



## کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر نادر خاکی در کانسار روی - سرب - مس (نقره) گمیش‌تپه، جنوب غرب زنجان

طوبی صالحی، مجید قادری\*، نعمت‌اله رشیدنژاد عمران

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۴/۲۳، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۷/۲۰

### چکیده

کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه در ۹۰ کیلومتری جنوب غرب زنجان و در بخش شمال غربی زون ارومیه-دختر قرار دارد. رخنمون‌های سنگی منطقه معدنی را توالی‌های آتشفشانی-رسوبی و رسوبی الیگومیوسن و مجموعه ولکانو-پلوتونیک پلیوسن (دایک‌های با ترکیب آندزیت پورفیری، توده نیمه‌عمیق داسیتی و ولکانیک‌های ریوداسیتی) تشکیل می‌دهند. از دگرسانی‌های موجود در کانسار می‌توان به دگرسانی‌های سیلیسی، سولفیدی، سربیتی، کربناتی، آرژیلیکی و پروپیلیتی اشاره کرد. کانه‌زایی اصلی در کانسار گمیش‌تپه، به صورت رگه‌ای و در امتداد گسلی نرمال با روند شمال شرقی-جنوب غربی و شیب تقریباً قائم در سنگ‌های میزبان چون کریستال‌لیتیک‌توف داسیتی، گنبد نیمه‌عمیق داسیتی، خصوصاً توف ریولیتی رخ داده است. پاراژنز کانی‌شناسی در رگه‌های کانه‌دار از پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت فقیر از آهن، گالن، تتراهدريت و اسپیکولاریت تشکیل شده است که کانی‌هایی مانند کوارتز، کلسیت، کلریت و کانی‌های رسی، آنها را همراهی می‌کنند. براساس نتایج آنالیزهای شیمیایی، میانگین عبار عناصر از رگه‌های کانه‌دار، شامل ۶٪ روی؛ ۴٪ سرب؛ ۲٪ مس و ۸۸ ppm نقره است. همچنین، الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نمونه‌های دگرسان شده توده نیمه‌عمیق داسیتی (پلیوسن) و توف ریولیتی (الیگومیوسن) در مقایسه با نمونه‌های سالم، از عناصر LREE غنی‌شدگی دارند، در صورتی که HREE رفتارهای متفاوتی نشان می‌دهند. بی‌هنجاری منفی Eu در الگوهای پهن‌جار شده کندریتی سنگ‌های فوق، در ارتباط با افزایش نسبت سنگ/سیال و تجزیه پلاژیوکلازهایی است که از Eu نسبتاً غنی هستند. الگوی عناصر نادر خاکی توف سیلنتی (کمرپایین ماده معدنی) در مقایسه با سنگ دیواره رگه‌های کانه‌دار، غنی‌شدگی از همه REE و بی‌هنجاری مثبت از Eu نشان می‌دهد. اما در نمونه‌های کانسنگی، نسبت LREE به HREE و میزان Eu در مقایسه با توف ریولیتی (میزبان رگه‌های معدنی) و توف سیلنتی، غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند که علت آن، تأثیر سیالات ماگمایی-گرماپی غنی از کلر است که سبب دگرسانی در طول زون کانه‌زایی، تهی‌شدگی از LREE و Eu در سنگ‌های میزبان و سرانجام، تمرکز و حمل این عناصر در سیال کانه‌ساز شده است.

واژه‌های کلیدی: مجموعه ولکانو-پلوتونیک پلیوسن، دگرسانی، روی-سرب-مس (نقره)، گمیش‌تپه، زنجان.

### مقدمه

تا ۴۸°۳۲′۳۰″ طول شرقی و ۳۵°۵۴′۰۰″ تا ۳۵°۵۵′۳۰″ عرض شمالی واقع شده است. از آنجا که آخرین فازهای کانی‌سازی سرب و روی ایران، ذخایر روی و سرب رگه‌ای اپی‌ترمال با

کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه در ۹۰ کیلومتری جنوب غرب زنجان، با مختصات جغرافیایی ۴۸°۳۰′۳۰″

سنگی میزبان (با انتخاب نمونه‌های سنگی سالم و کمتر دگرسان‌شده) با استفاده از روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و بررسی توزیع و فراوانی عناصر موجود در پهنه کانه‌زایی و رفتار الگوهای عناصر نادر خاکی و کمیاب با روش‌های ICP-AES (در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) و آنالیز ۳۸ عنصری ICP-AES و ICP-MS (به روش ذوب لیتیم متابورات، در آزمایشگاه ALS-Chemex ونکوور کانادا) صورت گرفته است. همچنین به منظور سنجش عنصر طلا در رگه‌های کانه‌دار نیز از روش AAS در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور استفاده شد.

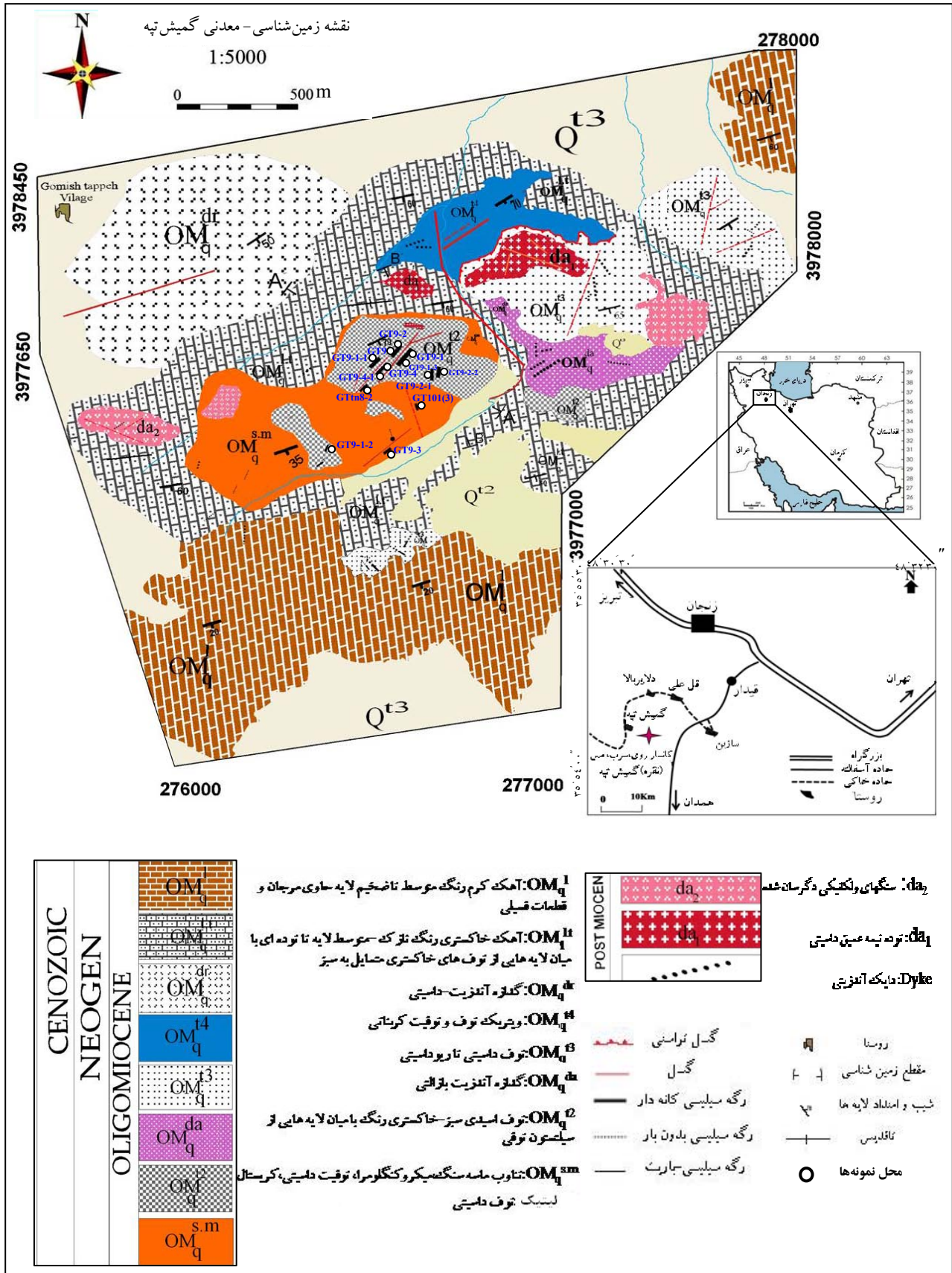
#### زمین‌شناسی

با توجه به نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱:۵۰۰۰ گمیش‌تپه [۲]، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون‌یافته محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی و رسوبی الیگومیوسن با روند عمومی شمال‌شرقی - جنوب‌غربی تشکیل می‌دهند (شکل ۱). براساس بررسی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمی عناصر اصلی در تجزیه سنگ کل [۲]، ترکیب شیمیایی سنگ‌های آذرین منطقه در نمودار [۵] در گستره ریولیت، داسیت تا آندزیت و آندزیت بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۲الف)، به‌طوری‌که توالی سنگ‌شناسی واحدهای منطقه از قدیم به جدید شامل واحدهای ماسه‌سنگی - میکروکنگلومر با میان‌لایه‌هایی از کریستال‌لیتیک‌توف و توفیت با ترکیب داسیت ( $OM_q^{s.m}$ )، توف‌های ریولیتی سبز تا خاکستری‌رنگ با میان‌لایه‌هایی از ویتریک‌توف و توف سیلتی ( $OM_q^{t2}$ )، آندزیت‌بازالت تیره ( $OM_q^{da}$ )، توف ریوداسیتی ( $OM_q^{t3}$ )، ویتریک‌توف با میان‌لایه‌هایی از توفیت کربناتی و مارن سبز رنگ ( $OM_q^{t4}$ ) و گدازه داسیتی تا آندزیتی ( $OM_q^{dt}$ ) است. در بخش‌های بالایی این واحدها، خواص آذراوری به‌تدریج کاهش یافته و به‌سمت رسوبی میل می‌کند، به‌طوری‌که آهک متوسط - ضخیم‌لایه تا توده‌ای خاکستری‌رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف‌های شیلی خاکستری متمایل به سبز ( $OM_q^{t1}$ )، معادل سازند قم [۵]، بر روی آنها قرار می‌گیرد. وجود فسیل‌های دیسکوسیکلینا، گلوبیژرینا، نومولیتس، اربیتوئیدس و میوزیپسینا، سن این واحد را الیگومیوسن پیشنهاد می‌کند [۶]، که به‌صورت بین‌انگشتی به آهک متوسط‌لایه تا توده‌ای

سنگ میزبان آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی ترشیری هستند که در کمرندهای ولکانو - پلوتونیک ارومیه - دختر، ترو - چاه‌شیرین، البرز - آذربایجان و شرق ایران شناخته شده‌اند [۱]؛ طی پژوهشی که در این منطقه معدنی صورت گرفت [۲]، کانسار گمیش‌تپه نیز به‌عنوان یکی از کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال معرفی می‌گردد که در بخش شمال‌غربی کمرند ولکانو - پلوتونیک ارومیه - دختر قرار گرفته است. از جمله کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال دیگر موجود در این کمرند می‌توان به کانسارهای آی‌قلعه‌سی در تکاب [۳]، حکان‌گچیلو در شمال‌شرقی رزن و باریک‌آب در شمال ابهر [۴] اشاره کرد. بررسی‌های زمین‌شناسی همراه با حفر چندین حلقه تونل و ترانشه‌های اکتشافی و استخراجی در بخش‌های مختلف کانسار، حاکی از آن است که این کانسار از سالیان دور شناسایی شده و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است، ولی از آنجا که تاکنون در خصوص چگونگی تشکیل آن مطالعه علمی دقیقی صورت نگرفته است؛ لذا در این مقاله، مطالعات کانی‌شناسی، بافتی، دگرسانی و رفتار ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی در پهنه کانه‌زایی این ذخیره مورد بررسی قرار گرفته تا بتواند به‌عنوان راه‌گشای اکتشاف این‌گونه کانه‌زایی‌ها در پهنه ارومیه - دختر و سایر کمرندهای ولکانو - پلوتونیک ایران مورد استفاده قرار گیرد.

#### روش مطالعه

در این کار پژوهشی، پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به منطقه، بررسی‌های صحرایی با تفکیک دقیق واحدهای سنگی، مطالعه ابعاد و گسترش پهنه کانی‌سازی، شناسایی انواع گسل‌ها و شکستگی‌های موجود در منطقه معدنی و تعیین ارتباط آنها با کانه‌زایی انجام شد. در ادامه از واحدهای سنگی مختلف، رگه‌های کانه‌دار موجود در تونل‌ها، ترانشه‌ها و پهنه‌های دگرسانی، نمونه‌برداری صورت گرفت. انتخاب و آماده‌سازی نمونه‌ها برای تهیه مقاطع میکروسکوپی نازک، نازک - صیقلی، صیقلی و آنالیزهای شیمیایی، مطالعه میکروسکوپی مقاطع، گام بعدی این کار پژوهشی بوده است [۲]. کانی‌های ناشناخته در بخش‌های کانه‌دار، به‌خصوص در زون‌های دگرسانی، به روش پراش اشعه X (XRD) و انجام آنالیزهای نقطه‌ای با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDX) مدل XL30 در دانشگاه تربیت مدرس شناسایی شدند. شناخت ترکیب شیمی واحدهای

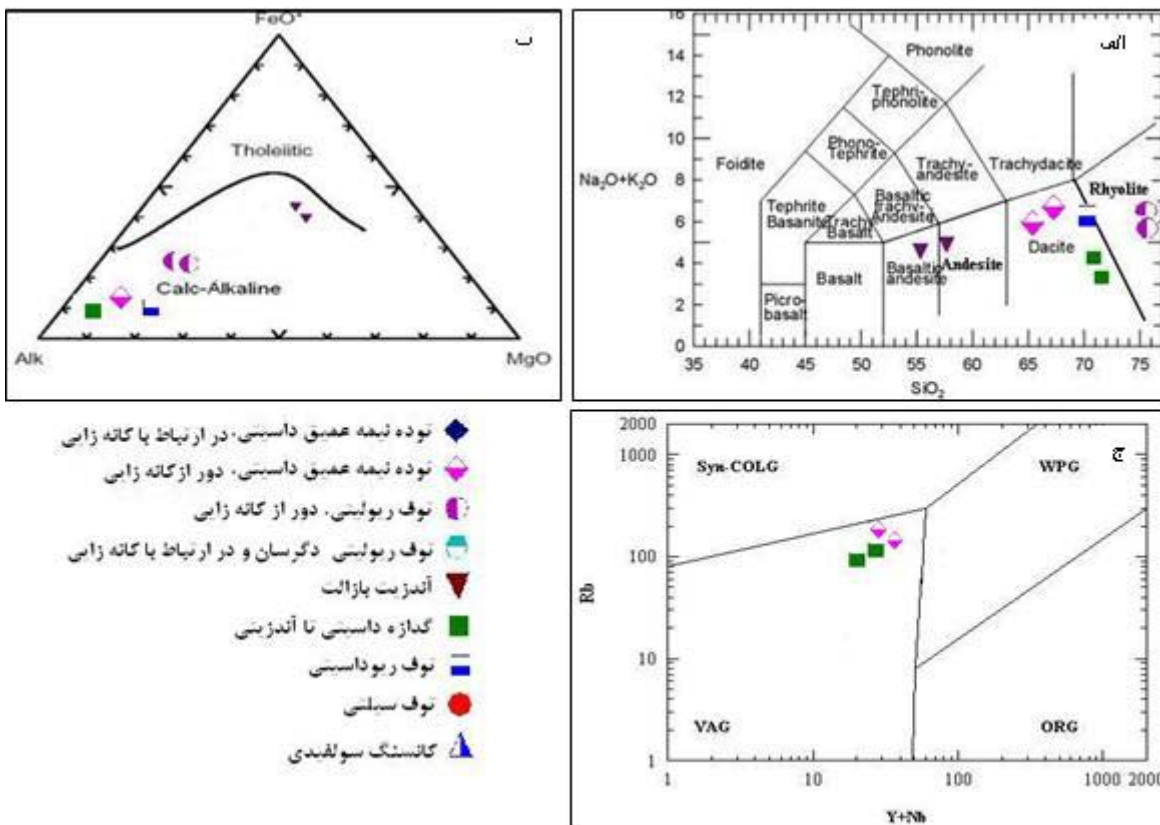


شکل ۱. موقعیت کانسار گمیش تپه در جنوب غربی زنجان و نقشه زمین‌شناسی - معدنی ۱:۵۰۰۰ [۲]. نتایج آنالیز نمونه‌های معدنی در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۱. میزان عناصر اصلی (برحسب %wt)، کمیاب و نادر خاکی (برحسب ppm) در واحدهای سنگی منطقه و نمونه‌ای از ماده معدنی، براساس آنالیزهای XRF، ICP-AES، ICP-MS و محاسبه نسبت‌ها و پارامترهای محاسباتی مربوط به REE.

NO.	GT-168	GT-S1-4	GT-231	GT-254	GT-94	GT9-1-1
SiO <sub>2</sub>	۷۳/۷۶	۷۴/۵۶	۶۷/۹۶	۶۷/۴۲	۵۹/۹۹	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۱۴/۳۷	۱۲/۳۶	۱۴/۵۸	۱۶/۶۲	۱۴/۹۹	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۱۷	۰/۹۷	۲/۸۵	۲/۱۵	۵/۶۰	-
CaO	۱/۱	۰/۲۷	۰/۳۶	۲/۴۵	۲/۷۲	-
MgO	۱/۳۱	۰/۷۶	۳/۰۹	۲/۵۲	۲/۸۰	-
Na <sub>2</sub> O	۲/۸۸	۳/۸۳	۲/۲۰	۲/۱۵	۲/۲۸	-
K <sub>2</sub> O	۳/۳۲	۴/۴۲	۵/۱۹	۴/۰۷	۴/۵۴	-
TiO <sub>2</sub>	۰/۱	۰/۱	۰/۲۸	۰/۳۸	۰/۸۷	-
MnO	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲۸	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱۲	۰/۲۵	-
LOI	۱/۶۱	۱/۰۲	۲/۶۷	۱/۵۷	۳/۷۷	-
Total	۹۹/۸۳	۹۹/۴۷	۹۹/۳۹	۹۹/۵۷	۹۹/۸۳	-
Ba	۲۴۹۰	۲۲۸۰	۱۱۷۰	۲۰۱۰	۲۰۷۰	۱۰۵
Cu	۲۷	۵	۱۰	۶۷	۱۷	۱۰۰۰۰
Cr	۵۰	۱۴۰	۵۰	۶۰	۸۰	۱۰
Ga	۹/۹	۹/۲	۱۶/۳	۱۵/۷	۱۶/۴	۱۳/۲
Pb	۱۲۲	۲۰	۲۷	۸	۲۹	۱۳۴۰۰
Nb	۱۱/۶	۱۰/۱	۱۹/۳	۱۹	۱۵/۸	۰/۲
Ni	۵	۶	۵	۵	۳۷	۷
Zn	۹۴۰	۲۸	۱۳۹۰	۱۶۰	۹۷	۱۳۱۰۰
Zr	۱۵۳	۷۲	۲۰۵	۲۸۶	۱۷۰	۲۳
Rb	۱۴۶/۵	۱۴۶/۵	۱۴۲/۵	۱۶۹/۵	۱۵۵/۵	۴۸
Sr	۹۸/۹	۶۴/۶	۳۱/۴	۱۲۱/۵	۱۸۸/۵	۲۸/۹
Th	۱۵/۴	۱۴/۷۰	۲۵	۲۲/۵	۱۰/۹۰	۰/۱۳
V	۵	۶	۱۸	۱۴	۱۰/۸	۱۳
U	۳	۳	۶	۵	۴	۲
La	۱۰/۵	۱۷/۵	۴۱/۷	۳۷/۱	۳۶/۵	۲۵/۳
Ce	۲۰	۳۲	۷۱	۶۰	۵۵	۱۲
Pr	۲/۲	۲/۷	۶/۹	۶/۵	۷/۸	۲/۹
Nd	۶/۹	۸/۹	۲۲	۲۲	۲۹	۱۰
Sm	۱/۲	۱/۵	۳/۵	۳/۷	۵/۵	۲
Eu	۰/۲	۰/۳	۰/۶	۰/۸	۱/۴	۲
Gd	۱/۱۲	۱/۵۸	۳/۷۱	۳/۷۲	۵/۷۲	۳/۰۵
Tb	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۸۱	۰/۴۲
Dy	۱/۲	۱/۴۴	۳/۲۵	۳/۱۷	۴/۸۷	۳/۵۵
Ho	۰/۳	۰/۳	۰/۷	۰/۷	۱	۰/۸
Er	۱/۱	۱/۱	۲/۴	۲/۳	۲/۸	۲/۱
Tm	۰/۲	۰/۲	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳
Yb	۱/۵	۱/۴	۲/۷	۲/۵	۲/۶	۱/۶
Lu	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۴	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۱۹
ΣREE	۴۷/۰۵	۶۹/۲	۱۵۹/۷	۱۴۳/۳۹	۱۵۳/۱۶	۶۶/۵۲
Ce/Ce*	۰/۹۸	۱/۰۲	۰/۸۶	۰/۹۲	۰/۷۵	۰/۲۸
Eu/Eu*	۰/۸	۰/۷۶	۰/۷۵	۱/۱۴	۱/۳	۵
Gd/Yb	۰/۷۵	۱/۱۲	۱/۳۷	۱/۵	۲/۲	۱/۹
Ce/Yb	۱۳/۲۶	۲۳/۶۲	۲۶	۲۴/۴	۲۱/۳	۷/۶
La/Lu	۴۵/۶۵	۷۵/۶۵	۱۰/۱۷	۹۵/۱۲	۹۳/۶	۱۳۳/۱۵
La/Yb	۷	۱۲/۵	۱۵/۲۷	۱۵/۱	۱۴/۲۶	۱۶/۱
La/Sm	۸/۷۵	۱۱/۶	۱۲	۷/۳۲	۶/۶۳	۱۲/۶۵





شکل ۲. الف) رده‌بندی سنگ‌های منطقه معدنی با استفاده از نمودار TAS [۱۵]. ب) نمودار AFM [۱۶]، برای تعیین ماهیت کالک‌آلکان، تولییتی سنگ‌های منطقه معدنی. ج) نمودار دوتایی Y+Nb در مقابل Rb برای تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آذرین منطقه معدنی [۱۷].

جدول ۲. نتایج آنالیز XRD برخی از نمونه‌ها در پهنه‌های دگرسان و بخش‌های کانه‌دار.

پهنه دگرسانی	نمونه	نتایج کانی‌شناسی
سیلیسی - سولفیدی	GT 245	کوارتز، هماتیت، گوتیت، سروزیت
	GT-S10	کوارتز، فلدسپار، پیریت، لپیدوکروسیت، هماتیت، کلینوکلر
سرسیستی	GT-T1S-W	کوارتز، ارتوکلاز، آدولاریا، کلینوکلر، سروزیت، اسمیت‌زونیت
	GT-247	کوارتز، فلدسپار، کلینوکلر، سرسیست، ایلیت
	GT-250	کوارتز، فلدسپار، آدولاریا، کلینوکلر
آرژیلیکی	GT205	کوارتز، فلدسپار، موسکویت، کانولینیت، کلسیت
	GT249	کوارتز، ارتوکلاز، مونتموریونیت، ناترونیت
	GT184	کوارتز، فلدسپار، موسکویت، ناترونیت
	GT232	کوارتز، آلیت، ایلیت، کلینوکلر
	GT 248	کوارتز، کانولینیت، کلینوکلر
پروپیلیتی	GT252	کلینوکلر، اپیدوت، کلسیت، کوارتز، آلیت
رگه سیلیسی کانه‌دار (کانستگ سولفیدی)	GT-S11-1	اسفالریت، گالن، ورتزیت، اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، مالاکیت، سروزیت، کوارتز، کانولینیت، کلینوکلر
	GT-S11-2	اسفالریت، گالن، همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت، سروزیت، مالاکیت
	GT-T1S	کوارتز، سروزیت، اسمیت‌زونیت، گالن، گوتیت
	GT-S6	همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت، کوارتز، مونتموریونیت
	GT158	کوارتز، کلینوکلر، ایلیت، کالکوپیریت، پیریت، گالن، گوتیت

### دگرسانی

بررسی‌های صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD نشان می‌دهند که سنگ‌های آتشفشانی محدوده معدنی همیشه تپه در نتیجه صعود سیالات گرمایی تأخیری، به صورت متغیر و گاه پراکنده، دستخوش دگرسانی‌های گرمایی شده‌اند. همچنین در اطراف رگه‌های کانه‌دار، دگرسانی‌های گرمایی آنقدر شدید هستند که گاهی از چند سانتی‌متر و حتی در مواردی هاله‌های ضخیم در دو طرف یک رگه معدنی می‌سازند، اما با توجه به فعالیت‌های شدید تکتونیکی در منطقه معدنی و درهم‌ریختگی پهنه‌های دگرسانی، امکان تفکیک دقیق آنها میسر نشد. از آنجا که شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی، که همراه با کانه‌زایی مشاهده می‌شوند، اساس شناسایی فرآیندهای مربوط به ژنز کانسار است و موجب پیشرفت در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود [۹]، بنابراین تفکیک دگرسانی‌ها در منطقه معدنی به‌طور تقریبی و براساس توالی پاراژنتیک کانی‌های مشاهده شده در بخش‌های مذکور صورت گرفت. به‌همین منظور، برای شناسایی کانی‌های ناشناخته در پهنه‌های دگرسان، نمونه‌هایی از این بخش‌ها به روش XRD آنالیز شد (جدول ۲).

دگرسانی سیلیسی که یکی از رایج‌ترین و شناخته‌شده‌ترین انواع دگرسانی در سیستم‌های گرمایی است [۱۰]، در منطقه مورد مطالعه، به صورت تشکیل رگه-رگچه‌های سیلیسی و سیلیسی‌شدن بخش‌هایی از سنگ‌های دیواره (میزبان کانه‌زایی) نمود دارد که بر پهنه گسلی با روند شمال شرقی- جنوب غربی منطبق است. همچنین این دگرسانی در سایر بخش‌های منطقه معدنی، به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی تأخیری و بدون بار قابل مشاهده است. براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، کانی‌شناسی رگه-رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار را کوارتز نوع آمیتست، دودی، شیری و بی‌رنگ و سیلیس آمورف تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، این دگرسانی در بخش‌های سطحی کانسار به صورت اپال، کالسدونی، ژاسپروئید با بافت توده‌ای و لامینه قابل تشخیص است. دگرسانی سیلیسی- سولفیدی از دیگر دگرسانی‌های مشاهده شده در کانسار است که بیشتر با رگه‌های سیلیسی کانه‌دار همراه است، به طوری که براساس نتایج آنالیز XRD نمونه‌های (GT 245, GT-S10)، (جدول ۲) و مطالعات میکروسکوپی، کوارتز، پیریت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت و لپیدوکروسیت) و کلریت،

کرم‌رنگ با میان‌لایه‌هایی از توف‌های مارنی ( $OM_q^1$ ) است. علاوه بر این، در بخش‌های شمال، شمال شرقی و غرب منطقه معدنی، توده‌های نیمه عمیق داسیتی پلیوسن نیز رخمون دارند که در واحدهای آتشفشانی- رسوبی الیگومیوسن نفوذ کرده‌اند. همچنین، در بخش شرقی منطقه، دایک‌های آندزیتی با روند شمال شرقی- جنوب غربی و با رنگ سبز تیره برونزد دارند و واحد آندزیت بازالتی را قطع کرده‌اند.

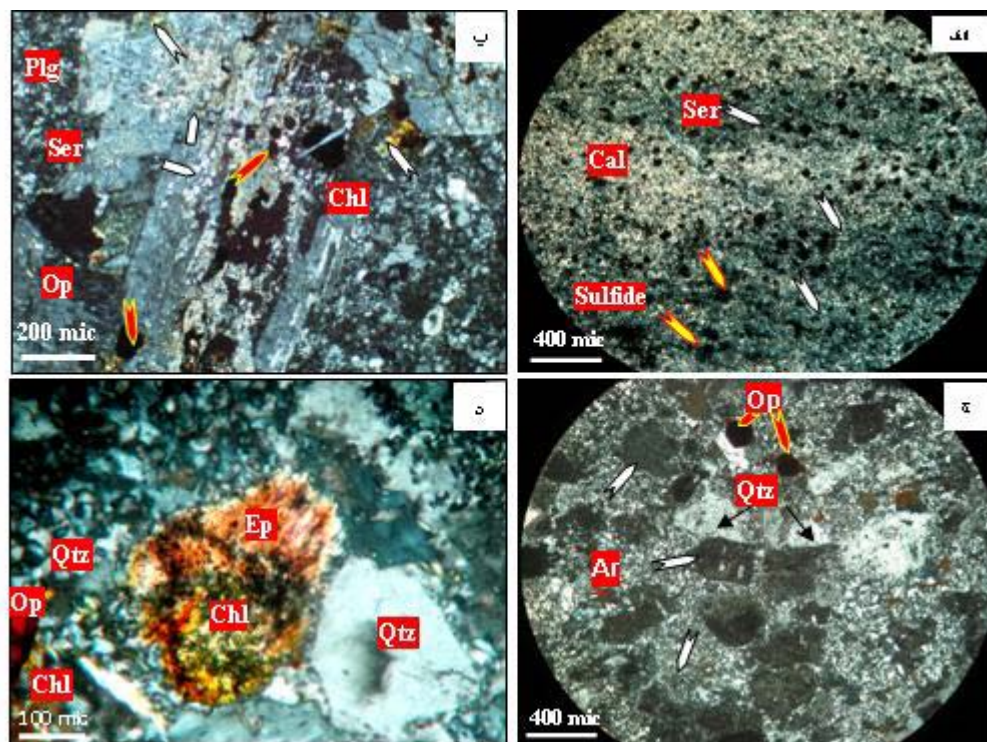
مجموعه سنگ‌های آذرین منطقه، از نظر ژئوشیمی سنگ [۲] (جدول ۱) و براساس نمودار [۷]، در سری ماگمایی آهکی- قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۲ب). دامنه تغییرات  $K_2O$  در این سنگ‌ها نسبتاً گسترده است که می‌تواند ناشی از تحرک پذیری عنصر پتاسیم حین فرآیند دگرسانی سنگ‌های منطقه باشد. همچنین، بر پایه شیمی عناصر کمیاب (جدول ۱)، مجموعه مورد بررسی در گستره کمان‌های ماگمایی ناشی از فرورانش قرار می‌گیرد [۸] (شکل ۲ج). براساس مشاهدات صحرایی، توف ریولیتی، کریستالیتیک توف داسیتی و توده نیمه عمیق داسیتی، سنگ‌های میزبان ماده معدنی در کانسار همیشه تپه هستند.

براساس بررسی‌های زمین‌شناسی ساختمانی که در منطقه معدنی انجام شد [۲]، چندین نوع گسل با سازوکارهای مختلف شناسایی گردید که شامل گسل معکوس با روند شمال غربی- جنوب شرقی، گسل‌های نرمال با روند شمال شرقی- جنوب غربی و شیب نسبتاً تند به سمت شمال غرب به همراه مؤلفه‌های کوچکتی از آن با سازوکار شیب لغز و گسل‌های امتداد لغز راستگرد با روند شمال غربی- جنوب شرقی است. گسل معکوس در بخش شمالی منطقه معدنی، باعث بالآمدن توف‌های ریوداسیتی بر روی واحد  $OM_q^{14}$  شده است، در صورتی که گسل‌های نرمال، مهمترین کنترل کننده‌های ساختاری در امر کانی‌سازی در منطقه معدنی هستند، به طوری که کانه‌زایی در کانسار همیشه تپه به صورت رگه-رگچه‌ای و در راستای فعالیت این نوع گسل و درزه‌ها و شکستگی‌های کششی مرتبط با آن قابل مشاهده است. در عین حال، گسل‌های امتداد لغز هیچ ارتباطی با کانه‌زایی نشان نمی‌دهند، ولی تمامی منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند، به طوری که فعالیت این گسل‌ها در منطقه معدنی، باعث خردشدگی و جابجایی واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی و رگه‌های کانه‌دار شده است.

آهن جایگزین شده‌اند (شکل ۳ب). گاهی این دگرسانی تا حدی پیش رفته که هیچ اثری از پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم دیده نمی‌شود (شکل ۳الف). در این نوع دگرسانی، کوارتز از نوع ثانویه و بی‌شکل بوده که به‌صورت پراکنده، رگچه‌های میلی‌متری یا فضاپرکن در زمینه سنگ حضور دارد و به‌نظر می‌رسد که در اثر تبلور دوباره کوارتز اولیه و یا آزاد شدن سیلیس طی واکنش فلدسپات‌ها و تبدیل به سریسیت به‌وجود آمده باشد [۱۱]. همچنین نتایج به‌دست آمده از آنالیز XRD چند نمونه گرفته شده از این زون (GT-T1S-W, GT250, GT-247) در اطراف رگه‌های کانه‌دار (جدول ۲)، حاکی از حضور کانی رسی (ایلیت)، کلریت و آدولاریا (به مقدار بسیار متغیر) در این نمونه‌ها است.

محصول این دگرسانی هستند. این نوع دگرسانی در توده نیمه‌عمیق داسیتی نیز دیده می‌شود، به‌طوری‌که قالب کانی‌های فنوکریست چون پلاژیوکلاز و آمفیبول و حفرات موجود در سنگ، به‌طور کامل به‌وسیله کوارتز، پیریت‌های اکسیده، کلریت و کربنات پر شده است.

دگرسانی سریسیتی با پاراژنز کوارتز، سریسیت، پیریت و کلریت، در کانسار گمیش‌تپه قابل تشخیص است که گسترش قابل‌ملاحظه‌ای را در بخش‌های کانه‌دار و سنگ‌های آتشفشانی منطقه، خصوصاً توده نیمه‌عمیق داسیتی نشان می‌دهد، به‌طوری‌که در این واحدها، پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم در امتداد رخ‌ها و از حاشیه و مرکز به سریسیت تبدیل شده و کانی‌های مافیک (بیوتیت و آمفیبول) با کلریت و اکسیدهای



شکل ۳. الف) دگرسانی سریسیتی در توفیت داسیتی به همراه سولفید و کربنات که در اثر شدت دگرسانی، سنگ اولیه قابل تشخیص نیست. ب) مقطع میکروسکوپی از توده نیمه‌عمیق داسیتی، سریسیتی‌شدن فنوکریست پلاژیوکلاز به همراه کانی اپک (پیریت اکسیده) و حضور رگه-رگه‌هایی از اکسید و هیدروکسید آهن و کلریت. ج) تجزیه فنوکریست‌های فلدسپات به کانی‌های رسی همراه با فنوکریست‌های کوارتز در زمینه‌ای از کوارتز میکروکریستالین و فلدسپات‌های ریز تجزیه‌شده به کانی‌های رسی در نمونه‌ای از توف ریوداسیتی. د) دگرسانی کانی مافیک (بیوتیت) به اپیدوت و کلریت همراه با کانی‌های اپک در فضا‌های خالی، در پهنه دگرسانی پروپیلیتی. سولفید (Sulfide)، کوارتز (Qtz)، سریسیت (Ser)، کربنات (Cal)، اپک (Op)، پلاژیوکلاز (Plg)، اپیدوت (Ep)، کانی‌های رسی (Arg).

محدوده مورد بررسی، عبارت از کلریت آهن و منیزیم‌دار (کلینوکلر)، اپیدوت، کلسیت، کوارتز، زئولیت و آل‌بیت (به مقدار کمتر) است. در برخی موارد، سریسیت، مونتموریونیت و اکسیدهای آهن، این مجموعه را همراهی می‌نمایند. در این زون، کلریت و اپیدوت جانشین کانی‌های مافیک (بیوتیت و آمفیبول) شده است (شکل ۵۳). کلریت، زئولیت، کربنات و اکسید و هیدروکسیدهای آهن، فضاهای خالی موجود در سنگ‌های آتشفشانی منطقه را پر کرده‌اند.

### کانه‌زایی

براساس مشاهدات صحرایی و شواهد زمین‌شناختی و ساختاری، ژئومتری ماده معدنی در کانسار همیشه تپه به‌صورت رگه‌ای است که به پهنه گسلی و به‌شدت دگرسان‌شده محدود شده و شامل رگه- رگچه‌های سیلیسی با دو روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است. کانه‌زایی در رگه- رگچه‌های سیلیسی با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، شامل چند رگه- رگچه سیلیسی- سولفیدی فرعی با ضخامت ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر و طول ۵۰ سانتی‌متر و بدون ارزش اقتصادی است که در بخش‌های بالایی توده نیمه‌عمیق داسیتی و در امتداد شکستگی‌های نرمال با همین روند تشکیل شده‌اند. این در حالی است که کانه‌زایی اصلی بارزش اقتصادی، شامل رگه‌های سیلیسی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی با سنگ میزبان توف ریولیتی و کریستال لیتیک توف داسیتی است که در امتداد گسل‌های نرمال با روند N20-30E/70NW و در فاصله دور از (در حاشیه) توده نیمه‌عمیق داسیتی تشکیل شده‌اند. طول و ضخامت آنها به‌ترتیب حدود ۵۰ تا ۵۰۰ و ۱-۳ متر است و تمامی فعالیت‌های معدنی نیز در راستای آنها انجام گرفته است. بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در رگه‌های مذکور طی سه مرحله و به‌صورت (۱) برش‌های هیدروترمالی (شکل ۴الف، ۲) رگه- رگچه‌های سیلیسی- سولفیدی (شکل ۴ب) و سیلیسی- سولفیدی- کربناتی (شکل ۴ج، ۳) رگه- رگچه‌های تأخیری با بافت نواری غنی از اسپیکیولاریت و سیلیس رخ داده است (شکل ۵۴). به‌غیر از موارد فوق، رگه- رگچه‌های سیلیسی بدون بار با روندهای مختلف نیز در منطقه معدنی قابل مشاهده است که بخش‌های کانهدار را قطع کرده‌اند. بررسی

براساس مشاهدات صحرایی، دگرسانی کربناتی در حاشیه رگه‌های کانهدار و با حضور کانی‌های کلسیت، سیدریت، کلریت و کوارتز به‌همراه کانی‌های سولفیدی قابل مشاهده است. حالتی دیگر از این دگرسانی در منطقه، تبدیل کانی‌های مافیک آمفیبول و پیروکسن، پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های ریز موجود در زمینه واحدهای میزبان کانه‌زایی به کربنات و وجود رگه و رگچه‌های کلسیتی است.

دگرسانی آرژیلیکی در بخش‌های شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه (در توده نیمه‌عمیق داسیتی، توف‌های ریوداسیتی و گدازه‌های آندزیت بازالت) و همچنین در اطراف رگه‌های معدنی، به‌صورت درهم‌ریخته با دگرسانی کربناتی قابل مشاهده است. این نوع دگرسانی، ویژه کانسارهای اپی‌ترمال است [۱۱] و عموماً تحت تأثیر سیالات ماگمایی- گرمابی، بخارات اسیدی حاصل از سرد شدن سریع و یا آب‌های جوی، در درجه حرارت بین ۱۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌گردد [۱۲]، [۱۳]. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که دگرسانی آرژیلیکی در منطقه معدنی، به‌صورت فراگیر انتخابی عمل کرده است، به‌طوری‌که در مقاطع میکروسکوپی، جانیشینی کانی‌های رسی به‌جای کانی‌های آلومینیم‌دار در فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز به‌طور کامل و گاه به‌صورت ناقص دیده می‌شود (شکل ۳ج). کوارتز، ایلیت، کائولینیت و مونتموریونیت از فراوان‌ترین کانی‌های موجود در دگرسانی‌های رسی هستند [۱۴]. بنابراین، براساس مشاهدات صحرایی و نتایج حاصل از آنالیز XRD (نمونه‌های GT249, GT205, GT248, GT232, GT184)، کانی‌های کوارتز، پیریت، ایلیت، کائولینیت، مونتموریونیت و ناترونیت، مهمترین پارائنز کانی‌شناسی این دگرسانی را در کانسار همیشه تپه تشکیل می‌دهند (جدول ۲). در بخش‌هایی از منطقه که شدت دگرسانی بیشتر است، کلریت و کلسیت نیز از دیگر کانی‌های همراه این مجموعه هستند.

دگرسانی پروپیلیتی فراگیرترین نوع دگرسانی در منطقه مورد مطالعه است که گسترش زیادی را در واحدهای آتشفشانی و بخش خارجی پهنه کانه‌زایی نشان می‌دهد. این نوع دگرسانی از واکنش سیالات ماگمایی یا گرمابی غنی از منیزیم، آهن، کلسیم، سدیم و یا بی‌کربنات با سنگ‌های آذرین ایجاد می‌شود [۱۳]. بر پایه بررسی‌های آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD حاصل از نمونه GT252، پارائنز این نوع دگرسانی در



و گاهی پیریت در میان آنها با بافت باقیمانده و اتول مانند قابل مشاهده است (شکل ۵پ). نسل سوم: شامل پیریت با بافت کلوفرمی و کمی گرد شده است که در مرحله تأخیری و افول سیستم هیدروترمالی تشکیل شده است.

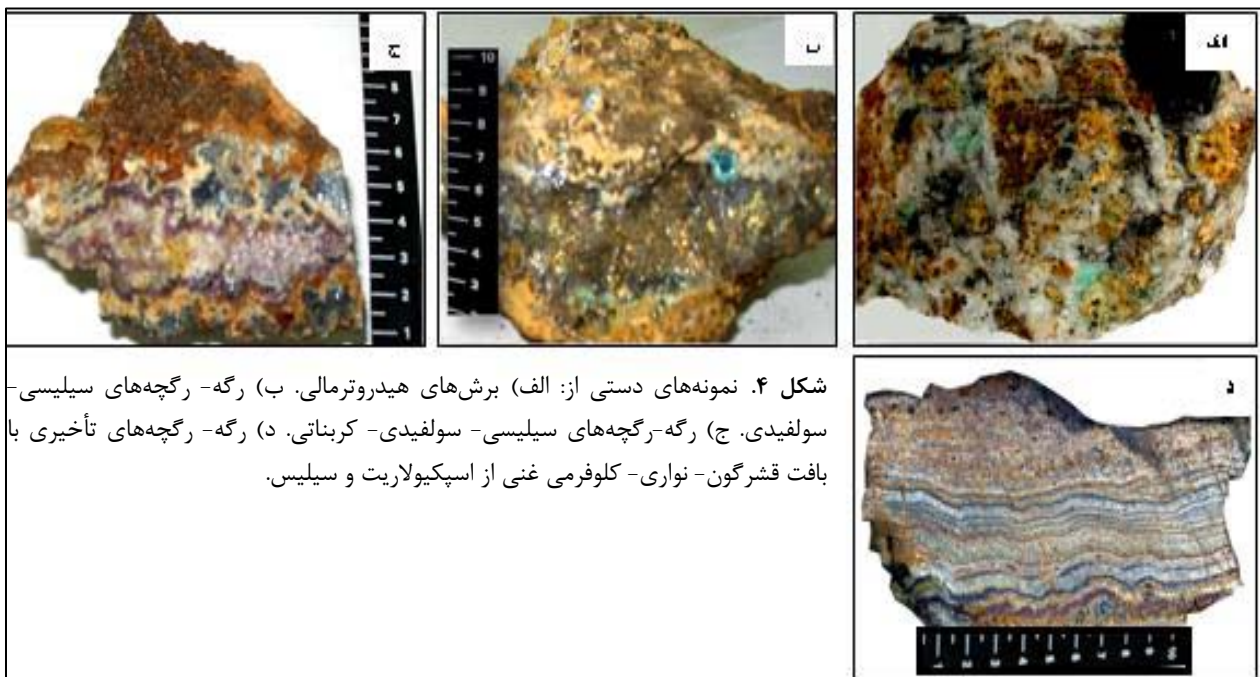
#### اسفالریت (ZnS)

با توجه به شدت دگرسانی و فعالیت‌های سوپرژن در منطقه، اسفالریت در نمونه‌های دستی مشاهده نشد و فقط در بعضی از مقاطع میکروسکوپی و نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی، این کانی به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، در اندازه‌های متفاوت (۵۰ میکرون تا حدود ۱ میلی‌متر) به مقدار بسیار کم شناسایی گردید. البته، در بررسی نتایج آنالیز XRD نمونه‌های GT-S11-1 و GT-S11-2، برداشت‌شده از رگه‌های سیلیسی-سولفیدی (جدول ۲)، اسفالریت به همراه ورتزیت نیز گزارش شده است که با توجه به مطالعات میکروسکوپ الکترونی از نمونه GTS-st213 (جدول ۳)، میزان آهن آن بسیار پایین است. در مطالعه مقاطع میکروسکوپی، این کانی با کالکوپیریت و گالن مرز بسیار واضحی نشان می‌دهد (شکل ۵ت) که گویای همزمانی تشکیل آنها در مرحله دوم از فعالیت‌های هیدروترمالی است و حتی در بعضی از مقاطع، گالن از اطراف، اسفالریت را فرا گرفته یا از حاشیه جانشین آن شده است (شکل ۵چ).

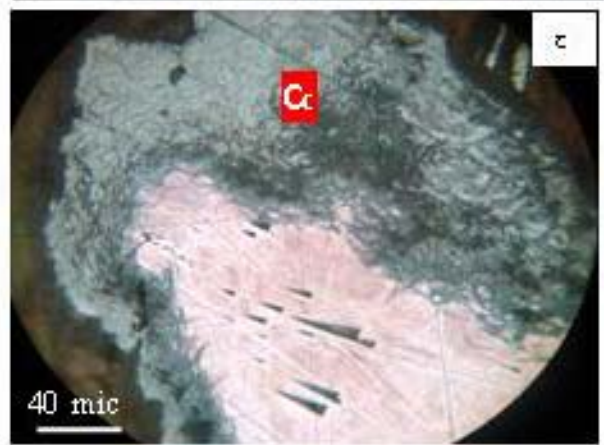
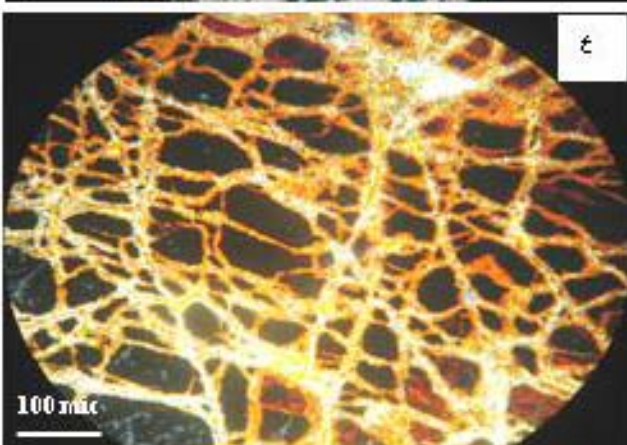
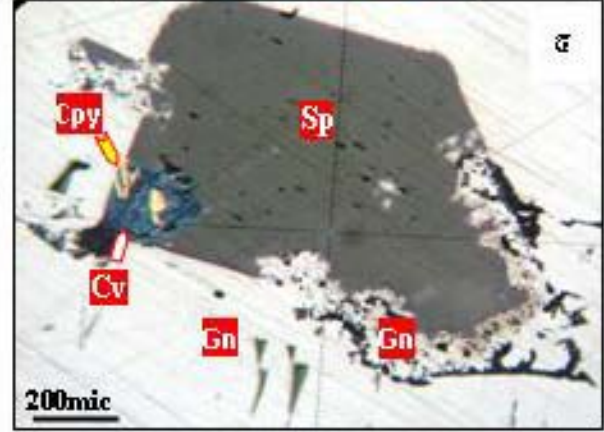
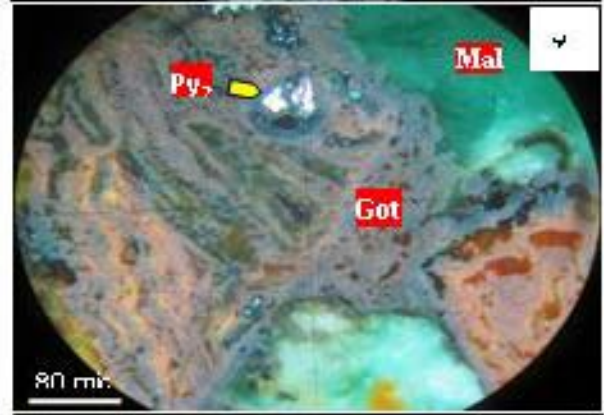
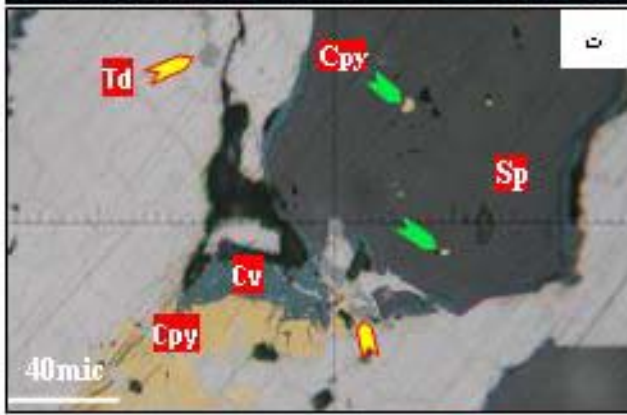
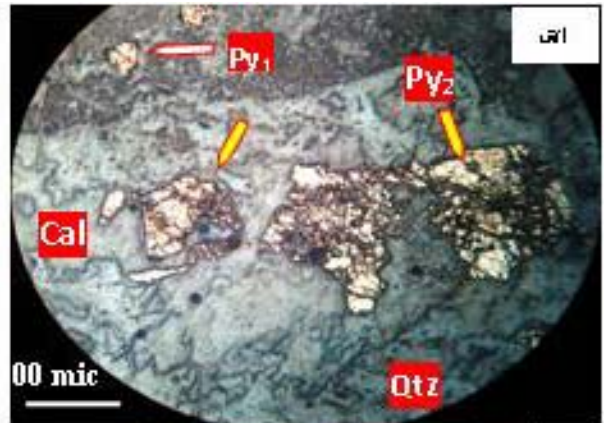
مقاطع میکروسکوپی، نتایج مطالعات میکروسکوپ الکترونی و آنالیز XRD نمونه‌ها، نشانگر تشکیل کانه‌های سولفیدی، سولفوسالت، اکسیدی و کربناتی به صورت اولیه و ثانویه همراه با کانی‌های گانگ چون کوارتز، کلسیت، سربیسیت، کلریت و کانی‌های رسی در مراحل کانه‌زایی ذکر شده است، که در زیر به معرفی این کانی‌ها، بافت‌های شاخص‌شان و تشکیل آنها در طول مراحل کانه‌زایی و ارتباط آنها با یکدیگر، پرداخته می‌شود.

#### پیریت (FeS<sub>2</sub>)

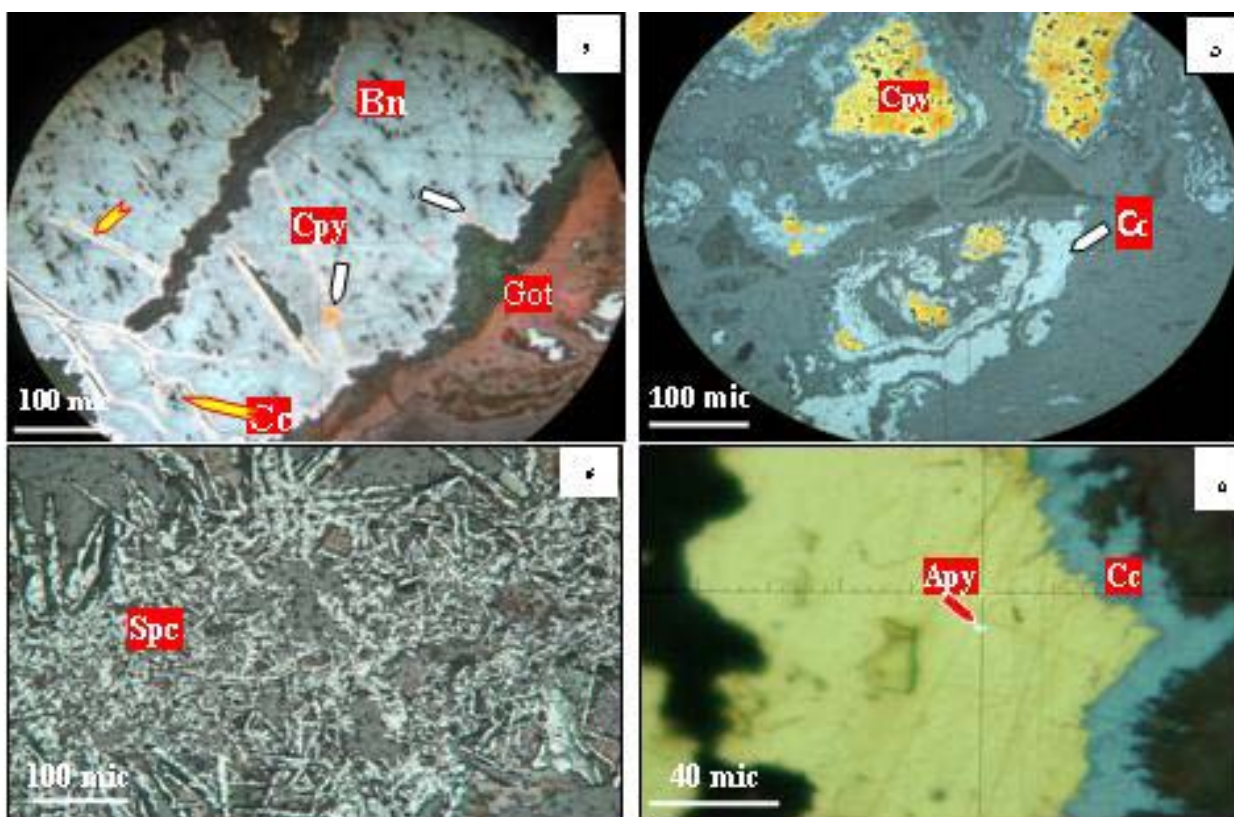
بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، پیریت به صورت سه نسل قابل تفکیک است: نسل اول: مربوط به مرحله قبل از کانه‌زایی است و شامل پیریت ریزبلور تا دانه‌درشت (۱۸۰-۲۰ میکرون) و خودشکل است که به صورت دانه‌پراکنده در توده نیمه‌عمیق داسیتی (در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی) دیده می‌شود. نسل دوم پیریت با بافت کاتاکلاستی و برشی (شکل ۵الف)، شامل پیریت‌های نیمه‌شکل تا شکل‌دار است که طی مراحل هیدروترمالی، همراه با کالکوپیریت و همچنین به صورت ادخال در امتداد رخ‌های گالن تشکیل شده است (شکل ۵ب). این کانی سولفیدی اکثراً از حواشی و مرز شکستگی‌ها به‌طور بخشی و گاه کامل، به اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لپیدوکروسیت) با بافت کلوفرم تبدیل شده



شکل ۴. نمونه‌های دستی از: الف) برش‌های هیدروترمالی. ب) رگه-رگه‌های سیلیسی-سولفیدی. ج) رگه-رگه‌های سیلیسی-سولفیدی-کربناتی. د) رگه-رگه‌های تأخیری با بافت قشرگون-نواری-کلوفرمی غنی از اسپکیولاریت و سیلیس.







شکل ۵. الف) پیریت‌های خرد شده با بافت کاتاکلاستی نسل دوم در رگه‌های سیلیسی-سولفیدی-کربناتی به‌همراه پیریت‌های نسل اول در زمینه سنگ میزبان. ب) پیریت نسل دوم به‌صورت ادخال در گالن. گالن از حاشیه و مرکز به انگلیزیت (An) تبدیل شده است. پ) بافت کلوفرمی گوتیت که جانشین پیریت با بافت باقی‌مانده و آتول‌مانند شده است. ت) حضور قطرک‌های کالکوپیریت در اسفالریت همراه با کالکوپیریت درشت‌بلور، تتراهدریت در گالن. چ) جانشینی اسفالریت از حاشیه به‌وسيله گالن، گالن از اطراف نیز اسفالریت را در بر گرفته است. ح) چرخش و خمیدگی در گالن در اثر فرآیندهای تکتونیکی و جانشینی گالن به انگلیزیت. ج) جانشینی گالن از حاشیه توسط کالکوسیت. خ) بافت برشی کالکوپیریت که توسط کانی‌های ثانویه مس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن به هم جوش خورده است. د) بافت کلوئیدی کالکوسیت که جانشین کالکوپیریت شده، کالکوپیریت به‌صورت بافت باقی‌مانده و جزیره‌ای دیده می‌شود. و) ادخال کالکوپیریت در شبکه بورنیت و جانشینی کالکوسیت به جای بورنیت. ه) ادخال آرسنوپیریت در کالکوپیریت. ی) بلورهای سوزنی با بافت افشان اسپکیولاریت. Qtz: کوارتز، Py: پیریت، Bn: بورنیت، Cpy: کالکوپیریت، Sp: اسفالریت، Gn: گالن، Td: تتراهدریت، CV: کولیت، Cc: کالکوسیت، Mal: ملاکیت، Spc: اسپکیولاریت، Got: گوتیت، Apy: آرسنوپیریت، An: انگلیزیت، Cal: کلسیت.

## گالن (PbS)

کانی گالن با بافت توده‌ای، رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی، همچنین به صورت بلورهای خودشکل کوبیک در سطح درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های میزبان کانسار قابل مشاهده است. همچنین، در اثر فرآیندهای تکتونیکی و دگرشکلی بعدی حاکم در منطقه، به شدت خرد شده و رخ‌های مثلثی شکل آن به مثلث‌هایی کشیده (شمشیری شکل) تبدیل شده و حالت چرخشی و خمش در رخ‌های آن پدیدار شده است (شکل ۵ج). این کانی در شرایط سوپرژن به وسیله انگل‌زیت (شناسایی شده بر پایه نتایج آنالیزهای XRD و SEM) و سروزیت (با بافت کلونیدال)، (جدول‌های ۲ و ۳) جانشین شده است (شکل ۵ب). همچنین، در امتداد رخ‌ها و از حاشیه، به کوولیت (با بافت جانشینی) و کالکوسیت (با بافت شبکه‌ای) نیز تبدیل شده است (شکل ۵ح).

کالکوپیریت (CuFeS<sub>2</sub>)

کالکوپیریت مهمترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی مس در کانسار گمیش‌تپه است. این کانی با اندازه‌های متفاوت (۲۰ میکرون تا ۱ میلی‌متر) و بافت پرکننده فضای خالی و رگه- رگچه‌ای، با بلورهای پیریت نسل دوم و در بعضی از مقاطع، همراه با اسفالریت و گالن قابل مشاهده است (شکل ۵ت). براساس مطالعات آزمایشگاهی، حالت برشی شدن و بافت کاتاکلاستی در این کانی (شکل ۵خ)، بی‌ارتباط با فعالیت‌های تکتونیکی بعد از کانه‌زایی در منطقه نیست. مالاکیت و آزوریت نیز از کانه‌های ثانویه مس در بخش‌های سطحی کانسار هستند که در اثر اکسایش کالکوپیریت حاصل شده‌اند. همچنین، این کانی در اثر فرآیندهای سوپرژن، از حاشیه یا از مرکز به وسیله دیژنیت، کوولیت و کالکوسیت (با بافت کلونیدی)، (شکل ۵د) جانشین شده است.

جدول ۳. ترکیب شیمیایی کانی‌های مختلف براساس مطالعات میکروسکوپ الکترونی (SEM) برحسب درصد وزنی.

No.	GTS9-st213 اسفالریت	GTS8(st222) گالن	GTS9(st219) گالن	GTS9(st7) گالن	GTS9(217) کالکوپیریت	GTS8(st221) انگل‌زیت	GTS8(st1) همی‌مورفیت	GTS9(st3) اکسید منگنز و آهن
Cs	۰/۳۵	-	-	-	-	-	-	-
Si	۲/۱۷	۱/۳۹	۱/۹۸	۰/۶۹	۱/۹۸	۱/۱۱	۱۲/۷۸	۲۵/۹۰
S	۱۹/۲۸	۱۲/۰۴	۱۳/۱۲	۱۵/۶۸	۱۹/۵۴	۸/۷۴	۰/۷۵	۴/۵۹
Ag	۰/۰۸	۰/۱۱	۰/۵۰	۰/۴	۰/۱۲	۰/۲۳	-	۰/۸۵
Mg	۰/۰۶	-	-	-	-	-	۰/۲۱	۰/۶۱
Mn	-	-	-	-	-	-	۰/۲۲	۱۲/۲۸
Sb	۰/۱۶	۰/۲۴	-	۰/۱۴	۰/۲۳	-	۰/۵۳	-
Te	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۳۰	-	۰/۱۱	-	-	-
Fe	۰/۴	۰/۵۶	۰/۱	۰/۵۱	۳۹/۴۶	۰/۸۳	۰/۷۷	۱۵/۷۸
Zn	۷۱/۳۵	۰/۳۲	۰/۲۱	-	۰/۷۸	۰/۲۳	۵۵/۴۶	۸/۴۲
Pb	۲/۲۶	۷۷/۵۰	۷۴/۶۸	۷۰/۱۱	۲/۱۲	۷۹/۴۲	-	-
K	۰/۱۰	-	-	-	-	-	-	-
Sr	-	۱/۴۶	-	-	۲/۶۹	-	-	-
Ts	۱/۰۲	-	۰/۵۷	-	۰/۵۷	۱/۸۵	-	-
Cd	۰/۵	-	-	-	-	-	۰/۱۹	۱/۲۷
Co	-	۰/۱۸	۰/۱۴	-	۰/۳۱	۰/۴۱	-	-
Ni	-	۰/۳۳	۰/۱۸	-	۰/۱۳	۰/۵۳	-	-
Cu	۱/۷۱	۰/۷۵	۰/۳۶	۶/۷۱	۳۶/۲۲	۰/۱۵	۵/۴۷	۱۲/۷۱
W	-	۰/۷۳	۰/۵۷	-	-	۰/۳۹	-	-
Ge	-	۱/۵۳	۲/۲۱	۱/۸۰	۲/۸۴	۱/۳۳	-	-
As	-	۱	۱/۰۳	۱/۹۸	۰/۳۴	۰/۸۸	۱/۱۴	۵/۱۷
Bi	-	۱/۶۳	۲/۱۷	-	۱/۲۴	۳/۱۱	۲/۶۳	۲/۱۷
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-
Sn	-	-	۰/۱۸	-	-	۰/۲۶	-	-
Hg	-	-	-	-	-	-	۳/۱۷	۴/۷۵

**بورنیت ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ )**

همی‌مورفیت) شناسایی شدند (جدول ۲). بنابراین، میزان بالای عنصر روی در کانسار، در ارتباط با حضور فراوان کانه‌های کربنات و سیلیکات روی است. در بخش‌های سطحی کانسار، اسمیت‌زونیت به‌صورت آمورف، پودری‌شکل و سفید رنگ و نیز به‌صورت پرکننده فضای خالی با بافت کلوئیدی قابل مشاهده است (شکل ۶ب). کانه همی‌مورفیت با بافت کلوئیدی و کلوفرمی، به‌صورت پرکننده فضای خالی، در دیواره تونل‌های منطقه معدنی نیز دیده می‌شود (شکل ۶الف، ب).

**انگلیزیت ( $\text{PbSO}_4$ ) و سروزیت ( $\text{PbCO}_3$ )**

انگلیزیت و سروزیت، کانه‌های رایج در زون‌های اکسیدان بسیاری از کانسارهای سرب و روی هستند. حضور انگلیزیت در کانسار گمیش‌تپه، بر پایه آنالیز XRD (جدول ۲) و مطالعات SEM از نمونه‌های برداشت‌شده از بخش‌های سوپرژن (جدول ۳)، تأیید شده است. این کانه با بافت پرکننده فضای خالی در امتداد رخ‌های گالن و شکستگی‌ها، جانشین آن شده است (شکل ۵ب، ج). علاوه بر این، براساس مطالعات میکروسکوپی، گالن از حواشی و در امتداد سطوح رخ و شکستگی‌ها به‌وسیله سروزیت جانشین شده است. در بررسی‌های صحرایی، این کانه با بافت کلوفرمی و کلوئیدال، درون فضاها خالی و شکستگی‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۶ج، د). همچنین، در نتایج آنالیز XRD، سروزیت نیز گزارش شده است (جدول ۲).

**کوارتز**

مهمترین کانی گانگ همراه کانه‌ها در کانسار گمیش‌تپه، کوارتز است. در محدوده معدنی، این کانی به‌صورت انواع مختلف کوارتز (آمتیست، دودی، رزی، شیری و دانه‌شکری) قابل مشاهده است. در پهنه کانه‌زایی، این کانی با بافت‌های پرکننده فضای خالی، شانه‌ای (شکل ۴ج)، قشرگون- کلوفرمی- نواری (شکل ۴د) با سولفیدهای مختلف همراه است. بر پایه مطالعات میکروسکوپی، دو نسل کوارتز در رگه‌های سیلیسی کانه‌دار دیده می‌شود: کوارتز کریپتوکریستالین تا ریزبلور نسل اول، اغلب ابعاد کمتر از ۲۰۰ میکرون دارد. معمولاً با کانی‌های سولفیدی همراه است و در زیر میکروسوپ، مرز مشخصی با کوارتزهای تأخیری نسل دوم دارد. کوارتز نسل دوم در ابعاد ۶۰۰ میکرون تا بیش از ۱ میلی‌متر، در کانسنگ سیلیسی (رگه و زون سیلیسی) به‌صورت بلورهای خودشکل و بسیار درشت در مرکز رگه تشکیل شده است.

بورنیت یکی دیگر از سولفیدهای مس در کانسار گمیش‌تپه است که براساس مطالعات میکروسکوپی، به‌صورت اولیه و به مقدار بسیار کم و گاه به شکل ادخال در شبکه کالکوپیریت یا بر عکس مشاهده می‌شود (شکل ۴و) که پدیده اخیر، نشان‌دهنده هم‌رشدی بورنیت با کالکوپیریت است. این کانی از حاشیه و در امتداد رخ‌ها به کالکوسیت و کوولیت با بافت تیغه‌ای و جانیشینی تبدیل شده است (شکل ۵و).

**تتراهدریت ( $(\text{Cu, Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ )**

تنها کانی سولفوسالت حاوی نقره در کانسار گمیش‌تپه، تتراهدریت است که به صورت بی‌شکل و در اندازه‌های متفاوت (از ۱۰ تا بیشتر از ۹۰ میکرون) همراه با گالن و اسفالریت دیده می‌شود (شکل ۵ت). همچنین، این کانی به‌صورت ادخال در داخل کانی‌های ذکر شده قابل مشاهده است.

**آرسنوپیریت ( $\text{FeAsS}$ )**

کانی آرسنوپیریت با درصد انعکاس بالا (۵۲-۵۱ درصد) مشخص می‌شود. این کانی به‌صورت ادخال‌های بی‌شکل و بسیار دانه‌ریز در داخل کالکوپیریت‌ها، در مرحله دوم از فعالیت‌های هیدروترمالی دیده می‌شود (شکل ۵ه).

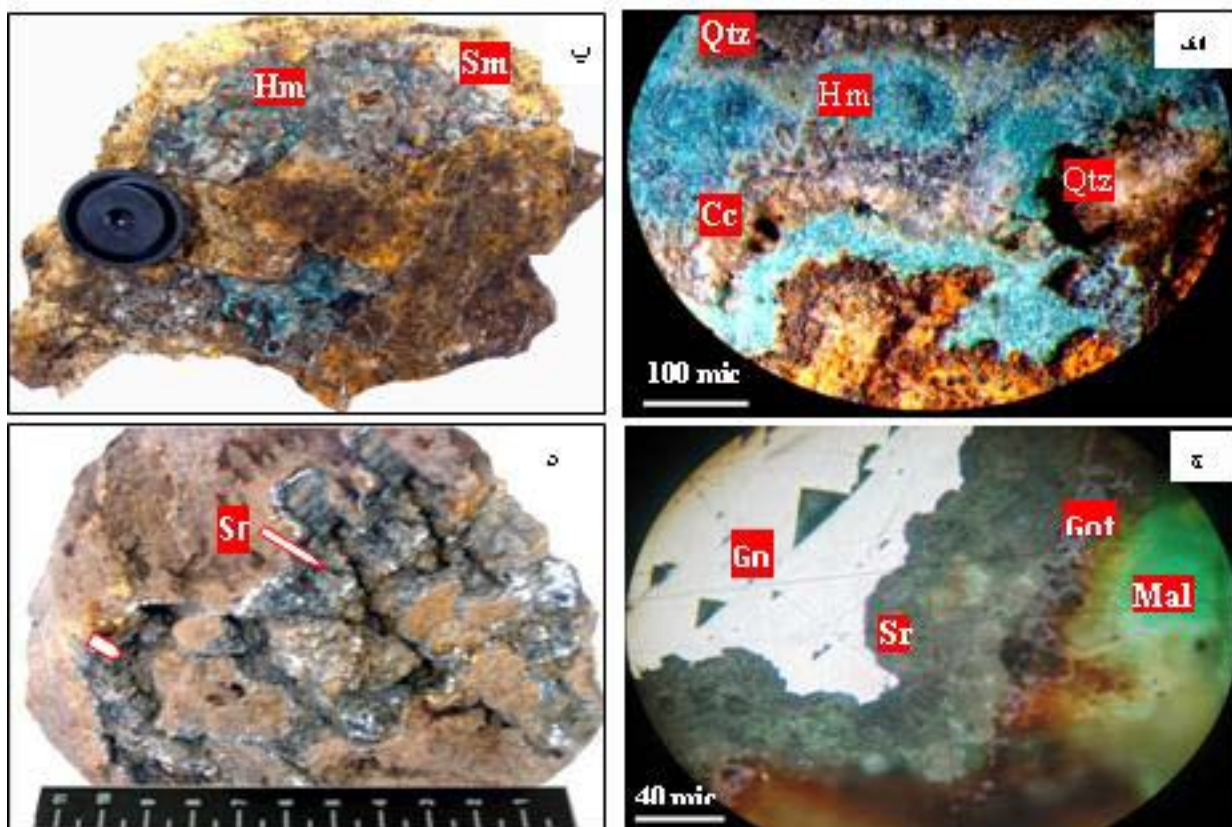
**اسپیکولاریت ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )**

اسپیکولاریت با بلورهای سوزنی‌شکل، ریز تا درشت‌بلور و بافت افشان (شکل ۵ی)، همراه با پیریت‌های اکسید شده، سیلیس آمورف، کوارتز کریپتوکریستالین و هیدروکسیدهای آهن در رگه‌هایی با بافت قشرگون- نواری، در بخش‌های نزدیک سطح پهنه کانه‌زایی قابل مشاهده است که براساس بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، نشانگر فاز تأخیری از فعالیت‌های هیدروترمالی می‌باشد.

**همی‌مورفیت ( $(\text{Zn}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ ، اسمیت‌زونیت ( $\text{ZnCO}_3$ ))**

از آنجا که اکسیداسیون کانسنگ‌های سولفیدی اولیه، در اثر تقابل و انحلال با آب‌های جوی (با نسبت بالای  $\text{CO}_2/\text{HCO}_3$ )، باعث تشکیل کانی‌های غیرسولفیدی می‌شود [۱۵]؛ در اثر فعالیت شدید فرآیندهای سوپرژن در منطقه معدنی گمیش‌تپه، کانه‌های سولفیدی به کانه‌های غیرسولفیدی تبدیل شده‌اند، به‌طوری‌که براساس بررسی‌های صحرایی، مطالعات میکروسکوپ الکترونی و نتایج آنالیز XRD، دو کانی مهم غیرسولفیدی روی در کانسار گمیش‌تپه (اسمیت‌زونیت و





شکل ۶. الف) نمونه دستی از بافت کلونیدی همی‌مورفیت به همراه اسمیت‌زونیت آمورف و پودری سفید رنگ. ب) همی‌مورفیت با بافت کلوفرمی که در اطراف کالکوسیت و در گانگ سیلیسی مشاهده می‌شود. ج) مقطع میکروسکوپی جانیشینی گالن از حاشیه به‌وسیله سروزیت، اکسیدهای آهن در زمینه‌ای از کانی مالاکیت. د) نمونه دستی از کانی سروزیت با بافت پرکننده فضای خالی. Hm: همی‌مورفیت، Sm: اسمیت‌زونیت، Sr: سروزیت.

#### شواهد ژئوشیمیایی

به‌منظور بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب و نادر خاکی در منطقه معدنی، نمونه‌هایی از بخش‌های کانه‌دار، سنگ‌های میزبان کانه‌زایی (توف ریولیتی، توده نیمه‌عمیق داسیتی)، کم‌پایین ماده معدنی (توف سیلتی) و واحدهای سنگی دور از گستره کانه‌زایی انتخاب و به روش‌های XRF، ICP-AES و ICP-MS آنالیز شدند (جدول ۱). با توجه به دگرسانی متغیر سنگ‌های آذرین منطقه، سعی شد تا برای بررسی رفتار عناصر کمیاب و نادر خاکی، از نتایج آنالیز دو نمونه مربوط به یک سنگ (یکی از بخش‌های نزدیک کانه‌زایی و دیگری نمونه سنگی سالم و کمتر دگرسان‌شده دور از کانه‌زایی) استفاده شود.

#### بررسی تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی در کانسار

##### گمیش‌تپه

داده‌های تجزیه عناصر نادر خاکی، برحسب کندریت بهنجار شدند [۱۶]. در ادامه برای تعبیر و تفسیر رفتار عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مختلف، مقادیر  $\sum REE$ ،  $Ce/Ce^*$ ،  $Eu/Eu^*$ ،  $Gd/Yb$ ،  $La/Yb$ ،  $La/Sm$ ،  $La/Lu$  و  $Ce/Yb$  محاسبه گردید (جدول ۱). الگوی به‌دست آمده بررسی تغییرات عناصر کمیاب و نادر خاکی واحدهای سنگی منطقه به شرح زیر است:

در توده نیمه‌عمیق داسیتی، نمونه GT254، مربوط به بخش‌های غیردگرسان و دور از کانه‌زایی و نمونه GT231، در ارتباط با کانه‌زایی و حاوی دگرسانی‌های آرژیلی و سریستی است. نمونه دور از کانه‌زایی نسبت به نمونه GT231، از عناصر

می‌دهد. بنابراین مشخص می‌شود که این عناصر، از نمونه GTS1-4 و کمربایین ماده معدنی تهی شده است و در داخل رگه‌ها تمرکز یافته‌اند.

الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در هر دو نمونه، از LREE غنی‌شدگی نشان می‌دهد، اما HREE رفتارهای متفاوتی دارند، به طوری که در نمونه GTS1-4، عناصر Tb, Gd, Dy غنی‌شدگی و Yb تهی‌شدگی نشان می‌دهد و سایر HREE تقریباً بدون تغییر هستند (شکل ۷). این در حالی است که مقدار Eu تغییر خاصی نشان نمی‌دهد و در هر دو نمونه دارای بی‌هنجاری منفی است. همچنین نسبت‌های La/Lu, Ce/Yb, La/Yb, در نمونه GTS1-4 نسبت به میانگین آنها در نمونه GT168، افزایش یافته است که می‌تواند حاکی از تأثیر سیال ماگمایی اسیدی، ایجاد دگرسانی سیلیسی و غنی‌شدگی نسبت LREE به HREE باشد [۱۹]. نسبت  $Ce/Ce^*$  در سنگ دیواره رگه کانه‌دار،  $1/0.2$  و  $Eu/Eu^*$  در این نمونه  $0.76$  است که به ترتیب از مقادیر معادل خود در توف ریولیتی دور از کانه‌زایی، بیشتر و کمتر هستند. شیب منفی بسیار کم در محل LREE، الگوی تخت HREE و  $\Sigma REE$  بالا ( $153$  گرم در تن) از خصوصیات عناصر نادر خاکی در توف سیلتی (کمربایین ماده معدنی) است (شکل ۷). عناصر REE در این سنگ نسبت به واحد میزبان کانه‌زایی (GTS1-4) از همه عناصر غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند، به طوری که نسبت‌های  $Ce/Ce^*$  و  $Eu/Eu^*$  در این سنگ به ترتیب معادل  $0.75$  و  $1/28$  و مقادیر  $La/Lu$ ,  $La/Sm$ ,  $La/Yb$ ,  $Gd/Yb$ ,  $14/25$ ,  $2/2$  نیز به ترتیب  $93/59$ ,  $6/6$  است که به استثنای نسبت  $Ce/Ce^*$ ، همه مقادیر در مقایسه با میانگین آنها در سنگ دیواره رگه کانه‌دار، افزایش یافته‌اند (جدول ۳). یوروپیم در کمربایین ماده معدنی، رفتار متفاوتی نسبت به توف ریولیتی و توده نیمه‌عمیق داسیتی دارد، به طوری که میزان Eu در این سنگ،  $1/4$  است و بی‌هنجاری مثبت نشان می‌دهد. بی‌هنجاری مثبت Eu می‌تواند در ارتباط با دگرسانی‌های کلریتی و سریسیتی کانی‌های سیلیکاته سنگ [۲۰]، همچنین حضور کانی‌های مافیک (آمفیبول و بیوتیت) و اکسیدهای آهن باشد [۲۱]. بنابراین، حضور کانی‌های مافیک (بیوتیت و مسکوویت) و اکسید و هیدروکسید آهن (حاصل از تجزیه پیریت) و دگرسانی‌های کلریتی ضعیف و سریسیتی در کمربایین ماده معدنی، دلیل افزایش میزان Eu است.

Cu, Zn, Ba, Sr نسبت به کلارک این عناصر در این نوع سنگ‌ها، به ترتیب افزایشی در حدود  $2$ ,  $3/5$ ,  $20$ ,  $7$  برابر نشان می‌دهد که نشانگر غنی‌بودن توده داسیتی در این منطقه از عناصر یاد شده، خصوصاً روی و مس است. همچنین، از عنصر Nb به مقدار زیاد و از عناصر V و U به میزان محسوس تهی‌شدگی نشان می‌دهد.

الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی (REE) در هر دو نمونه، با شیب نسبتاً زیاد و تفریق LREE از HREE مشخص می‌شود (شکل ۷ الف).  $\Sigma REE$  و نسبت‌های Ce/Yb و La/Lu در نمونه دگرسان شده از مقادیر میانگین نمونه غیردگرسان بیشتر است که حاکی از غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک در نمونه GT231 است؛ ولی عناصر HREE (به جز Yb و Tm که در نمونه GT231 در مقایسه با نمونه GT254 غنی‌شدگی نشان می‌دهند)، تغییر خاصی نشان نمی‌دهند و نسبت La/Yb در هر دو نمونه با هم برابر است. همچنین نسبت  $Eu/Eu^*$  در نمونه دگرسان شده، معادل  $0.75$  و نسبت  $Ce/Ce^*$   $0.86$  است (جدول ۱)، که به ترتیب نسبت به مقادیر معادل خود در نمونه سالم کمتر هستند و در واقع بی‌هنجاری منفی Eu وجود دارد. از آنجا که افزایش در نسبت سنگ/سیال، شدت دگرسانی هیدروترمال و تجزیه فلدسپات‌ها (پلاژیوکلازها که از Eu دوظرفیتی نسبتاً غنی هستند)، باعث ایجاد بی‌هنجاری منفی در Eu می‌شود [۱۷]، بنابراین، با توجه به اینکه حمل‌کننده اصلی Eu، پلاژیوکلازها هستند، تخریب این کانی سبب مهاجرت عنصر  $Eu^{+2}$  از آنها می‌گردد. در واقع، درجه بی‌هنجاری منفی Eu، با پیشرفت دگرسانی به تدریج افزایش می‌یابد [۱۸]. همچنین Ce به مقدار ناچیز تهی‌شدگی نشان می‌دهد، لذا مقادیر ناچیزی از Ce به صورت  $Ce^{+3}$  از محیط شسته شده است.

همچنین، به منظور بررسی توزیع عناصر نادر خاکی در توف ریولیتی (سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی) و توف سیلتی، دو نمونه GT168 (دور از محدوده کانه‌زایی) و GTS1-4 (در ارتباط با کانه‌زایی همراه با دگرسانی سیلیسی یا سنگ دیواره رگه‌های کانه‌دار) از توف ریولیتی و یک نمونه از توف سیلتی (GT94) انتخاب شد (جدول ۱). در بررسی عناصر کمیاب، نمونه GT168 نسبت به GTS1-4 و کمربایین ماده معدنی، مشاهده می‌شود که مقادیر عناصر فلزی Zn, Pb, Cu نسبت به کلارک این عناصر در این نوع سنگ‌ها، مقادیر قابل توجهی را نشان

و سرب در شبکه کانه اسفالریت (نمونه GTS-st213)، به- ترتیب ۲/۲۶٪ و ۱/۱۷٪ است (جدول ۲). همچنین گالن در شبکه خود، حاوی مقادیر قابل توجهی از عناصر مس، روی، نقره، تنگستن، بیسموت، تانتالیم و آرسنیک است (جدول ۲). در ضمن، کالکوپیریت نیز که با گالن و اسفالریت در مرحله دوم از فعالیت‌های هیدروترمالی، همراه است، مقادیر بالایی از سرب، روی، بیسموت، ژرمانیم و استرانسیم را در شبکه خود نشان می‌دهد (جدول ۲)، که این نتایج، حاکی از هم‌رشدی و تشکیل کانه‌های فوق از یک سیال کانه‌ساز است. براساس مطالعات ژئوشیمیایی، عنصر نقره نیز عیار قابل توجهی را در نمونه‌های معدنی دارد، به طوری که عیار کمینه، میانگین و بیشینه این عنصر از رگه‌های کانه‌دار به ترتیب ۴/۷۵ ppm، ۸۸، ۲۱۴ به دست آمده است. از آنجائی که بالابودن میزان نقره در یک کانسار، بیانگر وجود نقره در سولفیدها و سولفوسالت‌هایی چون گالن، کالکوپیریت و تتراهدريت است [۲۴]؛ بنابراین، با توجه به عدم مشاهده کانه نقره خالص، بالابودن میزان این عنصر در کانسار گمیش‌تپه، می‌تواند در ارتباط با حضور کانی سولفوسالت نقره‌دار تتراهدريت در رگه‌های کانه‌دار و نیز وجود نقره در شبکه کانه‌های گالن، کالکوپیریت و اکسیدهای موجود در رگه‌های کانه‌دار کانسار گمیش‌تپه باشد. براساس نتایج آنالیز نقطه‌ای، مقدار این عنصر در شبکه کانی‌های مذکور به ترتیب ۰/۱۸۵٪، ۰/۱۲٪، ۰/۵٪ به دست آمد (جدول ۲). همچنین، در نتایج آنالیزهای ICP-AES و ICP-MS از دو نمونه گالن خالص (تهیه شده از کانسنگ‌های سولفیدی کانسار) نیز، میزان نقره تا ۴۷ ppm گزارش شده است (جدول ۴). بر پایه نتایج آنالیزهای شیمیایی، علاوه بر عناصر ذکر شده در بالا، آرسنیک، آنتیموان، گوگرد، بیسموت و جیوه نیز بی‌هنجار هستند (جدول ۲)، به طوری که در مطالعات میکروسکوپ الکترونی بر روی کانه‌های موجود در بخش اکسیدان کانسار (همی‌مورفیت و اکسیدهای آهن)، بیشترین میزان آرسنیک در حدود ۵/۱۷٪، جیوه ۴/۷۵٪ و بیسموت ۳/۱۱٪ به دست آمد (جدول ۲). همچنین، بالاترین عیار کادمیم در نمونه‌های کانسنگ سولفیدی، ۹۲۶ ppm اندازه‌گیری شد. از آنجاکه اسفالریت به‌عنوان میزبان اصلی عنصر کادمیم شناخته می‌شود [۲۵]؛ بنابراین، براساس نتایج آنالیز نقطه‌ای، مقدار کادمیم در شبکه اسفالریت، ۰/۶۳ درصد وزنی اندازه‌گیری شده است. به‌منظور سنجش عنصر طلا در رگه‌های کانه‌دار، نمونه‌هایی از کانسنگ

بررسی الگوی REE در بخش‌های کانه‌زایی، با انتخاب یک نمونه از کانسنگ‌های سولفیدی (GT-S9-1) انجام شد (جدول ۳). الگوی REE در این نمونه، به‌صورت نسبتاً مسطح با شیب منفی بسیار کم است که دارای غنی‌شدگی در همه عناصر نادر خاکی (به جز Lu که در نمونه کانسنگ، تهی‌شدگی نشان می‌دهد) است (شکل ۷ج). همچنین، نسبت LREE به HREE در مقایسه با سنگ دیواره رگه کانه‌دار (GTS1-4) بالاتر است، به طوری که نسبت‌های La/Lu, La/Sm, La/Yb, Gd/Yb در کانسنگ سولفیدی به ترتیب برابر ۱۳۳/۱، ۱۲/۶۵، ۱۶/۱۱، ۱/۹ است. کاهش نسبت HREE به LREE، می‌تواند ناشی از تأثیر سیالات ماگمایی- گرمایی غنی از کلر و فلوروداری باشد که سبب شستشو و حمل آنها گشته‌اند [۱۸]، [۲۲]. عناصر Ce و Eu در نمونه کانسنگ سولفیدی به ترتیب بی‌هنجاری مثبت و منفی نشان می‌دهند، به طوری که نسبت‌های  $Ce/Ce^*$  و  $Eu/Eu^*$  در آن به ترتیب معادل ۰/۲۸ و ۵ است. میزان بالای Eu می‌تواند در ارتباط با فرآیندهای دگرسانی همراه با کانه‌زایی و تهی‌شدگی آن در سنگ میزبان کانه‌زایی [۲۰]، حضور پیریت و ایجاد محیط احیایی و در نتیجه کاهش تحرک و غنی‌شدگی آن در داخل سیالات گرمایی کانه‌دار باشد [۸]، [۲۳]. میزان بسیار پایین Ce در کانسنگ سولفیدی، حاکی از آن است که Ce با ظرفیت +۳ از محیط شسته شده است.

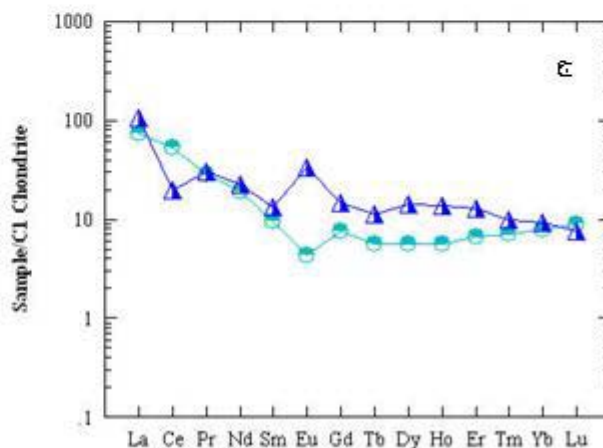
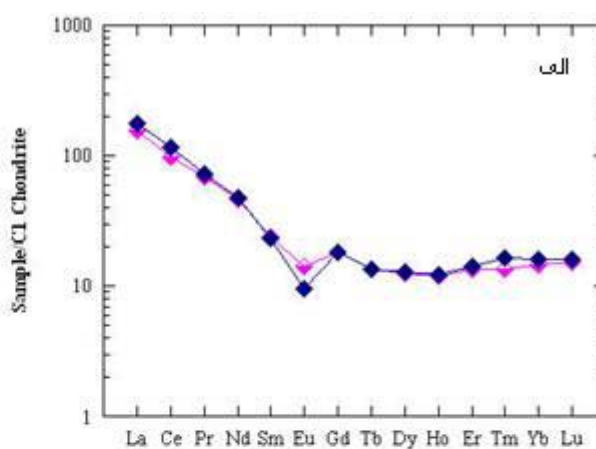
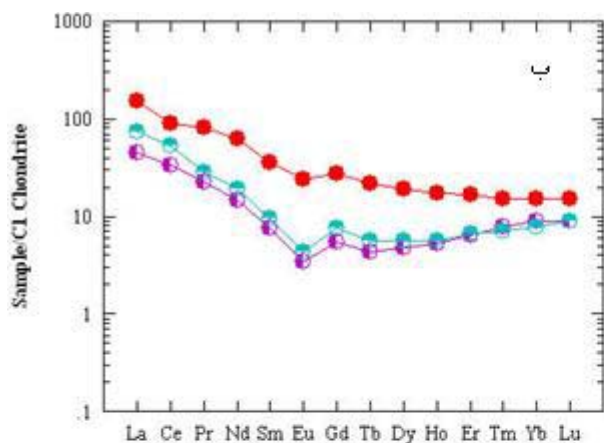
#### ژئوشیمی رگه‌های کانه‌دار در کانسار گمیش‌تپه

به‌منظور اندازه‌گیری توزیع و فراوانی عناصر معرف کانی‌سازی و دیگر عناصر همراه آنها در کانسار گمیش‌تپه، از نتایج آنالیز ICP-AES حاصل از نمونه‌های انتخاب شده از بخش‌های مختلف پهنه کانه‌زایی و مطالعات میکروسکوپ الکترونی استفاده شد (جدول ۴). محل نمونه‌ها در شکل ۱ مشخص شده است. براساس نتایج آنالیزهای ژئوشیمیایی، عیار کمینه، میانگین و بیشینه عناصر (فلزات پایه) نمونه‌ها از رگه‌های کانه‌دار به ترتیب ۰/۴۵، ۶، ۰/۲۲٪ روی؛ ۰/۴، ۴، ۰/۱۳٪ سرب و ۰/۰۱، ۲، ۰/۶٪ مس به دست آمد. براساس این نتایج، توزیع عیار روی در رگه‌های کانه‌دار با فراوانی عناصر سرب و مس انطباق خوبی نشان می‌دهد. نتایج آنالیز نقطه‌ای بر روی چند نقطه از کانه‌های اسفالریت، گالن و کالکوپیریت، مؤید همین مطلب است (جدول ۲)، به طوری که بیشترین مقدار عناصر مس

های مختلف انتخاب و به روش AAS در سازمان زمین‌شناسی کشور آنالیز شد (جدول ۴)، ولی در نتایج به‌دست آمده، مقدار عنصر طلا فقط در حد چند ppb گزارش شد.

جدول ۴. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برگرفته از طول زون کانه‌زایی کانسار گمیش تپه، به‌روش‌های ICP-AES و ICP-MS (Au برحسب ppb و سایر عناصر برحسب ppm).

نمونه	Au	Ag	Pb	Zn	Cu	Mo	As	Sb	Bi	Ti	W	Sn
GT9 (رگه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی)	۲۱	۵۷	۳۹۷۹۸	۳۸۴۰۰	۱۳۷۸۶	۱/۲۱	۲۶	۱۳/۸	۱/۶	۵۲	۱	۰/۵
GT9-2 (رگه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی)	۸۰	۲۱۴/۳۷	۱۳۴۹۳۰	۲۵۶۸۰	۶۰۴۳/۱۲	۰/۷۷	۶/۹	۶۸	۰/۵<	۱۰	۰/۵<	۰/۵۸
GT9-2-2 (رگه سیلیسی-سولفیدی-کربناتی)	۱۸	۸۶	۳۲۹۹۸	۲۰۸۰	۶۲۶۸	۱۰/۵	۲/۷	۶/۱	۹/۱	۷	۰/۵<	۰/۸
GT9-1 (رگه سیلیسی-سولفیدی)	۲۳	۲۰۴/۲۸	۱۱۵۳۶۳	۹۲۶۲۴	۵۲۵۴۹	۱۷/۶۳	۶	۶۹	۱/۱۲	۶	۱۳/۱۴	۹
GT9-1-1 (رگه سیلیسی-سولفیدی)	۲۶	۲۸	۱۳۴۰۰	۱۲۱۰۰	۱۰۰۰۰	۲	۵	۵۱	۱/۴۱	۲۰	۵	۱
GT9-1-2 (رگه سیلیسی-سولفیدی)	۲۷	۳۸/۴۲	۴۰۹۶/۷	۴۵۵۵	۱۰۷۳	۳/۳۷	۳۲/۷	۴۲	۱/۳	۱۵۶	۲/۶۵	۷/۲۴
GT9-4 (رگه سیلیسی-سولفیدی)	۶۰	۴/۷۵	۲۸۶۰/۹۹	۷۳۰۷	۳۲۸۱۳/۷۶	۳/۱۴	۳/۵	۴۸	۰/۵<	۶	۱/۹۴	۵/۸۵
GT9-3 (برش هیدروترمالی)	۳۳	۲۴/۵۶	۷۳۱/۲۶	۸۶۹۴۰	۲۸۵۷۷/۱۲	۱۷/۸۴	۱۳/۴۶	۵۶	۱/۸۱	۲۳	۴/۰۴	۱۱/۶۱
GT101(3) (برش هیدروترمالی)	۵۵	۵۷/۱۲	۱۰۵۹۳	۲۲۷۱۳	۶۱۵۲۳	۴۳/۴۵	۱<	۵۵	۰/۵<	۶۳	۰/۵	۰/۹۷
(رگه نواری غنی از سیلیس و اسپیکولاریت) GTtn8-2	۳۳	۵۵/۹۷	۶۳۹۴/۳۷	۴۴۲۰	۱۳۲۸/۶۹	۶/۷	۴۱/۵۸	۵۷	۲/۴۴	۱۵۳	۴/۶۴	۱۴



شکل ۷. الف) مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در دو نمونه توده نیمه‌عمیق داسیتی. ب) مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی برای دو نمونه از توف ریولیتی و توف سیلتی (کمرباطین ماده معدنی). الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه کانسنگ سولفیدی و مقایسه آن با توف ریولیتی میزبان کانه‌زایی (علائم مطابق شکل ۶).

## برداشت

- براساس مشاهدات صحرایی، شواهد زمین‌شناختی و ساختاری و مطالعات میکروسکوپی، کانه‌زایی در کانسار روی-سرب-مس (نقره) گمیش‌تپه، طی فرآیندهای هیدروترمالی و در ۳ مرحله رخ داده است. از مهمترین ویژگی‌های مرحله اول فعالیت‌های هیدروترمالی، می‌توان برش‌های هیدروترمالی را نام برد که در آن، قطعات برش‌ها عموماً توسط سولفیدهای فلزات پایه، کربنات‌ها و کوارتز ریزبلور با بافت موزائیکی، سیمانی شده‌اند. از مرحله دوم فعالیت‌های هیدروترمالی، می‌توان به بافت‌های ویژه این مرحله مانند بافت‌های قشرگون، شانه‌ای، پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای اشاره کرد. مهمترین و اصلی‌ترین مرحله کانه‌سازی بااهمیت اقتصادی، همین مرحله است، به طوری که براساس مطالعات آزمایشگاهی و ژئوشیمیایی (میکروسکوپ الکترونی و آنالیزهای XRD)، کانه‌سازی فلزات پایه (روی، سرب، مس) و نقره در این مرحله از فعالیت‌های هیدروترمالی رخ داده است. فاز تأخیری فعالیت‌های هیدروترمالی با بافت رگه-رگچه‌ای، نواری-قشرگون و نواری-کولفرمی مشخص می‌شود. بافت‌های نواری-قشرگون-کولفرمی از سیال تحت اشباع از سیلیس، در اثر سرد شدن سریع سیالات گرمایی در درجه حرارت کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و نزدیک سطح در کانسارهای اپی‌ترمال تشکیل می‌شوند [۲۶].

- بر پایه مشاهدات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی و نتایج آنالیز XRD، دگرسانی‌های آرژیلیکی و پروپیلیتی گسترش بیشتری در سنگ‌های منطقه دارند، در صورتی که دگرسانی‌های سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی و سریسیتی بیشترین گسترش را در ارتباط با بخش‌های کانه‌دار دارند. پاراژنز کانه‌شناسی رگه‌های کانه‌دار را پیریت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت فقیر از آهن، گالن، تتراهدريت و اسپیکولاریت تشکیل می‌دهد. کانه‌های غیرسولفیدی روی (اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت)، کربنات و سولفات سرب (سروزیت و انگل‌زیت) با بافت کولفرم، کلونیدال (گل‌کلمی)، به همراه کانه‌های ثانویه مس (دیژنیت، کولیت، کالکوسیت و مالاکیت) ترکیب کانه‌شناسی بخش‌های اکسیدان کانسار گمیش‌تپه هستند که در حفره‌ها، سطوح درزه‌ها و رگه‌ها شکل گرفته‌اند.

- براساس نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی، اسفالریت موجود در کانسار گمیش‌تپه، با میزان آهن پایین تشخیص داده شد. از

آنجا که اسفالریت با آهن پایین، یکی از خصوصیات مهم کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط زیرشاخه فلزات پایه-نقره است [۲۷]، بنابراین، از لحاظ کانه‌شناسی، کانسار گمیش‌تپه مشابه این گروه از کانسارهای اپی‌ترمال می‌باشد.

- بررسی کانه‌شناسی و ژئوشیمیایی عناصر در نمونه‌های معدنی نشان می‌دهد که در این کانسار، بالاترین تمرکز عناصر مربوط به روی و سرب است. عناصر مس و نقره نیز از همراهان کانه‌زایی در این کانسار هستند. میزان مس در بخش‌های عمیق کانسار گمیش‌تپه، بالا است و به سمت اعماق کمتر کانسار، عیار آن کاهش پیدا کرده و برعکس میزان عناصر روی و سرب و نسبت Zn/Pb افزایش می‌یابد. در بخش‌های بالایی، عیار فلزات پایه، کاهش چشمگیری نشان داده و میزان نقره افزایش پیدا می‌کند. عناصر کادمیم، آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، جیوه، گوگرد و منگنز نیز در پهنه کانه‌زایی، بی‌هنجاری نشان می‌دهند.

- از آنجا که محیط‌های کشتی پشت کمان‌های آتشفشانی مرتبط با فرورانش، محیط‌های مناسبی برای تشکیل کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال به‌شمار می‌آیند [۲۸]، بنابراین، براساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، سنگ‌های آذرین در محدوده کانسار گمیش‌تپه نیز جزء سری آهکی-قلیایی محسوب می‌شوند و در گستره ماگماهای با ویژگی فرورانش قرار می‌گیرند. مقایسه رفتار عناصر نادر خاکی در توده نیمه‌عمیق داسیتی و توف ریولیتی، روندی کاملاً مشابه ولی با نسبت‌های متفاوت را نشان می‌دهد. این روند از LREE به سمت HREE شیب‌دار بوده که غنی‌شدگی از LREE نشان می‌دهد. غلظت بالای LREE‌ها در این واحدها می‌تواند به دلیل درجات کم ذوب بخشی مواد منشأ و یا یک منشأ غنی-شده از آن باشد. الگوی یک‌دست عناصر نادر خاکی واحدهای مزبور، مؤید منشأ ماگمایی یکسان برای آنها است؛ اختلاف جزئی مانند  $\sum \text{REE}$  در آنها می‌تواند متأثر از فرآیندهای دگرسانی موجود در منطقه باشد. بی‌هنجاری منفی Eu در واحدهای مذکور، به‌وسیله پلاژیوکلازها و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار کنترل می‌شود. در مقابل، کم‌پایین ماده معدنی از همه مقادیر REE در مقایسه با میانگین آنها در سنگ دیواره رگه کانه‌دار، افزایش نشان می‌دهد. این امر بیانگر تحرک عناصر REE در طول فرآیند دگرسانی گرمایی سنگ دیواره ماده



district and vicinity near Ely, Nevada", *Economic Geology* 69 (1974) 46-58.

[11] Pirajno F., "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist", Springer (1992) 706 p.

[12] Sillitoe R.H., "Epithermal models: genetic types, geometrical control and shallow features", *Geological Association of Canada Special Paper* 40 (1993) 403-417.

[13] Giggenbach W.F., "The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems", in Barnes, H.L., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 3rd ed., New York, Wiley Interscience (1997) 737-796.

[14] Cox K.G., Bell, J.D., Pankhurst, R.J., "The Interpretation of Igneous Rocks", London, Allen and Unwin (1979) 450 p.

[15] Hitzman M.W., Reynolds, N.A., Sangster, D.F., Allen, C.R., Carman, C.E., "Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide zinc deposits", *Economic Geology* 98:4 (2003) 685-714.

[16] Sun S.S., McDonough, W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes", *Geol. Soc. Lon., Spec. Pub.* 42 (1989) 313-345.

[17] Lottermoser B.G., "Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes", *Ore Geology Reviews* 7 (1992) 25-41.

[18] Kikawada Y., Oosaka, T., Oj T., Honda, T., "Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water", *Chemical Geology* 176 (2001) 137-149.

[19] Fulignati P., Gioncada, A., "Rare earth element behaviour in the alteration facies of the active magmatic-hydrothermal system of volcano (Aeolian Island, Italy)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 88 (1998) 325-342.

[20] Sverjensky D.A., "Europium redox equilibria in aqueous solution", *Earth Planet. Sci. Lett.* 67 (1984) 70-78.

[21] Henderson P., "Rare Earth Element Geochemistry", Elsevier (1984).

[22] Gramaccioli C.M., Diella, V., Demartin, F., "The role of fluoride complexes in REE geochemistry and the importance of 4f electrons: some complexes in minerals", *Euro. J. Min* 11:6 (1999) 983-992.

[23] Shangui G., Jianquan, M., Qihou, Z., "Hydrothermal redistribution of rare-earth element in Pingxiang dacite", *Chinese Journal of*

معدنی است که با افزایش شدت دگرسانی، افزایش می‌یابد. همچنین، میزان Eu در این سنگ، افزایش یافته است. در صورتی که نسبت LREE به HREE نمونه کانسنگ در مقایسه با سنگ دیواره رگه کانه‌دار و کمربایین ماده معدنی، بالاتر است که حاکی از نقش سیالات ماگمایی- گرمایی غنی از کلر در کانه‌زایی و انتقال عناصر کانه‌ساز به صورت کمپلکس‌های کلریدی است. آنومالی مثبت Eu نشان‌دهنده دگرسانی‌های موجود در طول زون کانه‌زایی و تهی‌شدگی این عنصر از واحدهای سنگی میزبان و تمرکز آنها در سیال کانه‌ساز است.

#### مراجع

[۱] قربانی م.، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران"، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور (۱۳۸۱)، ۶۵۹ ص.

[۲] صالحی ط.، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار روی-سرب (نقره) گمیش‌تپه، جنوب‌غرب زنجان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۷)، ۲۲۱ ص.

[۳] شیرخانی م.، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی روی-سرب و عناصر همراه در کانسار آی‌قلعه‌سی، جنوب‌خاوری تکاب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۵) ۱۴۳ ص.

[۴] قربانی م.، تاجبخش، پ.، خوبی، ن.، "کانسارهای سرب و روی در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی، شماره ۷۵ (۱۳۷۹).

[5] LeBas N.J., "The role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage". *Am. J. Sci.* 260 (1962) 267-288.

[۶] مجیدی‌فرد ج.، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرزبان"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۵).

[7] Irvine T.N., Baragar, W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Can. J. Earth Sci.* 8 (1971) 523-548.

[8] Pearce J.A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", *Journal of Petrology* 25 (1984) 956-983.

[9] Lentz D.R., "Alteration and alteration processes associated with ore-forming system", *Geological Association of Canada Short Course Notes* 11 (1994) 16-22.

[10] Lovering T.G., Heyl, A.V., "Jasperoid as a guide to mineralization in the Taylor mining

*environments*", Economic Geology 95 (2000) 971-999.

[27] Hedenquist J.W., Arribas, A., Gonzalez-Urien, E., "*Exploration for epithermal gold deposits*", Reviews in Economic Geology 13 (2000) 245-277.

[28] Camprubí A., Albinson, T., "*Epithermal deposits in México, update of current knowledge, and an empirical reclassification*", The Geological Society of America, Special Paper 422 (2007) 14-39.

geochemistry 21:2 (2002) 170-174.

[24] Klein C., Hurlbut, C.S., "*Manual of Mineralogy*", John Wiley & Sons (1993) 681 p.

[25] Schwartz M., "*Cadmium in zinc deposits: economic geology of a polluting element*", Reviews in Economic Geology 13 (2000) 445-469.

[26] Simmons S.F., Browne, P.L., "*Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: implications for understanding low-sulfidation epithermal*