عناصر اصلی و فرعی که ممکن است از سنگ‌های بازیک (Fe_2O_3 و Ni)، MgO، Cr، Co و یا از سنگ‌های فلسیک (Th، U، Nb، Ta و Hf) منشأ گرفته باشند. افزون بر این میزان کربنات بیشتر از میانگین ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی است که درصد دیگر عناصر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دلیل آن این است که عناصر اصلی و فرعی نمونه‌های مورد مطالعه از سنگ منشأهای مختلفی تأمین شده‌اند و همپوشانی میزان عناصر نسبت به یکدیگر بر روی نمودارهای مختلف سبب قرارگیری نمونه‌ها در محدوده‌های مختلف شده است. افزون بر این، مطالعات سنگ‌نگاری نیز منشأ چندگانه رسوبات میوسن گستره الوندی را تأیید می‌کند.

۳-۴-۴- آب و هوای دیرینه و هوازدگی منطقه منشأ

آب و هوا بر روی میزان هوازدگی منطقه منشأ مؤثر است، بنابراین با استفاده از ترکیب سنگ‌های آواری می‌توان میزان هوازدگی را برآورد کرد. برای محاسبه هوازدگی شیمیایی از اندیس کولرز[۲] استفاده شده است:

$$CIW' = [Al_2O_3 /(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O)] \times 100$$

مقدار CaO^* شامل تنها CaO موجود در ترکیب سیلیکات است. از آنجا که مقدار سیمان و خرده‌سنگ‌های کربناته در نمونه‌های گستره الوندی بالاست، برای محاسبه CaO^*، مقدار CaO برای نمونه‌هایی که بیشتر از مقدار Na_2O است، برابر با مقدار Na_2O در نظر گرفته شده است. هر چه این اندیس از ۵۰ بیشتر و به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده هوازدگی بیشتر در ناحیه منشأ است. میانگین اندیس کولرز برای رسوبات گستره الوندی، ۸۶/۶ درصد است که نشان از هوازدگی بالا در منطقه منشأ دارد.

مقدار اندیس شیمیایی آلتراسیون[۳] به فرمول زیر در ماسه‌سنگ‌های الوندی ۳۶/۷۳ درصد است:

$$CIA = [Al_2O_3 /(Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)] \times 100$$

اندیس ICV [۴] برای تعیین نوع سنگ منشأ بر پایه ژئوشیمی عناصر اصلی استفاده می‌شود:

$$ICV = [(Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2)/Al_2O_3]$$

در این معادله، CaO شامل همه انواع Ca از جمله سیمان کربناته و خرده‌سنگ‌های آهکی است. مقادیر بالای ICV شامل سنگ منشأهای نابالغ غنی از کانی‌های سیلیکاته بدون رس است؛ در حالی که مقادیر پایین نشان‌دهنده سنگ منشأهای بالغ است. طی فرآیند هوازدگی مقدار ICV به علت تبدیل فلدسپارها به کانی‌های رسی آلومینیم‌دار کاهش می‌یابد، بنابراین تغییرات ICV ممکن است به علت تغییر ترکیب سنگ منشأ یا تغییرات هوازدگی باشد. مقدار ICV برای بازالت حدود ۲/۲، آندزیت ۱/۵ و گرانیت ۰/۹۵ است[۸]. مقدار ICV برای نمونه‌های گستره الوندی به‌طور میانگین ۲/۷۹ است، بنابراین مقدار ICV نمونه‌های الوندی بالاست که ترکیب نابالغ سنگ منشأ را نشان می‌دهد. افزون بر این، از رسم مقدار SiO_2 در برابر $Al_2O_3 + K_2O + Na_2O$ می‌توان به شرایط آب و هوای دیرینه در منطقه منشأ پی برد. این نمودار نشان می‌دهد که آب و هوای دیرینه منطقه منشأ در زمان رسوب‌گذاری خشک بوده است.

از مقایسه ویژگی‌های لایه‌های مس‌دار الوندی با انواع کانسارهای مس رسوبی با توجه به محیط رسوبی، نوع مواد احیاکننده و میزان گسترش زون کانی‌زایی مس در الوندی، می‌توان این لایه مس‌دار را در زمره تیپ bed Red قرار داد (جدول ۳).

۴- نتیجه‌گیری

افق‌های مس رسوبی محدوده الوندی در سکانس‌های ضخیمی از نهشته‌های قرمز اکسیدان تشکیل شده‌اند. این نهشته‌ها عمدتاً در رسوبات مولاسی که در حوضه‌های کششی بعد و یا حین کوهزایی‌ها توسعه یافته است، و از سنگ مادر فلسیک تشکیل شده‌اند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی

2-Chemical index of weathering

3- Chemical Index of Alteration

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های لایه‌های مس‌دار الوندی با انواع کانسارهای مس رسوبی

ویژگی	Sediment-hosted stratiform copper deposit types			Alvandi copper deposit
	Reduced-facies Cu	Revett Cu	Redbed Cu	
محیط ته‌نشست	جزر و مدی	Fan delta حوضه‌های بسته پلایا و محیط‌های ساحلی دیگر	محیط‌های ساحلی و نواحی کم‌عمق	محیط‌های ساحلی و نواحی کم‌عمق
سنگ میزبان	شیل، سیلتستون، کربنات ریفی، شیل دولومیتی	سکانس ضخیم ماسه‌سنگی و به مقدار کمتر سیلتستون، شیل	سکانس تخریبی شامل Redbed، ماسه‌سنگ و کنگلومرا	سکانس تخریبی شامل Redbed، ماسه‌سنگ و کنگلومرا
سن	Late Neoproterozoic & Middle Neoproterozoic	Neoproterozoic – Late Mesozoic – Early Cenozoic	Neoproterozoic – Late Mesozoic – Early Cenozoic	میوسن
ساخت و بافت	دانه پراکنده، جانشینی، لامینه، کلوفرم	دانه پراکنده، جانشینی	دانه پراکنده، جانشینی	دانه پراکنده، جانشینی
جایگاه تکتونیکی	اولاکوژن یا ریفت درون قاره‌ای	ریفت و به طور کلی محیط کششی	ریفت و به طور کلی محیط کششی- نواحی دارای گنبد نمکی	محیط کششی- نواحی دارای گنبد نمکی
ژئومتری	لایه‌ای، عدسی	عدسی، همروند با لایه‌بندی	عدسی، همروند با لایه‌بندی	عدسی، همروند با لایه‌بندی
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، کالکوپیریت، دیژنیت، مس طبیعی، پیریت، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی (گالن، اسفالریت)	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت
دگرسانی غالب	شسته‌شدگی، دولومیتی‌شدن	شسته‌شدگی	شسته‌شدگی	شسته‌شدگی
فراوانی عامل احیا	عامل احیاء گسترده شامل مقدار فراوان algal mat و پیریت	عامل احیا گسترده واریزهای فسیل گیاهی، مواد هیدروکربوری	عامل احیا گستردگی کمتری دارد. واریزهای فسیل گیاهی و پیریت	عامل احیا گستردگی کمتری دارد. واریزهای فسیل گیاهی و پیریت
منبع تأمین‌کننده مس	رسوبات Redbed کمر پایین	توالی Redbed	توالی Redbed	توالی Redbed
عناصر همراه	Co-Ag-Pb-Zn^{+} -Ge^{+}- Au	Ag-Pb-Zn^{+}-(Mo-Re)-V	Ag-Pb-Zn-U^{+}-Co	
عامل کنترل‌کننده	محیط احیا شامل شیل سیاه و سولفید algal mat ، پیریتی و بیوژنتیک- نفوذپذیری رسوبات کمر پایین	نفوذپذیری لایه‌ها، وجود عامل احیا و بعضاً گسل خوردگی	نفوذپذیری لایه‌های ماسه-سنگی، وجود واریزهای فسیل گیاهی	نفوذپذیری لایه‌ها، وجود واریزهای فسیل گیاهی
مثال	Kupferschiefer Zambia deposits Kamoto	Dzhezkazgan Spar Lake	Nacimiento Corocoro	
References	Cox et al., 2007 References Hitzman et al., 2005 Annels, 1989 Haynes, 1986a & 1986b Oszczepalski, 1999 Sweeney et al., 1989	Cox et al., 2007 Gablina, 1981 Adkins, 1993 Hayes & Einaudi, 1986	Woodward et al.,1974 Cox et al., 2007 Thorson, 2005 Avila- Santos, 199(Flint, 1989	تحقیق حاضر

منشأ مس از مناطق کانی‌سازی شده از ارتفاعات بزقوش و نیز ارتفاعات قافلان‌کوه و نهشته‌های ائوسن- الیگوسن جنوب و جنوب شرق منطقه، ارتفاعات قوشاداغی در شمال منطقه است و مس به‌صورت محلول و آواری به صورت قطعات سنگی مینرالیزه به حوضه رسوبی حمل و بعداً تحت فرآیندهای احیایی ابتدا به کالکوسیت و سپس تحت فرآیندهای سوپرژن به مالاکیت و آزوریت تبدیل شده است.

کانی‌سازی منطقه الوندی در نتیجه مهاجرت سیال کانه‌ساز محبوس (Connate water) غنی از مس از طبقات قرمز واقع در مناطق عمیق، در اثر فرآیندهای کوهزایی بعدی که در منطقه به‌صورت نفوذ دیاپیریسم گنبدهای نمکی نمود دارد و باعث ایجاد یک آنومالی گرادیان حرارتی در منطقه شده، تشکیل شده است. سیال مزبور به طرف بالا مهاجرت کرده تا به افق یا واحد ماسه‌سنگی با تخلل و نفوذپذیری مطلوب که همراه با مقادیر مناسبی از مواد احیاکننده مانند آثار فسیلی گیاهی است، دست یافته است. فرآیندهای فشردگی در طی دیاژنز اولیه سبب آغاز مهاجرت سیالات حاوی فلز از طبقات قرمز زیرین به طرف بالا شده است. سیالات از دو طریق شکاف‌ها و گسلش و نیز تراوایی سنگ میزبان امکان نفوذ در میان سنگ‌ها را دارند و از طرفی با توجه به نبود شکاف و گسلش قابل توجه در میان واحدهای سنگی منطقه،

سیالات به دلیل خاصیت نفوذپذیری بالای کنگلومراها، سبب ایجاد دگرسانی‌های موجود در سنگ‌ها شده‌اند. مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه با دیگر کانسارهای نوع Red bed، تشابه این کانی‌سازی را با کانه‌زایی‌های مس با سنگ میزبان رسوبی نوع Red bed را نشان می‌دهد (جدول ۳). شورآبه‌های اکسیدان غنی از مس و گوگرد (سولفاته) نشأت گرفته از لایه‌های قرمز اکسیدان و همچنین تبخیری‌های همراه، حین برخورد با ماسه‌سنگ‌ها و سیلت سنگ‌های غنی از مواد آلی، احیا شده و تهنشینی مس به‌صورت کالکوسیت و سایر سولفیدها (CuS و Cu_2S) رخ داده است. همراهی نهشته‌های گچ، گنبدها و لایه‌های نمکی در ایجاد شورآبه‌های غنی از گوگرد و شوری بالا، نقش اساسی ایفا کرده است؛ این امر با توجه به وجود لایه‌ها و لکه‌های نمکی (گاه به صورت گنبد) و گچی در اغلب افق‌ها و حوضه‌ها، تأیید می‌شود. در ادامه، کمپلکس‌های حاوی کلرید مس موجود در سیالات راه یافته به لایه‌های کنگلومرایی، با گوگرد احیایی حاصل از تجزیه مواد ارگانیکی مواجه شده و جانشین پیریت سین‌دیاژنتیک شده‌اند. به دلیل فرآیندهای هوازدگی گسترده پس از کانه‌زایی و دیگر موارد، کانه‌های کالکوسیت به کوولیت و سپس مالاکیت تبدیل شده‌اند، به گونه‌ای که در حال حاضر جستجوی آثار کالکوسیتی در منطقه با دشواری مواجه است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که در واحدهای کنگلومرایی منطقه الوندی، نخست کانی‌های تهنشین شده در بخش احیایی به‌طور عمده سولفیدهای مس مانند پیریت، کوولیت و کالکوسیت بوده است. در طی اکسیداسیون دوباره و دگرسانی سوپرژن سولفیدها به تشکیل کانی‌های ثانویه چون مالاکیت و آزوریت منجر شده است.

منابع

[1] Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1): 185–187.

[2] Yan, Z., Wang, Z., Yan, Q., Wang, T. and Guo, X., 2012- Geochemical constraints on the provenance and depositional setting of the Devonian Liuling Group, East Qinling Mountains, Central China: Implications for the tectonic evolution of the Qinling Orogenic Belt. Journal of Sedimentary Research, v. 82, p. 9–24.

[3] Alessandretti, L., Philipp, R. P., Chemale Jr, F., Brückmann, M. P., Zvirtes, G., Matté, V. and Ramos, V. A., 2013- Provenance, volcanic record, and tectonic setting of the Paleozoic Ventania Fold Belt and the Claromecó Foreland Basin: Implications on sedimentation and volcanism along the southwestern Gondwana margin. Journal of South American Earth Sciences, v. 47, p. 12–31.

[4] Tao, H., Wang, Q., Yang, X. and Jiang, L., 2013- Provenance and tectonic setting of Late Carboniferous clastic rocks in West Junggar, Xinjiang, China: A case from the Hala-alat Mountains. Journal of Asian Earth Sciences, v. 64, p. 210–222.

[5] Salehi, M. A., Moussavi-Harami, S. R., Mahboubi, A., Wilmsen, M. and Heubeck, C., 2014- Tectonic and paleogeographic implications of compositional variations within the siliciclastic Ab-Haji Formation (Lower Jurassic, east-central Iran). Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie – Abhandlungen, v. 271, p. 21–48.

[6] Armstrong-Altrin, J. S., 2015- Evaluation of two multi-dimensional discrimination diagrams from beach and deep-sea sediments from the Gulf of Mexico and their application to Precambrian clastic sedimentary rocks. International Geology Review 57, p.1446–61.

[7] Cai, G., Guo, F., Liu, X. & Sui, Sh., 2011- Elemental and Sr–Nd isotopic compositions of Cenozoic sedimentary rocks from the Dongying Sag of Jiyang depression, North China: Implications for provenance evolution. Geochemical Journal, v.45, p.33-55.

[8] Valiani, Z. & Rezaee, P., 2014- Chemical characteristics, provenance determination and genesis conditions of clay deposits of the Kahrizak Formation (Early-Late Pleistocene), east of Tehran, Iran. GSTF International Journal of Geological Sciences, v.1, n.2.