

بررسی زمین‌شناسی، کانه‌زایی مس، رفتار زمین‌شیمی عناصر و ارتباط آن با سنگ میزبان ماسه‌سنگی در منطقه

توپچی، استان آذربایجان شرقی

بهال‌الدین نخجوانی^(۱)، سید غفور علوی^(۲) و بهجت نظری^(۳)

۱. دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز

۲. استادیار گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. کارشناس اکتشاف معادن چشمه کنان و توپچی

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۲۵

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۲۵

چکیده

منطقه مورد مطالعه توپچی در شمال غرب تسوج، در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. کانه‌زایی در منطقه توپچی از نوع مس و به‌صورت کانه‌های سولفیدی پیریت، کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت و کانه‌های کربناتی مالاکیت و آزوریت در داخل سنگ‌های رسوبی ماسه‌سنگی به سن میوسن رخ داده است. بر اساس شاخص تنوع ترکیبی (ICV) تشکیل ماسه‌سنگ‌های کانه‌زایی شده منطقه توپچی در چرخه اول رسوبی بوده که به‌واسطه حضور دانه‌ها و کانی‌های ناپایداری همچون خرده‌سنگ، فلدسپار و کانی‌های مافیک تایید می‌شود. بررسی سنگ منشا و نوع کانه‌زایی اتفاق افتاده در این ماسه‌سنگ‌ها، نیز نشان‌دهنده تشکیل آنها از فرسایش سنگ‌های آذرین مافیک تا حد واسط در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک بوده است. مطالعات ژئوشیمیایی دو متغیره و چند متغیره نمونه‌های کانه‌زایی شده، نشان‌دهنده وجود همبستگی بسیار خوب مس-نقره و روی با همدیگر است که به دلیل رفتار مشابه ردکس این عناصر می‌باشد. نوع سنگ میزبان کانه‌زایی شده، کانه‌شناسی کانسنگ، ساخت و بافت کانه‌ها، نوع دگرسانی و عامل احیا کننده و کنترل‌کننده کانه‌زایی (بقایای گیاهی) و نهایتاً مقایسه آنها با کانسارهای شناخته شده در ایران نشان‌دهنده رخداد کانه‌زایی مس رسوبی نوع Red Bed در این منطقه است.

واژه‌های کلیدی: توپچی، تسوج، کالکوسیت، شاخص تنوع ترکیبی، مس رسوبی.

مقدمه

قرار گرفته و لذا شناسایی و اکتشاف این تیپ کانسارها در ایران ضروری به نظر می‌رسد. در دنیا نهشته‌های مس رسوبی از دیدگاه گسترش زمانی و مکانی، توزیع گسترده‌ای از پروتروزوییک تا سنوزوییک داشته و به لحاظ تولید مس در درجه دوم اهمیت بعد از کانسارهای مس پورفیری دارند. این کانسارها مهم‌ترین منبع

با توجه به قرارگیری ایران در کمربند کوهزایی آلپ-همیالیا و گسترش رخدادهای کانه‌زایی متعدد پورفیری، اسکارنی، رگه‌ای، سولفید توده‌ای مس و تمرکز بر روی اکتشاف و استخراج این نوع کانسارها، کانسارهای مس با میزبان رسوبی تاکنون در ایران کمتر مورد بررسی و مطالعه

* نویسنده مرتبط: Ghaforalavi@yahoo.com

بخشی از این زیر پهنه به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، پاراژنز عنصری و نقش احتمالی سنگ منشا در کانه‌زایی عناصر همراه مورد مطالعه قرار گرفته است.

روش مطالعه

مرحله اول این پژوهش شامل طراحی مسیرهای پیمایش به‌صورت پروفیل‌های عمود بر امتداد لایه‌بندی کلی واحد ماسه‌سنگی و متعاقباً انجام پیمایش‌های صحرایی، شناسایی لایه‌های کانه‌زایی شده و برداشت ۱۰۰ نمونه مینرالیزه از این لایه‌ها بوده است. مرحله بعدی شامل بخش آزمایشگاهی و دربرگیرنده تهیه و مطالعه ۲۰ مقطع نازک-صیقلی جهت بررسی و شناسایی سنگ میزبان و کانه‌زایی، ساخت و بافت کانیایی و آنالیز ۷۰ نمونه لیتوژئوشیمیایی به روش پلاسما جفت شده القایی (ICP-OES) و فلورئورسانس پرتو X (XRF) در آزمایشگاه شرکت تحقیقات کانی‌شناسی و زمین‌شناسی کان پژوه بوده (جدول ۱ و ۲) که پس از اخذ نتایج آزمایش‌ها، نسبت به تعیین شرایط هوازگی دیرین، منشا سنگ مادر ماسه‌سنگ‌ها بر اساس اکسید عناصر اصلی اقدام و نهایتاً مطالعات ژئوشیمیایی تک متغیره، دو متغیره و چند متغیره جهت بررسی ارتباط ژنتیکی عناصر و پاراژنز عنصری انجام گرفت.

بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

در منطقه تسوج نهشته‌های دگرگونی به سن پرکامبرین به‌عنوان پی‌سنگ و قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه در بلندی‌های کوه علمدار (شرق کانسارهای مس رسوبی چهرگان، چشمه کنان و توپچی) برونزد داشته که توسط واحدهای جوان‌تر از پرکامبرین تا عهد حاضر احاطه یا پوشیده شده‌اند (خدابنده و امینی‌فضل، ۱۳۷۲). واحدهای برونزد یافته در محدوده معدنی توپچی به‌عنوان بخشی از منطقه تسوج، شامل واحدهای ماسه‌سنگی-مارنی و بعضاً شیلی، شیل-مارنی همراه با میان لایه‌های ماسه‌سنگی، واحد مارنی با میان لایه‌های ژیبسی، واحد کنگلومرا-ماسه‌سنگی به سن میوسن و رسوبات آبرفتی به سن کواترن می‌باشد (نخجوانی، ۱۳۹۴). نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

تامین کبالت دنیا (کمر بند آفریقای مرکزی) بوده و علاوه بر نقره می‌تواند منابع مهمی برای عناصر اورانیوم و عناصر نادر خاکی به‌حساب آیند (Hitzman et al., 2005).

اندیس‌های مس رسوبی ایران در سازندهای مختلفی نظیر سازند نایبند (تریاس پایانی)، سازند گردو (ژوراسیک پایانی-ابتدای کرتاسه زیرین)، سازند قرمز فوقانی (میوسن) و همراه گنبد‌های نمکی پهنه زاگرس (پرکامبرین-کامبرین) گزارش شده که از این میان سازندهای نایبند، گردو و قرمز بالایی عمده‌ترین سازندهای حاوی کانی‌سازی مس رسوبی در ایران هستند (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶)، (نقی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶)، (سامانی، ۱۳۸۹)، (آقازاده و بدرزاده، ۱۳۸۹)، (پناه‌زاده، ۱۳۸۹)، (ساداتی، ۱۳۹۳)، (بیکدلی و همکاران، ۱۳۹۴)، (نخجوانی، ۱۳۹۴)، (عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۵). البته در منطقه قره آجاج ماکو و در داخل نهشته قاره‌ای کنگلومرای پلیوسن، کانه‌زایی مس به‌صورت کوپریت، تنوریت و مس طبیعی شناسایی و معرفی شده است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴) که به دلیل نبود عوامل احیاکننده فسیل گیاهی، پاراژنز کانیایی خاص، نبود توالی قرمز رنگ اکسیده، با کانسارهای مس رسوبی در سازندهای اشاره شده قبلی متفاوت می‌باشد.

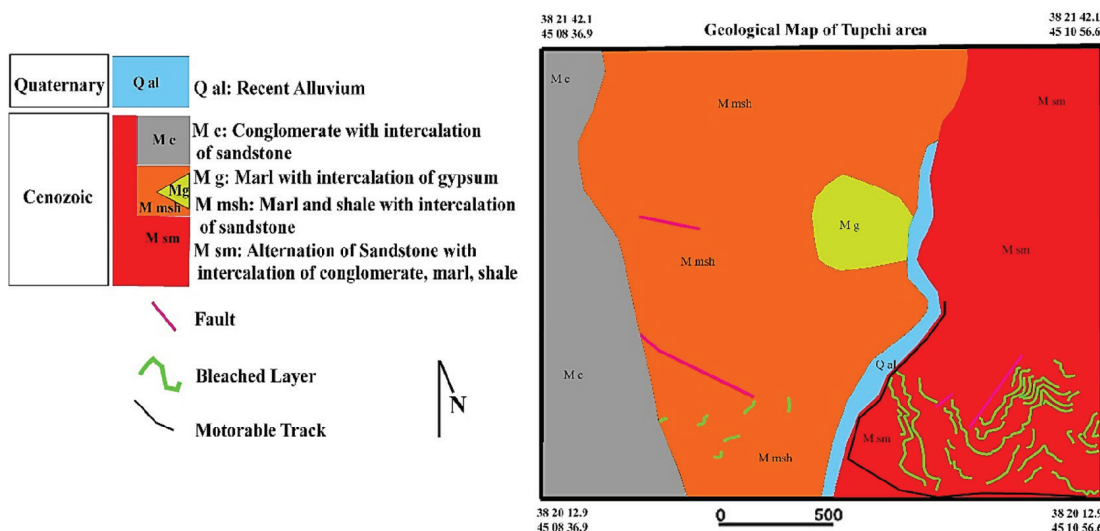
منطقه مورد مطالعه در غرب نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰

تسوج و در طول‌های شرقی $36^{\circ} 08' 45''$ تا $36^{\circ} 08' 45''$ و عرض‌های شمالی $38^{\circ} 21' 42''$ تا $38^{\circ} 20' 12''$ در استان آذربایجان شرقی و ۲۰ کیلومتری شمال غرب شهر تسوج واقع شده و بخشی از پهنه ایران مرکزی (آقاناتی، ۱۳۸۳) و زیر پهنه ماکو-تبریز (نبوی، ۱۳۵۵) می‌باشد. زیر پهنه ماکو-تبریز دربرگیرنده سیستم مس رسوبی متعددی نظیر کانسار قره آجاج ماکو با میزبان کنگلومرای پلیوسن (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، کانسارهای با میزبان سازندهای قرمز فوقانی نظیر چهرگان تسوج (پناه زاده، ۱۳۸۹)، چشمه‌کنان تسوج (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲)، توپچی تسوج (نخجوانی، ۱۳۹۴)، سرخه مرند (حسن‌پور، ۱۳۹۳)، تازه‌کند تبریز (عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۵)، نهند و ایوند تبریز (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳) می‌باشد.

در این پژوهش اندیس مس رسوبی توپچی به‌عنوان

ادامه جدول ۲.

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	BaO	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	LOI
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CH-362	۴۹/۵۶	۱۰/۶۷	۰/۳	۱۱/۹۲	۰/۸	۴	۱/۳۷	۶/۱۸	۰/۹	۲/۶۲	۰/۷	۰/۳	۰/۵۳	۱۲/۸۶
CH-363	۴۷/۵۱	۹/۹۹	۰/۳	۱۳/۴۶	۰/۵	۳/۲۸	۱/۴۹	۶/۱۶	۰/۹	۲/۲	۰/۹	۰/۳۷	۰/۴۴	۱۴/۲۲
CH-364	۴۷/۶۳	۹/۸۶	۰/۳	۱۳/۴۱	۰/۶	۳/۱۳	۱/۴۵	۶/۹۷	۰/۹	۲/۰۳	۰/۹	۰/۴	۰/۵	۱۴/۶۱
CH-365	۵۱/۸۳	۱۰/۸۹	۰/۳۳	۱۰/۵۸	۰/۹	۳/۲۳	۱/۹۳	۵/۶۹	۰/۸	۲/۳۲	۰/۸	۰/۳۷	۰/۵۶	۱۱/۵۵
CH-366	۴۵/۶۲	۹/۷۵	۰/۶	۱۴/۵۷	۰/۶	۳/۴۲	۱/۵۶	۶/۵۸	۰/۱	۱/۸	۰/۱۱	۰/۳۷	۰/۵۳	۱۵/۶۶
CH-368	۴۹/۶۴	۹/۶۵	۰/۱	۱۱/۹۱	۰/۸	۳/۶۴	۱/۱۶	۷/۲۸	۰/۱	۲/۰۴	۰/۸	۰/۷	۰/۴۲	۱۳/۵۵
CH-369	۴۹/۰۶	۹/۴۴	۰/۷	۱۳/۱	۰/۱	۳/۹۶	۱/۱۴	۶/۴	۰/۱	۲/۰۹	۰/۸	۰/۷	۰/۴۸	۱۳/۹
CH-371	۵۰	۱۰/۳	۰/۸	۱۱/۵۳	۰/۸	۳/۶۲	۱/۲۱	۶/۷۳	۰/۹	۲/۱۶	۰/۹	۰/۷	۰/۵۳	۱۳/۲۲
CH-372	۴۹/۱۳	۱۰/۳۲	۰/۵	۱۱/۷۷	۰/۹	۳/۲۷	۱/۴۳	۶/۴	۰/۱	۲/۱۸	۰/۸	۰/۶	۰/۵۳	۱۳/۵۵
CH-800	۵۱/۴۴	۱۰/۷۶	۰/۹	۱۳/۰۹	۰/۷	۳/۲۷	۱/۴۹	۵/۸۲	۰/۹	۲/۶۷	۰/۸	۰/۹	۰/۴۴	۱۳/۵۱
CH-802	۴۸/۵۷	۹/۷	۰/۷	۱۲/۶۵	۰/۱۳	۳/۵۶	۱/۳۷	۷/۰۹	۰/۱۱	۱/۹۳	۰/۹	۰/۸	۰/۶	۱۳/۸
CH-803	۴۹/۷۳	۱۰/۴۴	۰/۱۴	۱۰/۷۹	۰/۱	۳/۸۷	۱/۶۹	۷/۵۹	۰/۱	۱/۹۷	۰/۷	۰/۱	۰/۵۶	۱۲/۶۸
CH-804	۴۹/۴۵	۱۰/۳۳	۰/۱	۱۱	۰/۱۳	۳/۷۵	۱/۶۳	۶/۷۸	۰/۱	۱/۹۸	۰/۹	۰/۳۱	۰/۶۱	۱۲/۹۹
CH-805	۴۸/۹	۱۰/۷۹	۰/۵	۱۳/۰۳	۰/۹	۳/۳۷	۱/۶۱	۵/۴۴	۰/۱	۲/۳۷	۰/۸	۰/۳۱	۰/۵۳	۱۳/۶۲
CH-807	۴۹/۶	۱۰/۳۴	۰/۵	۱۱/۸۹	۰/۷	۳/۲۸	۱/۴۶	۶/۹۲	۰/۱	۲/۰۵	۰/۸	۰/۷	۰/۴۹	۱۳/۲۸
CH-808	۴۹/۲۳	۱۰/۲۸	۰/۱۱	۱۱/۶۸	۰/۱۱	۳/۹۴	۱/۲۶	۶/۷۵	۰/۱	۲/۱۷	۰/۹	۰/۱	۰/۶	۱۳/۲۵
CH-811	۴۹/۵۳	۱۰/۵۹	۰/۱۱	۱۰/۸۶	۰/۸	۳/۸۳	۱/۲۲	۷/۲۸	۰/۹	۲/۱۲	۰/۱	۰/۹	۰/۵۴	۱۳/۰۷
CH-812	۵۰/۱۴	۱۰/۰۹	۰/۶	۱۱/۶	۰/۱۲	۳/۸	۱/۳۱	۶/۹۹	۰/۱	۲/۰۶	۰/۸	۰/۱۱	۰/۵۵	۱۳/۵۵
CH-814	۴۹/۴۴	۱۰/۷۳	۰/۵	۱۲/۲۷	۰/۷	۲/۷۸	۱/۳	۶/۸۱	۰/۱	۲/۴۵	۰/۸	۰/۷	۰/۴۸	۱۳/۲۳
CH-815	۵۰/۳۳	۱۰/۲۸	۰/۵	۱۲/۹۷	۰/۱۲	۴/۳۶	۱/۳۱	۷/۸۴	۰/۱	۱/۹۱	۰/۸	۰/۷	۰/۵۶	۱۰/۰۲
CH-816	۵۰/۱۳	۱۰/۰۳	۰/۴	۱۱/۱۷	۰/۱	۴/۳۷	۱/۵۴	۷/۵۷	۰/۱۱	۱/۷۹	۰/۱	۰/۵	۰/۶۷	۱۲/۳۳
CH-817	۴۹/۶۳	۱۰/۵۸	۰/۴	۱۲/۶۱	۰/۷	۳/۵۷	۱/۶۹	۵/۹	۰/۹	۲/۴۳	۰/۸	۰/۷	۰/۴۷	۱۲/۶۷
CH-818	۴۸/۸۳	۱۰/۸۲	۰/۸	۱۲/۸۶	۰/۷	۳/۰۹	۱/۶۴	۶/۲۶	۰/۹	۲/۳۷	۰/۸	۰/۸	۰/۴۹	۱۳/۲۴
CH-819	۴۸/۶۲	۱۰/۱۴	۰/۳	۱۲/۶۳	۰/۶	۳/۲۵	۱/۳۲	۷/۵۸	۰/۹	۱/۹	۰/۷	۰/۷	۰/۴۴	۱۳/۸
CH-823	۴۸/۵۶	۱۰/۴۲	۰/۱۱	۱۲/۱	۰/۱۵	۴/۱۲	۱/۴۲	۶/۷۱	۰/۹	۲/۱۴	۰/۸	۰/۱۱	۰/۷	۱۳/۱
CH-825	۴۸/۰۶	۱۰/۱	۰/۱	۱۲/۵۹	۰/۱۱	۳/۶۲	۱/۲۷	۶/۵۱	۰/۱	۲/۲۲	۰/۷	۰/۳۱	۰/۴۹	۱۳/۵۵
CH-829	۴۸/۴۸	۱۰/۲	۰/۶	۱۳/۳	۰/۱۱	۳/۶۱	۱/۲۲	۶/۴۳	۰/۱	۲/۲	۰/۸	۰/۶	۰/۵۱	۱۳/۸۲
CH-830	۴۶/۸۱	۹/۸	۰/۱۳	۱۳/۴۶	۰/۸	۳/۶۸	۱/۲۹	۶/۴۶	۰/۱	۱/۹۸	۰/۸	۰/۱۶	۰/۵۱	۱۴/۴۶
CH-831	۴۸/۲۱	۱۰/۲۱	۰/۴	۱۲/۵۶	۰/۹	۳/۸۵	۱/۲۵	۶/۷۶	۰/۱	۲/۰۹	۰/۸	۰/۶	۰/۵۳	۱۳/۷۹
CH-832	۴۷/۹۹	۱۰/۱۹	۰/۱۵	۱۳/۰۳	۰/۱۶	۳/۸۱	۱/۱۱	۵/۶۱	۰/۹	۲/۴۲	۰/۷	۰/۱۵	۰/۶۴	۱۳/۹۷
CH-833	۴۸/۸۳	۱۰/۱۷	۰/۱۸	۱۲/۳۵	۰/۱۳	۳/۷۳	۱/۲۷	۶/۰۱	۰/۹	۲/۳۴	۰/۷	۰/۳۱	۰/۵۲	۱۳/۳۳
CH-834	۴۸/۲۶	۹/۷۸	۰/۵	۱۴/۶۹	۰/۸	۳/۲۱	۱/۵۷	۶/۸۲	۰/۱	۲/۳۷	۰/۹	۰/۲۱	۰/۴۷	۱۴/۲۳
CH-835	۴۶/۷۸	۱۰/۱۹	۰/۱۹	۱۳/۰۵	۰/۸	۳/۳۵	۱/۷۷	۶/۰۱	۰/۱	۱/۹۲	۰/۱	۰/۵۸	۰/۵۵	۱۳/۶۱
CH-836	۴۹/۰۷	۹/۵	۰/۸	۱۲/۲۹	۰/۱	۳/۹۳	۱	۷/۵۱	۰/۱	۱/۹۳	۰/۷	۰/۸	۰/۴۶	۱۳/۶۴
CH-837	۴۷/۸۵	۹/۵۹	۰/۸	۱۲/۳۹	۰/۱۵	۴/۴۹	۰/۹۷	۷/۹	۰/۱	۱/۷۹	۰/۸	۰/۸	۰/۶۵	۱۳/۶۷
CH-838	۵۰/۰۲	۹/۸۴	۰/۷	۱۲/۰۵	۰/۱۵	۴/۱	۱/۳	۶/۵۲	۰/۹	۲/۲۱	۰/۹	۰/۹	۰/۶۷	۱۳/۶۸
CH-839	۴۸/۵۷	۹/۹۳	۰/۷	۱۲/۷۷	۰/۷	۳/۶۱	۱/۲۹	۷/۵۹	۰/۱	۱/۸۸	۰/۹	۰/۹	۰/۴۸	۱۳/۴۷



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ ساده شده منطقه مورد مطالعه (نخجوانی، ۱۳۹۴)

ماسه‌سنگ است که در طی مراحل اول دیاژنز آهن از شبکه کانی‌های فرو منیزی نظیر پیروکسن، آمفیبول، میکا شسته شده و به‌صورت هیدروکسید آمورف بر روی دانه‌ها قرار گرفته و سپس در طی مراحل بعدی دیاژنز به هماتیت تبدیل شده‌اند (Tucker, 2001). لایه‌های مارنی و شیلی واحد M^{sm} به‌عنوان لایه نفوذناپذیر برای هدایت جریان آب درون‌سازندی در یک افق مشخص عمل کرده و از سوی دیگر پوشیده شدن این ماسه‌سنگ‌ها توسط رسوبات مارنی و شیلی باعث شده تا اکسیژن محیط نتواند با مواد آلی واکنش داده و آنها را اکسید کند. لایه‌های ماسه‌سنگی دگرسان شده معمولاً دارای گسترش جانبی چند ده متر تا چند صد متر است و به‌طور جانبی به ماسه سنگ‌های قرمز رنگ فاقد کانه‌زایی ختم می‌شوند (شکل ۳). از ساخت‌های رسوبی مشاهده شده در ماسه سنگ‌ها می‌توان به ریپل مارک و کراس بدینگ اشاره کرد که این ساخت‌ها نشان‌دهنده نهشته شدن در یک منطقه ساحلی و کم‌عمق است (شکل ۴). به نظر می‌رسد بالاتر بودن میزان تخلخل در لایه‌های ماسه سنگی درشت دانه، وجود بقایای مواد گیاهی و پیریت‌های حاصل از دیاژنز باعث تمرکز انتخابی کانی زایی مس در همراهی با دگرسانی نوع شسته شدن در آنها شده است. البته در واحد مارن و شیلی M^{msh} که گاهی دارای میان‌لایه‌های ماسه سنگی درشت دانه و دارای بقایای گیاهی است، دگرسانی شسته شدن و کانه‌زایی محدود مس حادث شده است.

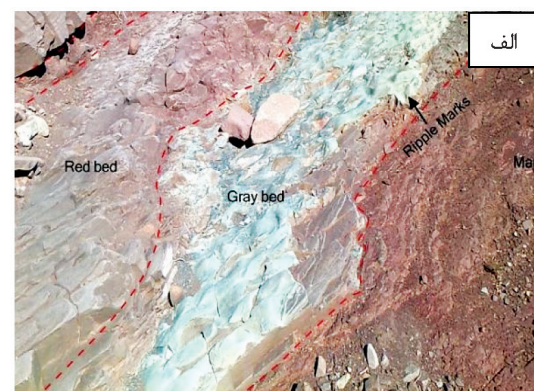
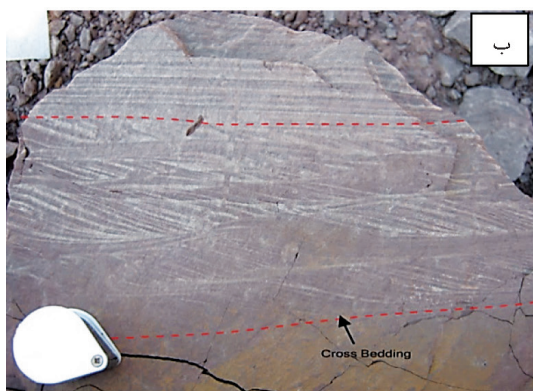
در منطقه تسوج و به‌طور شاخص در این محدوده، غالب کانه‌زایی مس در واحد M^{sm} حادث گردیده که این واحد شامل تناوب ماسه‌سنگ قرمز-سبز-خاکستری (گاهاً دارای میان لایه‌های میکروکنگلومرایی)، مارن و بعضاً شیل بوده که نسبت به سایر واحدهای میوسن زیرین در منطقه از گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است (شکل ۲). به‌طوری‌که اکثر واحدها یا به‌صورت عدسی‌های بزرگ در درون این واحد قرار گرفته و یا به‌طور جانبی به آن تبدیل می‌شوند. در این منطقه واحد مذکور بخش عمده‌ای را به خود اختصاص داده و ریختار خشن و کوه‌های مرتفع منطقه، رخنمون‌های مربوط به این واحد می‌باشند. در بخش ماسه‌سنگی درشت دانه واحد M^{sm} که به‌عنوان کانال‌های قدیمی و به رنگ عمومی سبز-خاکستری هستند، کانه‌زایی مس به‌صورت کانه‌های سولفیدی اولیه مس و کانی‌های ثانویه کربناتی مس در همراهی با بقایای گیاهی بچشم می‌خورد. به علت وجود بقایای گیاهی و غالب بودن شرایط احیایی در این بخش، دگرسانی شسته شدن در اثر شسته شدن آهن و خارج شدن از سیستم حادث گردیده است (Weibela and Friisb, 2004). در این واحد و در لایه‌های ریز دانه قرمز-قهوه‌ای که به‌صورت متناوب با این لایه‌های سبز-خاکستری قرار دارند، اندازه دانه‌ها ریزتر شده و از میزان مواد ارگانیکی بشدت کاسته شده و اغلب این مواد حضور ندارند. علت رنگ قرمز به خاطر وجود هماتیت به‌صورت پوشش بر روی دانه‌ها و به فرم ریز دانه در ماتریکس



شکل ۲. الف و ب) نمایی از واحد ماسه‌سنگی-مارنی میوسن، ب) میان لایه میکرو کنگلومرایی در لایه‌های مینرالیزه ماسه‌سنگی سبز-خاکستری رنگ



شکل ۳. الف و ب) تناوب ماسه‌سنگ و مارن که ماسه‌سنگ سبز-خاکستری کانه‌زایی شده به‌طور جانی به ماسه‌سنگ قرمز فاقد کانه‌زایی تبدیل می‌شوند



شکل ۴. الف) ساخت رسوبی ریپل مارک، ب) ساخت رسوبی طبقه‌بندی مورب در ماسه‌سنگ

از کانه‌های اولیه‌ای که در بخش ماسه‌سنگ سبز-خاکستری محدوده توپچی تشکیل شده، می‌توان به پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت اشاره نمود (شکل ۶-الف، ب). بر اساس مطالعات مینرالوگرافی انجام گرفته توالی پارائزنی این کانه‌ها به‌صورت زیر معرفی می‌شود که نشان‌دهنده افزایش میزان مس نسبت به گوگرد است.

کالکوپیریت ← بورنیت ← کالکوسیت ← پیریت

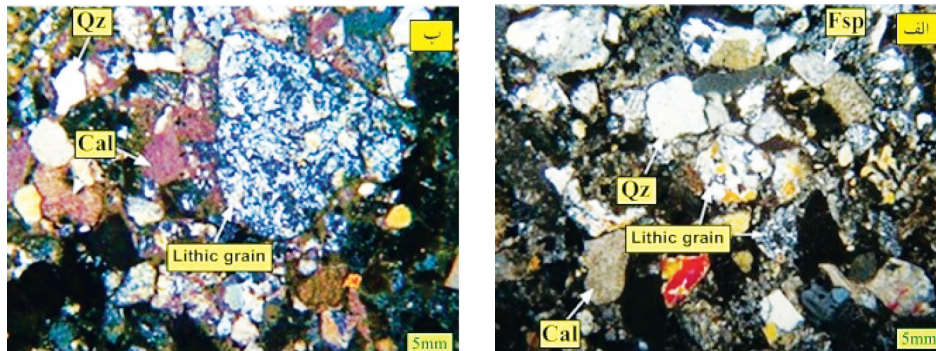
بر اساس مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته پیریت به دو صورت پیریت دانه درشت با بافت فرامبوئیدال و پیریت دانه ریز با بافت افشان قابل شناسایی بوده که به نظر می‌رسد پیریت‌های فرامبوئیدال در مرحله هم‌زمان با رسوب‌گذاری و تحت تاثیر احیای باکتریایی سولفات و پیریت‌های افشان در مرحله دیاژنز اولیه و تبدیل آهن موجود در سیستم به پیریت تشکیل شده که در مراحل دیاژنز تاخیری کانه‌های سولفیدی مس جانشین آن شده‌اند. البته در منطقه چهرگان

مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری

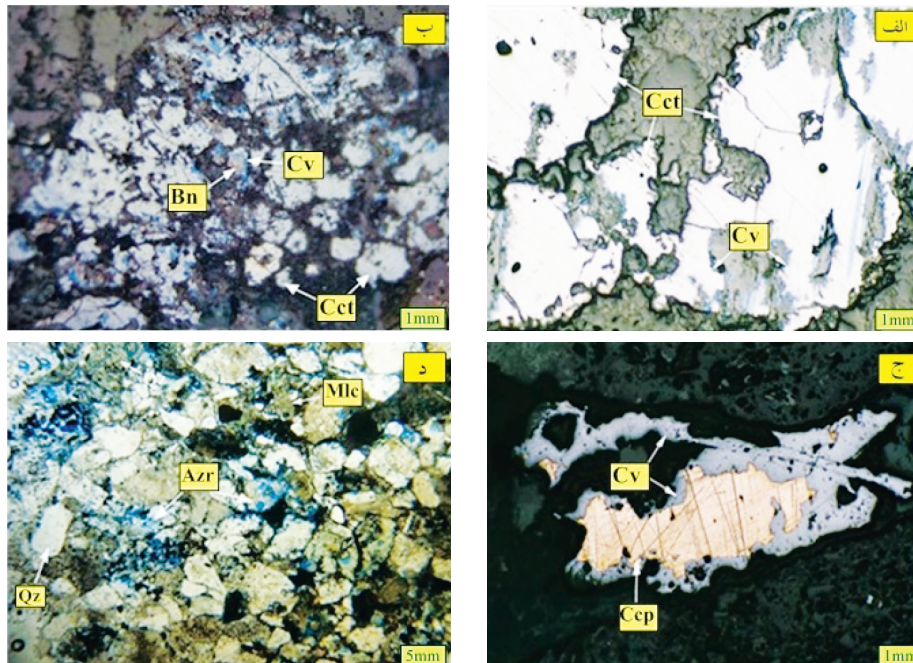
بر اساس مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته کوارتز به‌عنوان اصلی‌ترین کانی، در اکثر نمونه‌ها بیش از ۵۰ درصد دانه‌های سنگ را تشکیل داده و دارای مقادیر قابل توجهی از کانی‌های فلدسپار پتاسیم و پلاژیوکلاز می‌باشند. علاوه بر این کانی‌ها، خرده سنگ، چرت، میکا و کلریت نیز از دیگر مشکله‌های ماسه سنگ‌های کانه‌زایی شده بوده که این اجزای آواری توسط کانی‌های رسی، سیمان کلسیتی و اکسید آهن به همدیگر متصل شده‌اند (شکل ۵-الف، ب). از دیگر مشکله‌های تشکیل‌دهنده این ماسه سنگ‌ها می‌توان به بقایای گیاهی غالباً به‌صورت کشیده اشاره کرد که این گیاهان متعلق به محیط خشکی می‌باشند. بر اساس تقسیم‌بندی (Folk, 1980) و بر پایه نسبت فراوانی کانی‌های کوارتز-فلدسپار-خرده سنگ، این ماسه سنگ‌ها دارای ترکیب لیتارنایت تا ساب لیتارنایت می‌باشند.

مس لایه‌های مینرالیزه با اندازه دانه‌های تشکیل دهنده ماسه سنگ‌ها، میزان دگرسانی فلدسپارها و میزان مواد ارگانیکی نشان دهنده رابطه مستقیم و با میزان رس موجود در نمونه‌ها رابطه معکوس وجود دارد (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته علت همخوانی و ارتباط مستقیم میزان مس و درصد فلدسپارهای دگرسان شده می‌تواند به دلیل حضور کانه‌های مس‌دار در حفرات حاصل از انحلال دانه‌های فلدسپار باشد.

که در شرق این محدوده قرار دارد علاوه بر پیریت‌های افشان، برخی از پیریت‌ها به صورت جانشینی در بافت‌های گیاهی و پرکنندگی فضاهای خالی پیروپیتومین هستند (پناه زاده، ۱۳۸۹). نهایتاً تحت تاثیر فرآیندهای سوپرژن، کانه‌های سولفیدی مس دچار دگرسانی شده و به کولیت و کانه‌های کربناتی مس (مالاکیت و آزوریت) تبدیل شده‌اند (شکل ۶ ج، د). بر پایه مطالعات انجام گرفته در منطقه چشمه‌کنان که در شرق محدوده توپچی قرار دارد، میزان



شکل ۵. الف و ب) کوارتز، فلدسپار و خرده سنگ به عنوان مشکله‌های اصلی ماسه سنگ که توسط سیمان کلسیتی به هم وصل شده‌اند، (Qz-کوارتز، Fsp-فلدسپار، Cal-کلسیت، Lithic grain-خرده سنگ). علایم کانی‌ها بر اساس مقاله (Whitney and Evans, 2010)



شکل ۶. الف و ب) تبدیل بورنیت به کالکوسیت تحت تاثیر شورا به‌های مس‌دار و جانشینی کالکوسیت توسط کولیت تحت تاثیر فرآیندهای سوپرژن، ج) جانشینی کالکوپیریت توسط کولیت تحت تاثیر فرآیندهای سوپرژن، د) تشکیل مالاکیت و آزوریت تحت فرآیندهای سوپرژن و به صورت پوشش روی دانه‌ها و پرکننده شکستگی‌ها، (Cct-کالکوسیت، Cv-کولیت، Bn-بورنیت، Ccp-کالکوپیریت، Qz-کوارتز، Mlc-مالاکیت و Azr-آزوریت) علایم کانی‌ها بر اساس مقاله (Whitney and Evans, 2010)

کانه‌زایی

در منطقه توپچی نظیر محدوده‌های چشمه‌کنان و چهرگان قرار گرفته در شرق آن، کانه‌زایی مس در واحد ماسه‌سنگی Msm در افق‌های ماسه سنگی سبز-خاکستری درشت دانه رخ داده است. کانه‌زایی ماکروسکوپی مشاهده شده در این ماسه سنگ‌ها غالباً به صورت کانه‌های کربناتی مالاکیت و آزوریت به همراه مقادیر کمی کالکوسیت بوده که به صورت دانه‌های پراکنده، شبه لامینه و عدسی شکل تشکیل شده‌اند (شکل ۷-الف، ب). به نظر می‌رسد بقایای گیاهی در این ماسه سنگ‌ها مهم‌ترین عامل احیاکننده بوده و به همراه پیریت نقش اساسی در کنترل‌کننده کانه‌زایی داشته است. این واحد رسوبی شامل دو زیر پهنه اصلی با مشخصات زیر می‌باشند:

الف) پهنه اکسیدان قرمز رنگ: این پهنه شامل لایه‌های ماسه‌سنگی ریز دانه و مارنی قرمز رنگ بوده که در بالا، پایین و کنار پهنه احیایی قرار دارد. علت رنگ قرمز این لایه‌ها، آزاد شدن هیدروکسیدهای آهن در طی مراحل اولیه دیاژنز و تبدیل شدن آن به هماتیت می‌باشد که به صورت پوششی کانی‌های تشکیل‌دهنده ماسه سنگ‌ها و مارن‌ها را در بر گرفته است.

ب) پهنه شسته شده و به‌طور بخشی کانه‌زایی شده: این پهنه شامل ماسه سنگ‌های دانه درشت‌تر و گاهاً با میان‌لایه‌های میکروکنگلومرایی و به صورت کانال‌های قدیمی بوده که طی مراحل اولیه دیاژنز و به دلیل تاثیر سیال احیایی ایجاد شده در مجاورت بقایای گیاهی، Fe^{3+} به Fe^{2+} محلول تبدیل شده و بخشی از آهن آزاد شده از شبکه کانی‌ها تبدیل به پیریت‌های پراکنده شده‌اند.

در طی مراحل اولیه دیاژنز و در بخش ماسه‌سنگی ریزدانه و مارنی قرمز رنگ، اکثر مس و سایر فلزات غیر آهنی از شبکه کانی‌های تخریبی نظیر بیوتیت، آمفیبول، پیروکسن و ... طی فرایند هیدرولیز، وارد آب‌های درون سازندی شده (Hitzman, 2005) و بخشی از این فلزات نیز توسط هیدروکسیدهای آهن و یا کانی‌های رسی جذب گردیده و در طی ادامه فرایند دیاژنز و تبدیل هیدروکسید آهن به هماتیت وارد آب‌های درون منفذی شده‌اند

(Rose and Bianchi-Mosquera, 1993). سپس در اثر فشار لیتواستاتیکی به وجود آمده در طی فرایند دیاژنز تاخیری، آب حاوی کمپلکس‌های کلریدی دارای منشا دریایی و به تله افتاده در طی رسوب‌گذاری، همراه با آب حاصل از فرایند آبدایی ژئوپس، هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های رسی، مخلوط شده و ضمن حمل نمودن عناصر فلزی غیر آهنی، به سمت مناطق با فشار پایین و با تخلخل بالا حرکت نموده و در ماسه سنگ‌های دانه درشت‌تر و احیایی که بقایای گیاهی و پیریت حضور داشته‌اند، کانه‌زایی سولفیدی مس به صورت جان‌شینی در بقایای گیاهی و پیریت حادث شده و نهایتاً این کانه‌ها در طی فرآیندهای هوازدگی سوپرژن به کانه‌های کربناتی مس تبدیل شده‌اند.

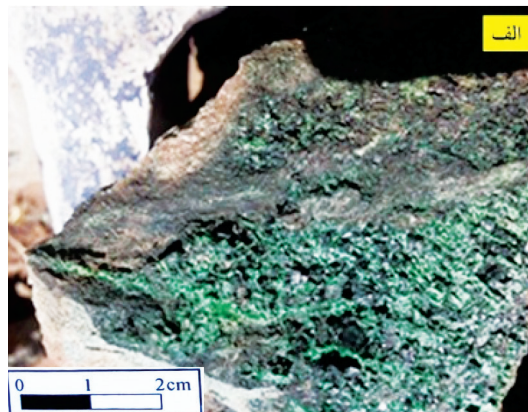
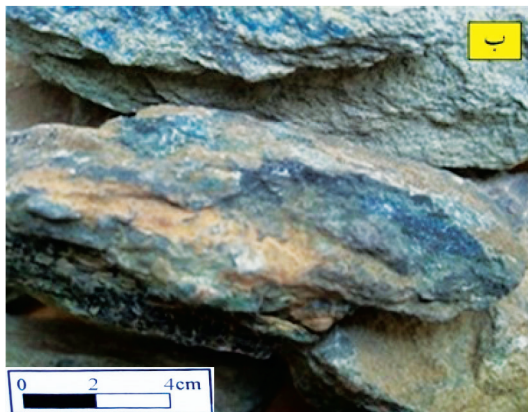
مقایسه سنگ‌های میزبان کانه‌زایی، کانه‌شناسی کانسنگ، ساخت و بافت، فرم دگرسانی، عامل احیاکننده و کنترل‌کننده کانه‌زایی با کانسارهای مس رسوبی معرفی شده چشمه‌کنان (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲)، چهرگان (پناه‌زاده، ۱۳۸۹)، تازه‌کند (عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۵) در منطقه آذربایجان، چهرآباد (بیکدلی و همکاران، ۱۳۹۴) در زنجان، مارکشه (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶) در کرمان نشان‌دهنده رخداد کانه‌زایی مس رسوبی نوع Red bed در منطقه توپچی می‌باشد.

شرایط هوازدگی دیرین ماسه سنگ‌های کانه‌زایی شده

برای تعیین بلوغ چرخه رسوبی شیل‌ها و ماسه سنگ‌ها، شاخص تنوع ترکیبی (ICV) با استفاده از رابطه زیر به کار می‌رود (Cox et al., 1995).

$$ICV = \frac{Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2}{Al_2O_3}$$

بر این اساس رسوبات و سنگ‌های رسوبی با مقادیر ICV بیشتر از ۱، نمایانگر رسوباتی با عدم بلوغ ترکیبی است که در چرخه اول رسوب‌گذاری و در محیط‌های فعال تکتونیکی تشکیل شده‌اند. از طرف دیگر ICV کمتر از ۱، بیانگر رسوباتی با بلوغ ترکیبی بالا می‌باشد که ممکن است رسوبات چرخه مجدد و یا رسوبات بشدت هوازده از سیکل اول رسوبی باشد (Cullers and Podkovyrov, 2002).



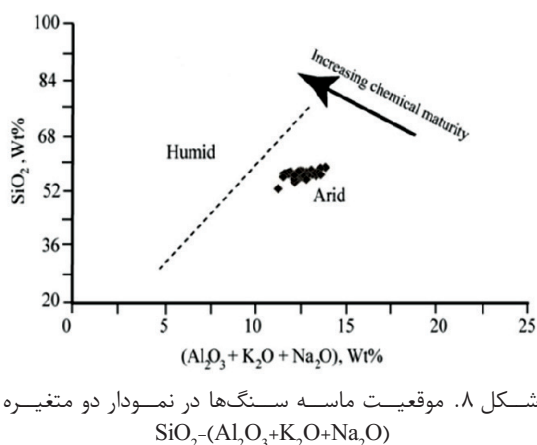
شکل ۷. الف) بقایای گیاهی موجود در ماسه‌سنگ درشت دانه که به‌طور کامل توسط کانه‌های کربناتی مس جایگزین شده است، ب) کالکوسیت در همراهی با آزوریت و ملاکیت و بقایای گیاهی

مشکل، شاخص هوازُدگی دیگری (CIW) را معرفی کرد که در آن، مقدار این ضریب از ۵۰ برای رسوبات غیر هوازده آغاز و به ۱۰۰ برای رسوبات بشدت هوازده ختم می‌شود.

$$CIW = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O)] \times 100$$

این میزان در ماسه سنگ‌های منطقه توپچی دارای دامنه‌ای از ۷۱/۹۷ تا ۷۷/۲۵ درصد و با مقدار میانگین ۷۴/۵۸ بوده که نشان‌دهنده شدت هوازُدگی متوسط در طی تکوین سنگ‌های مورد مطالعه دارد.

نهایتاً با استفاده از نمودار دو متغیره SiO_2 در برابر $(Al_2O_3 + K_2O + Na_2O)$ ارائه شده توسط (Suttner and Dutta, 1986) شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک در تکوین و توسعه ماسه سنگ‌های منطقه توپچی (شکل ۸) حکمفرما بوده است.



شکل ۸. موقعیت ماسه سنگ‌ها در نمودار دو متغیره $SiO_2 - (Al_2O_3 + K_2O + Na_2O)$

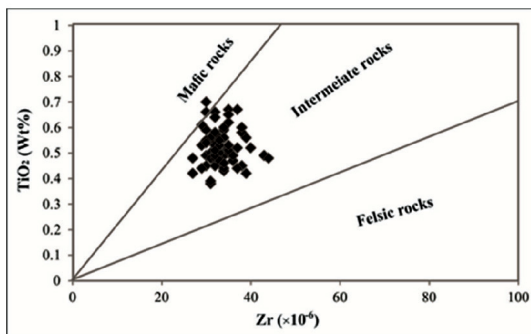
میزان ICV نمونه‌های برداشت شده از این منطقه، دارای حدودی از ۲/۲۴ تا ۳/۳۲ است که نشان‌دهنده عدم بلوغ ترکیبی و تشکیل این ماسه سنگ‌ها در چرخه اول رسوبی می‌باشد. به‌طوری‌که این مطلب به‌واسطه حضور دانه‌ها و کانی‌های ناپایداری همچون وجود خرده سنگ، فلدسپار و کانی‌های مافیک تایید می‌شود.

تاریخچه هوازُدگی رسوبات و سنگ‌های رسوبی آواری نیز می‌تواند از روی نسبت تغییرات اکسیدهای عناصر غیر متحرکی نظیر Al به اکسیدهای عناصر متحرکی نظیر Ca, Na, K ارزشیابی شود (Nesbitt and Young, 1982). شاخصی که در این رابطه به‌صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، شاخص دگرسانی شیمیایی (CIA) می‌باشد.

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

در نمونه‌هایی که میزان CaO آنها بیش از پنج درصد می‌باشد، این مقادیر بالا نشان‌دهنده تاثیر سیمان کربناته علاوه بر کلسیم موجود در فاز سیلیکاته بوده و لذا نمونه‌های با CaO بیش از ۵ درصد را نباید در اندازه‌گیری شدت دگرسانی در نظر گرفت (Garcia et al., 2004). بر این اساس و با توجه به نتایج آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های برداشت گردیده، تمامی نمونه‌ها به دلیل سیمان کربناته، دارای مقادیر CaO بالای پنج درصد است و نمی‌توان از این شاخص برای تفسیر تاریخچه هوازُدگی ماسه سنگ‌های مینرالیزه استفاده کرد. (Cullers, 2000) برای حل این

منشا ماسه سنگ‌ها



شکل ۹. بر اساس نمودار دو تایی $Zr-TiO_2$ منشأ ماسه سنگ‌های کانه‌زایی شده منطقه توپچی در محدوده سنگ‌های آذرین حد واسط تا مافیک قرار می‌گیرند

مطالعات ژئوشیمیایی

نتایج آنالیز ICP نمونه‌های برداشت شده از پهنه‌های شسته شده احیایی، نشان‌دهنده وجود مس با حداقل مقدار ۰/۰۴ درصد و حداکثر مقدار ۳/۲ درصد، اورانیوم با حداقل مقدار ۱/۴ گرم در تن و حداکثر مقدار دو گرم در تن، نقره با حداقل مقدار ۰/۲۲ گرم در تن و حداکثر مقدار ۵۷/۴ گرم در تن، سرب با حداقل مقدار چهار گرم در تن و حداکثر مقدار ۴۶ گرم در تن و روی با حداقل مقدار ۴۵ گرم در تن و حداکثر مقدار ۱۷۹ گرم در تن می‌باشد.

یکی از روش‌های بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر، نظیر ارتباط ژنتیکی و پارائز عنصری در رخدادهای کانه‌زایی، دگرسانی و تبلور، مطالعات آماری دو متغیره و چند متغیره می‌باشد. به‌طوری‌که مطالعه ضریب همبستگی می‌تواند در بررسی ارتباط ژنتیکی بین دو متغیر در طی مراحل مختلف کانی‌سازی موثر باشد. چرا که بالا بودن این میزان می‌تواند نشان‌دهنده شرکت این دو متغیر در یک فاز کانه‌زایی و حتی انتقال این عناصر توسط کمپلکس‌های مشابه حمل‌کننده فلزات در محلول‌های گرمایی باشد.

در این پژوهش ضریب همبستگی عناصر مهم و کانه‌ساز پس از نرمال‌سازی داده‌ها با همدیگر به روش پیرسون بررسی گردید (جدول ۳) که نتیجتاً عنصر مس با عناصر کالکوفیل نقره و روی دارای همبستگی بسیار خوب و با عناصر سرب و گوگرد دارای همبستگی متوسط می‌باشد.

منشا ماسه سنگ‌ها می‌تواند به‌عنوان فاکتور مهمی در نوع کانه‌زایی حادث گردیده در آنها، مورد استفاده قرار گیرد. به‌کارگیری نسبت Al_2O_3/TiO_2 یکی از روش‌های ژئوشیمیایی برای بررسی منشأ ماسه سنگ‌ها به‌حساب می‌آید. به‌طوری‌که در سنگ‌های عادی، عمدتاً Al در فلدسپارها و Ti در کانی‌های مافیک نظیر الیوین، پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و ایلمنیت حضور دارند. در سنگ‌های آذرین نسبت Al_2O_3/TiO_2 در سنگ‌های مافیک دارای دامنه ۳-۸، در سنگ‌های آذرین حد واسط دارای دامنه ۸-۲۱ و در سنگ‌های آذرین فلسیک دارای دامنه‌ای از ۲۱-۷۳ می‌باشند (Hayashi et al., 1997). این نسبت در ماسه سنگ‌های کانه‌زایی شده منطقه توپچی دارای دامنه‌ای از ۱۴/۶۹-۲۶/۱۰ می‌باشد. با در نظر گرفتن مقادیر یاد شده می‌توان منشأ ماسه سنگ‌ها را از فرسایش و هوازدگی سنگ‌های حدواسط تا فلسیک در نظر گرفت.

هایاشی و همکاران (۱۹۹۷) برای محاسبه میزان SiO_2 سنگ‌های آذرین عادی که منشأ ماسه سنگ‌ها می‌باشند با استفاده از نسبت Al_2O_3/TiO_2 رابطه زیر را بکار بردند (Hayashi et al., 1997).

$$SiO_2 (wt\%) = 39.34 + 1.2578 (Al_2O_3/TiO_2) - 0.0109 (Al_2O_3/TiO_2)^2$$

نتیجه این محاسبات بر روی نمونه‌های آنالیز شده نشان می‌دهد که SiO_2 سنگ‌های مادر این ماسه سنگ‌ها دارای دامنه‌ای از ۵۵/۴۰ تا ۶۴/۷۵ درصد بوده که این ماسه‌سنگ‌ها در ارتباط با فرسایش توده‌های آذرین مافیک تا حدواسط می‌باشد.

بر اساس نمودار Zr در مقابل TiO_2 که توسط (Hayashi et al., 1997) ارائه شده، منشأ احتمالی ذرات آواری تشکیل‌دهنده ماسه سنگ‌های کانه‌زایی شده، سنگ‌های آذرین مافیک تا حدواسط می‌باشند (شکل ۹).

می‌شود. از سوی دیگر اغلب کانسارهای سرب و روی شیلی در ارتباط با ریفتی شدن محیط ترسیب شیل بوده و کانه‌زایی در زون‌های ریفتی توسط جریان‌های حرارتی دما بالا تسهیل می‌شود (Morganti, 1981). در صورتی که در این منطقه منشا عنصر مس ماسه سنگ بوده و ارتباطی با رسوبات تخریبی دانه‌ریزی نظیر شیل مشاهده نمی‌گردد. از سوی دیگر، یکی دیگر از یافته‌های حاصل از این مطالعات، نبود همبستگی قابل توجه مس با عنصر اورانیوم می‌باشد که در محیط‌های رسوبی، هر دو عنصر دارای شرایط ژئوشیمیایی مشابهی برای ترسیب و کانه‌زایی می‌باشند. بدین صورت که عامل اصلی ترسیب و کانه‌زایی عناصر مس و اورانیوم، حاکم بودن شرایط احیایی می‌باشد. دلیل نبود همبستگی بین این عناصر می‌تواند به دلیل حاکم شدن شرایط اکسیدان بعدی و تشکیل اورانیوم شش ظرفیتی و خروج اورانیوم از مجموعه باشد. از سوی دیگر نبود کانه‌زایی و یا آنومالی‌های قابل توجه از عنصر اورانیوم در لایه ماسه سنگی کانه‌زایی شده، می‌تواند مربوط به سنگ منشا فرسایش یافته اولیه باشد که بر اساس یافته‌های حاصل از مطالعه منشا ماسه سنگ‌ها، سنگ‌های فرسایش یافته اولیه دارای ترکیب مافیک تا حدواسط بوده و ذاتاً در این سنگ‌ها به مقدار کم حضور داشته است. به طوری که برای وجود کانه‌زایی اورانیوم وجود گرانیات و خاکسترهای ریولیتی به‌عنوان منابع اولیه اورانیوم ضروری می‌باشد (Rosholt et al., 1971; Stuckless et al., 1977).

با توجه به کانه‌زایی هیپوژن سولفیدی رخ داده در این محدوده، علت عدم همبستگی خوب و یا بسیار خوب عنصر مس با گوگرد می‌تواند تاثیر فرآیندهای سوپرژن باشد که با انحلال بخشی از گوگرد موجود در شبکه کانیایی سولفیدهای مس و تبدیل آنها به کانه‌های کربناتی سوپرژن مالاکیت و آزوریت از سیستم خارج شده است. همبستگی بسیار خوب عنصر مس با نقره به دلیل رفتار رداکس مشابه این دو عنصر می‌باشد. به طوری که اکثر کانسارهای مس حاوی نقره بوده و نسبت Cu/Ag کانسنگ‌های مس‌دار نزدیک به نسبت پوسته‌ای ۷۸۵ است (Rose, 1976). در این کانسار نیز این نسبت از ۳۳۵ تا ۱۱۲۰۷ در تغییر بوده که بالا بودن این نسبت در تعدادی از نمونه‌ها به دلیل تاثیر فرآیندهای سوپرژن می‌باشد که مس توانسته به صورت کانی‌های کربناته در سیستم باقی‌مانده ولی بخشی از نقره به دلیل نبود کربنات و اکسیدی پایدار از سیستم خارج شده است. علت نبود آنومالی سرب و روی در این کانسار، به‌رغم وجود مشابهت رفتار ژئوشیمیایی این عناصر با مس ($r_{Cu-Pb} = 0.52$, $r_{Cu-Zn} = 0.70$)، می‌تواند به نوع سنگ منشا این عناصر مربوط باشد. به طوری که در کانسارهای رسوبی با میزبان سنگ رسوبی، منشا عناصر سرب و روی اکثراً شیل‌های شدیداً فشرده شده می‌باشد که در آن سرب و روی به دلیل جذب سطحی بر روی کانی‌های رسی و اغلب تحت تاثیر فرآیند فیلترینگ غشایی در شوره‌های فلزدار تغلیظ شده و از طریق گسل‌های عمیق پی‌سنگ در افق‌های احیایی به صورت کانه‌های سولفیدی نهشته

جدول ۳. ضرایب همبستگی پیرسون عناصر مهم و کانه ساز در منطقه توپچی

		LAg	Co	LCr	LCu	Mn	Ni	LPb	LS	U	LZn
LAg	Pearson	1	.220	.019	.828**	-.027	.065	.527**	.517**	.167	.707**
Co	Pearson	.220	1	.013	.210	.357**	.622**	.367**	.128	-.044	.350**
LCr	Pearson	.019	.013	1	.136	.341**	-.186	.116	.099	.048	.193
LCu	Pearson	.828**	.210	.136	1	-.020	-.016	.468**	.584**	.177	.909**
Mn	Pearson	-.027	.357**	.341**	-.020	1	.280*	-.035	.031	.079	.030
Ni	Pearson	.065	.622**	-.186	-.016	.280*	1	.062	.036	-.137	.127
LPb	Pearson	.527**	.367**	.116	.468**	-.035	.062	1	.351**	-.039	.509**
LS	Pearson	.517**	.128	.099	.584**	.031	.036	.351**	1	.129	.609**
U	Pearson	.167	-.044	.048	.177	.079	-.137	-.039	.129	1	.041
LZn	Pearson	.707**	.350**	.193	.909**	.030	.127	.509**	.609**	.041	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

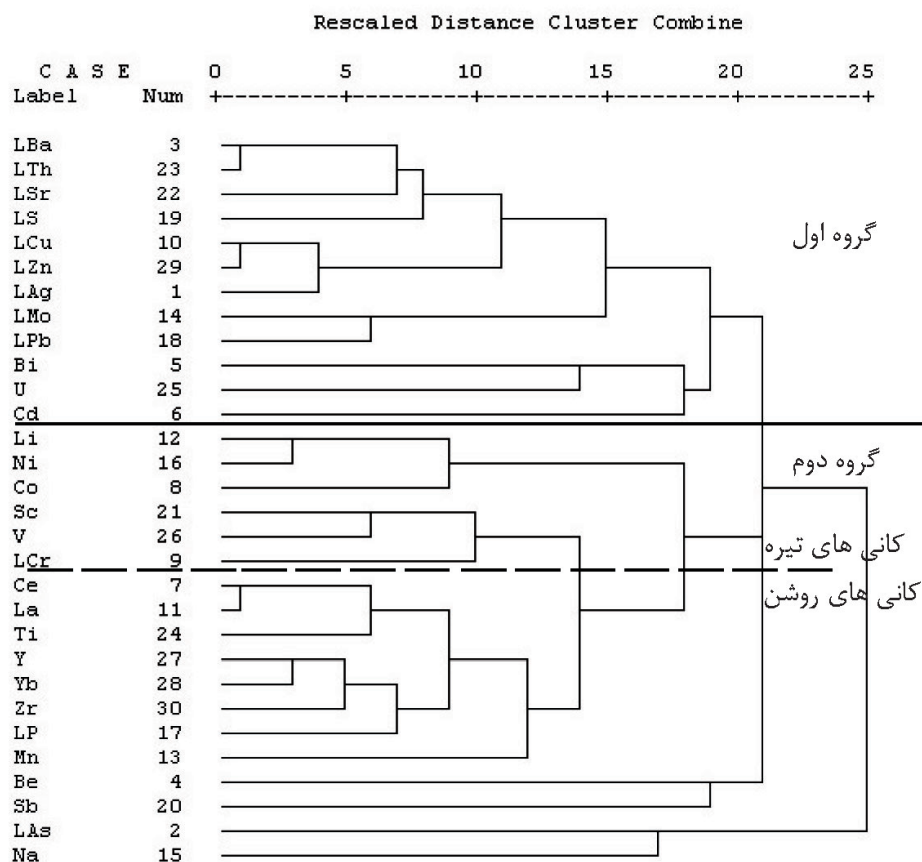
به‌عنوان رگه‌های کلسیتی-باریتی تاخیری در منطقه گسترش دارند. در این گروه عناصر Cu-Zn و Ba-Th دارای همبود بسیار خوب و عناصر Ba-Sr و Cu-Ag دارای همبود خوبی با همدیگر هستند. (ب) گروه دوم شامل عناصر سنگ‌ساز با خاصیت ژئوشیمیایی دوگانه سیدروفیل-لیتوفیل نظیر Cr, Li, Ti, Sr, V و عناصر لیتوفیل Co, Mn, Ni به همراه REEs هستند. در این گروه همبود و ارتباط بسیار خوبی بین عناصر Ce-La و همبود خوبی بین عناصر Ni-Li, Y-Yb, Ce-Ti, Y-Zr-P وجود دارد. با توجه به نوع فرارگیری و ارتباط این عناصر به نظر می‌رسد عناصر Cr, V, Sc, Ni, Co, Li در کانی‌های مافیک و عناصر REEs, Zr, Ti در فاز کانیایی روشن متمرکز شده‌اند.

از سوی دیگر برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر عناصر بر اساس تشابه هرچه بیشتر درون‌گروهی و اختلاف هرچه بیشتر میان گروهی که منجر به کاهش تعداد گروه و لذا سهولت بررسی عناصر شود، از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. در این پژوهش بر اساس آزمودن و بکارگیری روش‌های مختلف خوشه‌بندی عناصر، به نظر می‌رسد بهترین روش، اتصال میان گروهی بوده که در آن محاسبه فاصله بر اساس ضریب همبستگی پیرسون دارای کمترین خطا می‌باشد (شکل ۱۰).

بر این اساس، عناصر در دو گروه کلی قابل تقسیم‌بندی می‌باشند:

الف) گروه اول اکثراً شامل عناصر کالکوفیلی نظیر مس، روی، نقره و سرب بوده که به‌عنوان فازهای سولفیدی و همچنین عناصر لیتوفیل باریم، استرانسیم و توریم

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)



شکل ۱۰. گروه‌بندی عناصر بر اساس روش میان‌گروهی و بر پایه ضریب همبستگی پیرسون

نتیجه‌گیری

در سنگ‌های رسوبی که فاقد شواهدی از توده نفوذی می‌باشند، سنگ‌های شیل و مارنی بوده که در اثر پدیده فیلترینگ غشایی و جدا شدن عناصر جذب سطحی شده از کانی‌های رسی تشکیل می‌شوند.

۷. مقایسه سنگ‌های میزبان کانه‌زایی، کانه‌شناسی کانسنگ، ساخت و بافت، فرم دگرسانی، عامل احیاکننده و کنترل‌کننده کانه‌زایی و مقایسه آن با کانسارهای مس رسوبی معرفی شده در ایران نشان‌دهنده رخداد کانه‌زایی مس رسوبی نوع Red bed در منطقه توپچی می‌باشد.

منابع

- آقازاده، م. و بدرزاده، ز.، ۱۳۸۹. معرفی افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران. بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی کشور، ۱۱.
- آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶.
- بیکدلی، ز.، ابراهیمی، م.، نباتیان، ق. و مختاری، م. ع.، ۱۳۹۴. کانه‌زایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار مس رسوبی چهرآباد، شمال باختر زنجان. فصلنامه علوم زمین، ۲۴، ۲۶۲-۲۴۹.
- پناه‌زاده، م.، ۱۳۸۹. بررسی زمین‌شناسی اقتصادی لایه‌های رسوبی مس دار در روستای چهرگان، تسوج، استان آذربایجان شرقی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تبریز، ۱۲۴.
- حسن پور، ش.، ۱۳۹۳. کانه‌زایی مس در ماسه سنگ‌های معدن سرخه، شمال غرب شهرستان مرند. سی و سومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰.
- حسین‌زاده، م. ر.، مغفوری، س.، موید، م. و عشرتی، م.، ۱۳۹۴. بررسی کانی‌سازی و منشأ مس رسوبی چینه‌کران با میزبان کنگلومرای پلیوسن در منطقه قره‌آعاج ماکو. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۹، ۴۲-۲۹.
- خدابنده، ع. ا. و امینی فضل، ع.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رجب‌پور، ش.، عابدینی، ع.، علیپور، ص. و

نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری و بررسی‌های ژئوشیمیایی انجام گرفته در این پژوهش شامل موارد زیر می‌باشد

۱. کانه‌زایی در این منطقه در داخل ماسه سنگ‌های سبز-خاکستری رنگ دانه درشت و به‌صورت کانه‌های سولفیدی اولیه پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کالکوسیت رخ داده که نهایتاً تحت تاثیر فرآیندهای سوپرژن به کوولیت، مالاکیت و آزوریت تبدیل شده‌اند.
۲. ساخت‌های رسوبی مشاهده شده در ماسه‌سنگ‌ها نظیر ریپل مارک و کراس بدینگ و بقایای گیاهی خشکی، نشان‌دهنده نهشته شدن ماسه‌سنگ‌ها در یک منطقه ساحلی و کم‌عمق است.
۳. بالاتر بودن میزان تخلخل در لایه‌های ماسه سنگی درشت دانه، وجود بقایای مواد گیاهی و پیریت‌های حاصل از دیاژنز، باعث تمرکز انتخابی کانی‌زایی مس در همراهی با دگرسانی نوع شسته شدن در ماسه سنگ‌های سبز-خاکستری گردیده است.
۴. بالا بودن شاخص بلوغ ترکیبی در این ماسه سنگ‌ها نشان‌دهنده عدم بلوغ ترکیبی و تشکیل این ماسه سنگ‌ها در چرخه اول رسوب‌گذاری بوده که بررسی روش‌های مختلف تعیین سنگ منشأ، نشان‌دهنده ترکیب مافیک تا حدواسط توده آذرین فرسایش یافته در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک می‌باشد.
۵. کانه‌زایی مس و نقره در این محدوده و عدم رخداد کانه‌زایی اورانیوم می‌تواند به‌عنوان شاهد دیگری مبنی بر مافیک تا حد واسط بودن توده نفوذی فرسایش یافته باشد. چراکه میزان مس و نقره در سنگ‌های مافیک و حدواسط نسبت به سنگ‌های اسیدی بیشتر و میزان اورانیوم در این سنگ‌ها پایین‌تر می‌باشد.
۶. عدم رخداد کانه‌زایی سرب و روی در این ماسه سنگ‌ها می‌تواند دلیلی بر تأمین مس و نقره از خود بخش ماسه سنگی و عدم نقش قابل توجه شیل و مارن‌های منطقه در رخداد کانه‌زایی محدوده توپچی باشد. چرا که منشأ اغلب کانسارهای سرب و روی حادث شده

- Cullers, R.L. and Podkovyrov, V.N., 2002. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Uj group, southeastern Russia", *Precambrian Research*, 117, 157-183.
- Cullers, R.L., 2000. The geochemistry of shales, siltstones and sandstones of Pennsylvanian-Permian age, Colorado, USA: implications for provenance and metamorphic studies. *Lithos* 51, 181-203.
- Folk, R.L., 1980. *Petrology of Sedimentary Rocks*, Hemphill's book store, Austin Texas, 185.
- Garcia, D., Ravenne, C., Maréchal, B. and Moutte, J., 2004. Geochemical variability induced by entrainment sorting: quantified signals for provenance analysis, *Sedimentary Geology*, 171, 113-128.
- Hayashi, K., Fujisawa, H., Holland, H. D. and Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61, 4115-4137.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J. and Shelley, D., 2005. The sediment-hosted stratiform copper ore system. In: Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. and Richards, J.P. (Eds.), 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, 609-642.
- Morganti, J. M., 1981. Ore deposit models-4. Sedimentary-type stratiform ore deposits: some models and a new classification: *Geoscience Canada*, 8, 65-75
- Nesbitt, H.W. and Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature*, 299, 715-717.
- Rose, A.W. and Bianchi-Mosquera, G. Zاکری، ل.، ۱۳۹۲. بررسی کانی‌سازی و منشأ مس چینه سان در منطقه چشمه کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی. *مجله زمین‌شناسی اقتصادی*، ۱، ۴۹-۶۳.
- ساداتی، س. ن.، ۱۳۹۳. کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانی‌زایی مس در سنگ‌های رسوبی شمال تبریز (شمال غرب ایران) استان آذربایجان شرقی. رساله دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۷۰.
- سامانی، ب.، ۱۳۸۹. گزارش نهایی کانه‌زایی مس رسوبی چشمه سفید عشق آباد. شرکت آتی کان آرمان.
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م. و مختاری، ع. ا.، ۱۳۹۵. زمین‌شناسی، کانه‌نگاری و ژنز کانه‌زایی مس چینه سان در منطقه تازه کند، شمال شرق تبریز. *فصلنامه علوم زمین*، ۲۵، ۲۰۸-۱۹۵.
- مغفوری، س.، موحد نیا، م. و حسین‌زاده، م.، ۱۳۹۳. جایگاه چینه‌ای و گسترش کانه‌زایی مس با میزبان تخریبی در توالی سنوزوئیک منطقه شمال غرب ایران، استان‌های آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی. سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۲.
- مهدوی، ا.، راستاد، ا. و حسینی برزی، م.، ۱۳۸۶. کانی‌شناسی، ساخت و بافت افق‌های کانه دار کانسار مس رسوبی مارکشه در شمال باختر راور. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، ۱۰۹.
- نخجوانی، ب.، ۱۳۹۴. گزارش پایان اکتشاف محدوده معدنی مس توپچی. شرکت خرس سفید شمال.
- نقی‌زاده، ر.، شیوا، ع.، دری، م. ب. و ریاضی، ن.، ۱۳۸۶. بررسی صحرایی کانی‌سازی مس در منطقه تسوج استان آذربایجان خاوری. بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷.
- Cox, R., Lower, D.R. and Cullers, R.L., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 2919-2940.

- C., 1993. Absorption of Cu, Pb, Zn, Co, Ni and Ag on goetite and hematite as a control metal mobilization from Red Beds into stratiform copper deposits: *Economic Geology*, 88, 1226-1236.
- Rose, A.W., 1976. The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red bed and related deposits: *Economic Geology*, 71, 1036-1048.
 - Rosholt, J., Prijana, N. and Noble, D.C., 1971. Mobility of uranium and thorium in glassy and crystallized silicic volcanic rocks: *Economic Geology*, 66, 1061-1069.
 - Stuckless, J. S., Bunker, C. M., Bush, C. A., Doering, W. P. and Scott, J. H., 1977. Geochemical and Petrological studies of a uraniferous granite from the granite mountains, Wyoming: *Jour. Research U. S. Geology. Survey*, 5, 61-81.
 - Suttner, L.J. and Dutta, P.K., 1986. Aluvial sandstone composition and paleoclimate, I. Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Petrology* 56, 329-345.
 - Tucker, M.E., 2001. *Sedimentary Petrology, an introduction to the origin of sedimentary rocks*. Second edition, 262.
 - Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 158-187.
 - Weibela, R. and Friisb. H., 2004. Opaque minerals as keys for distinguishing oxidizing and reducing diagenetic in the lower Triassic Bunter sandstone , North German Basin., *Sedimentary Geology* 169, 129-149.