



دانشگاه تبریز
دانشکده علوم طبیعی
گروه زمین‌شناسی

رساله برای دریافت درجه دکتری در رشته زمین‌شناسی
"گرایش زمین‌شناسی اقتصادی"

عنوان

مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانی‌سازی،
دگرسانی و ژنز کانسار مس پورفیری سوناجیل - شرق هریس
(استان آذربایجان شرقی)

استادان راهنما

دکتر علی اصغر کلاگری دکتر محسن مؤید

استادان مشاور

دکتر بهزاد حاج علیلو دکتر محسن مؤذن

پژوهشگر

قادر مسین‌زاده

ماه و سال: تیر ماه ۸۷



تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ و متعال را شاکرم که هستی‌ام بخشید و مرا به طریق علم و دانش رهنمون شد. بی شک انجام این کار جز با لطف و عنایت او برایم مقدور نبود.

برخود فرض می‌دانم از راهنمایی‌ها و حمایت‌های بی‌دریغ استاد فرزانه جناب آقای دکتر علی اصغر کلاگری تشکر و قدردانی نمایم که در طول عملیات صحرائی و تعبیر و تفسیر نتایج و نگارش رساله از هیچ تلاش و حمایتی دریغ ننمودند. این کار به انجام نمی‌رسید جز با تلاش، راهنمایی‌ها و مساعدت‌های بی‌دریغ استاد بزرگوار و برادر گرانقدرم جناب آقای دکتر محسن مؤید که لازم است از صمیم قلب از ایشان قدردانی نمایم.

از اساتید مشاور رساله جناب آقای دکتر بهزاد حاج‌علیلو و جناب آقای دکتر محسن مؤذن بخاطر مشورت‌ها و راهنمایی‌های ارزنده ایشان کمال تشکر و امتنان را دارم.

از اساتید محترم داور رساله، آقایان دکتر احمد جهانگیری، دکتر محمود مهرپرتو و دکتر سعید علیرضائی به خاطر ارائه پیشنهادات و نقطه‌نظرات سازنده در مورد رساله تشکر می‌نمایم.

از ریاست و معاونین محترم دانشکده علوم طبیعی که در طول سنوات مختلف تحصیلی مشمول مساعدت‌های ایشان بوده‌ام قدردانی می‌نمایم.

تشکر صمیمانه خود را از مدیریت، اعضای محترم هیأت علمی، کارشناسان و کارکنان زحمتکش گروه زمین‌شناسی به خاطر تمامی زحمات و حمایت‌های ارزشمندشان ابراز می‌نمایم. همچنین از مسئولین محترم امور اداری، امور دانشجویی، کامپیوتر، سنگبری، آموزش و کتابخانه دانشکده علوم طبیعی که در طول انجام این رساله زحمات فراوانی را متقبل شدند کمال امتنان را دارم.

از مدیریت و پرسنل محترم امور پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه تبریز به خاطر مساعدت‌هایشان در طول سنوات تحصیلی و انجام رساله تشکر می‌نمایم.

از مدیریت محترم امور اکتشافات شرکت ملی صنایع مس ایران جناب آقای مهندس کارگر، معاونت محترم این امور جناب آقای مهندس حیدری، مشاور محترم صنعتی جناب آقای مهندس اصفهانی‌پور و تمام کارشناسان و پرسنل محترم امور اکتشافات و نیز از مدیریت محترم و پرسنل امور تحقیق و توسعه به خاطر تأمین منابع مالی، در اختیار گذاشتن اطلاعات علمی و حمایت‌های همه‌جانبه‌شان از این پروژه تشکر می‌نمایم.

از برادر بزرگوارم جناب آقای مهندس زین‌العابدین صفرخانلو که در طول تحصیل و انجام این رساله با ارسال کتاب‌ها و مقالات از خارج از کشور به اینجانب زحمات فراوانی را متقبل شدند بی‌نهایت متشکرم.

از سرپرست محترم دفتر اکتشافات شمالغرب جناب آقای مهندس جوانمردی و پرسنل محترم دفتر که در تدارک و تأمین امکانات جهت انجام عملیات صحرائی و امور دفتری از هیچ کمکی دریغ ننمودند تشکر می‌کنم.

از دوستان بزرگوارم آقایان دکتر میرعلی اصغر مختاری، مهندس حسین سلیم‌پور، مهندس سعید علیپور، مهندس بابک میرزاپور، علی عبدی و سایر عزیزانی که مجال ذکر نامشان نیست بخاطر زحمات فراوانشان قدردانی می‌نمایم.

از تمام اعضای خانواده‌ام بخصوص مادر و همسر مهربانم، خواهران عزیزم و خانواده همسرم تشکر می‌نمایم که همیشه مشوق اینجانب بوده‌اند و دعای خیر و همراهی صمیمانه‌شان در طول این مدت موجبات دلگرمی و امیدواری بنده را فراهم نمود.

قادر مسین‌زاده

تقدیم به

مهربانی مادرم

و

شکیبائی و همراهی همسرم

نام خانوادگی دانشجو: حسین زاده	نام: قادر
عنوان پایان نامه: مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر، کانی سازی، دگرسانی و ژنز کانسار مس پورفیری سوناجیل - شرق هریس (استان آذربایجان شرقی)	
استادان راهنما: دکتر علی اصغر کلاگری - دکتر محسن مؤید	
استادان مشاور: دکتر بهزاد حاج علیلو - دکتر محسن مؤذن	
مقطع تحصیلی: دکتری	رشته: زمین شناسی
دانشکده: علوم طبیعی	تاریخ فارغ التحصیلی: ۸۷/۴/۱۸
تعداد صفحه: ۲۱۴	
کلید واژه ها: سوناجیل؛ هریس؛ اینچه؛ مس پورفیری؛ قوس پس بر خوردی؛ سیال گرمایی؛ دگرسانی؛ پتاسیک؛ فیلیک؛ سولفیداسیون بالا؛ سیال درگیر؛ جوشش؛ سوری؛ همگن شدن؛ غنی شدگی سوپرژن؛ کلا هک شسته شده	
چکیده:	
<p>منطقه سوناجیل در استان آذربایجان شرقی و شرق هریس واقع شده و از نظر زمین شناسی بخشی از زون ولکانو- پلوتونیک البرز- آذربایجان محسوب می شود. واحدهای مختلف سنگی در این منطقه حضور دارند شامل: توده های آتشفشانی- آذرآواری ائوسن زیرین- میانی با ترکیب آندزیتی و بافت میکروگرانولار، پورفیری تا مگاپورفیری، توده نیمه عمیق پورفیری (سوناجیل پورفیری) به سن ائوسن فوقانی- الیگوسن زیرین دارای کانی سازی مس با ترکیب سینودیوریت، گابرو دیوریت تا گابرو و گرانودیوریت و بافت پورفیری تا میکرولیتیک پورفیری و دگرسانی گرمایی شدید، استوک گرانیتوئیدی الیگوسن اینچه با ترکیب کوارتز دیوریت، سینودیوریت، دیوریت تا گابرو با بافت گرانولار تا پورفیری و توده آتشفشانی اکوزداغی به سن پلیو- کواترنری با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و بافت هیالومیکرولیتیک پورفیری، سرئیتی، فلسیتیک، اینترگرانولار و شیشه ای. بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در توده های اینچه و سوناجیل پورفیری مؤید پدیده های مانند منطقه بندی ترکیبی توده ها، تغییرات نسبتاً مشخص در مودال کانی ها و آرایش بوده و سرشت کالک آلکالن با پتاسیم بالا تا شوشونیتی و ویژگی متاآلومینوس برای ماگمای مولد آنها به اثبات رسیده است. این توده ها، جزء گرانیتوئیدهای I-type نسبتاً تفریق یافته بوده و موقعیت تکتونیکی قوس حاشیه فعال قاره ای و قوس پس بر خوردی را نشان می دهند.</p> <p>فعالیت سیستم گرمایی متعاقب جای گیری توده سوناجیل پورفیری سبب ایجاد خردشدگی و نسل های مختلف رگچه ها و ریزرگچه های کوارتزی، کوارتز- سولفید، اکسید و کربناته شده و واکنش سیالات گرمایی با توده میزبان سبب گسترش انواع دگرسانی پتاسیک، فیلیک، پروپیلیتیک، آرژیلیک حدواسط و پیشرفته شده است. در زون پتاسیک، بیوتیت ماگمایی و هورنبلند به پولک های ریز بیوتیت ثانویه تبدیل شده و پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپار ثانویه جایگزین شده اند. بیشترین مقدار کانی سازی سولفیدی- اکسیدی در این زون صورت گرفته است. زون فیلیک با حضور سریسیت، کوارتز، تورمالین و مقادیر اندکی کانی های رسی مشخص بوده و حضور فراوان تورمالین دراوتی در این زون حاکی از متاسوماتیسم شدید بور (B) می باشد. مجموعه دگرسانی پروپیلیتیک شامل کلریت، اپیدوت، کلسیت و مگنتیت به همراه اندکی سریسیت و پیریت بوده و در اکثر توده های سنگی حاشیه سیستم پورفیری گسترش نسبتاً زیادی دارد. دگرسانی آرژیلیک حدواسط در اکثر نمونه های سطحی و عمقی گسترش داشته و زون های آرژیلیک پیشرفته در داخل این مجموعه با حضور پیروفیلیت فراوان قابل شناسایی است. با توجه به شواهد موجود، بخش عمده ای از این دگرسانی در این توده از نوع هیپوژن بوده اما در</p>	

نمونه‌های سطحی نوع سوپرژن این دگرسانی نیز رایج می‌باشد.

سولفیدهای اصلی هیپوژن در این توده شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مولیبدنیت (اندک) بوده و مقادیری سولفوسالت از نوع انارژیت و تتراندیریت- تنانتیت و نیز اکسیدهای مگنتیت و هماتیت در این توده تشکیل یافته‌اند. رخداد این کانی‌ها بصورت افشان، ریزرگچه‌ای، رگچه‌ای و رگه‌ای بوده و در بخش‌های فوقانی توده پورفیری در اثر فرایندهای سوپرژن به اکسیدهای آهن و مس (در بالای سطح سفره) و سولفیدهای ثانویه مس (در زیر سفره آب) تبدیل شده‌اند. فراوانی سولفوسالت‌ها در این توده که عمدتاً جانشین کانی‌های سولفیدی شده‌اند دلیل محکمی است بر هجوم سیالات دارای As و Sb در شرایط سولفیداسیون بالا (HS) در اواخر مرحله هیپوژن.

انواع سیالات درگیر تک‌فازی بخار، دو فازی مایع- بخار و چند فازی مایع- بخار- جامد از نوع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب در رگچه‌های کوارتز- سولفید حضور داشته و $T_{H(L-V)}$ برای سیالات درگیر هالیت‌دار که با انحلال هالیت همگن می‌شوند $360-580^{\circ}\text{C}$ ، برای این نوع سیالات درگیر که با از بین رفتن حباب همگن می‌شوند $320-520^{\circ}\text{C}$ ، برای سیالات درگیر دو فازی با $(T_{H(L-V)} \Rightarrow L)$ $180-560^{\circ}\text{C}$ ، و برای سیالات درگیر دو فازی با $(T_{H(L-V)} \Rightarrow V)$ $380-500^{\circ}\text{C}$ می‌باشد. در دیاگرام (شوری- T_H) دو جمعیت مشخص از سیالات با شوری بالا و پائین قابل مشاهده بوده و بخش اعظم سیالات با شوری بالا در بالای منحنی اشباع هالیت قرار گرفته‌اند. همزیستی سیالات درگیر دو فازی غنی از بخار و هالیت‌دار با دامنه T_H مشابه، دال بر رخداد پدیده جوشش بوده و بعلاوه، اختلاط هم‌دما با سیالات دارای شوری متفاوت، **Necking down**، بدام افتادن فاز جامد هالیتی و غیره در این مطالعه به اثبات رسیده است. طبق این مطالعات، جوشش سیال گرمایی کانه‌دار در درجه حرارت حدود 520°C شروع شده و پلوتون در حال سرد شدن، منبع حرارتی مورد نیاز برای این پدیده بوده است. مراحل مکرر جوشش با خردشدگی و ایجاد شکستگی‌های زیاد و سپس مهر و موم شدن این شکستگی‌ها بوسیله ته‌نشینی کوارتز- سولفید سبب افزایش مجدد فشار لیتواستاتیک و مرحله دیگری از جوشش شده و شوری سیال گرمایی با پیشرفت این پدیده تا حدود 250°C افزایش می‌یابد. این پدیده به همراه کاهش دمای سیال گرمایی مهم‌ترین عامل ته‌نشینی سولفیدها محسوب می‌گردد هر چند میزان پائین مس موجود در سیال گرمایی مانع بزرگی برای کانی‌سازی پرعیار هیپوژن بوده است.

بررسی کلاهی‌های شسته‌شده در بخش‌های فوقانی این توده نشان می‌دهد که بخش اعظم رخنمون اکسیدی شامل گوتیت بوده و میزان جاروسیت و هماتیت به مراتب کمتر می‌باشد. این مسئله می‌تواند ناشی از کم بودن مقدار پیریت هیپوژن یا عبارتی نسبت پائین پیریت به کالکوپیریت باشد که به نوبه خود مانع بزرگی برای شستشوی مس از این زون و ته‌نشینی مجدد آن در زیر سطح آب محسوب می‌گردد. با وجود کلاهی گوتیتی نبایستی انتظار حضور پوشش کالکوسیتی غنی شده در روی بخش هیپوژن را داشت. بر این اساس، میزان کانی‌سازی اولیه مس، $50-1200\text{ ppm}$ محاسبه شده است. حضور رخنمون‌های وسیعی از کانی‌های کربناته و اکسیده مس شامل ملاکیت، آزوریت، نئوتوسیت و کریزوکولا نیز دلیل محکمی است بر این نکته که اسیدپدیده لازم برای شستشوی مس از زون اکسیدان تأمین نشده است و علت اصلی این امر، میزان پیریت پائین می‌باشد.

فصل اول: پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش

۱	(۱-۱) پایه‌های نظری
۱	(۱-۱-۱) تعریف
۲	(۱-۱-۲) تاریخچه اکتشافی و موقعیت جهانی کانسارهای مس پورفیری
۳	(۱-۱-۳) متالورژی جهانی و توزیع زمانی و مکانی کانسارهای مس پورفیری
۷	(۱-۱-۴) رده‌بندی کانسارهای مس پورفیری
۷	(۱-۱-۵) جایگاه تکنیکی تشکیل کانسارهای مس پورفیری
۱۱	(۱-۱-۶) پتروژنز توده نفوذی میزبان کانسارهای مس پورفیری
۱۱	(۱-۱-۶-۱) ویژگی‌های توده نفوذی میزبان
۱۲	(۱-۱-۶-۲) ویژگی‌های ماگماهای قوسی تشکیل‌دهنده کانسارهای مس پورفیری
۱۴	(۱-۱-۶-۳) پتانسیل متالورژیک
۱۴	(۱-۱-۶-۴) اندرکنش پوسته‌ای و تأثیر آن در پتانسیل کانی‌سازی
۱۶	(۱-۱-۶-۵) خروج مواد فرار از ماگما و نقش آن در تشکیل کانسارهای مس پورفیری
۱۸	(۱-۱-۷) دگرسانی گرمایی و کانی‌سازی همراه در کانسارهای مس پورفیری
۲۲	الف) دگرسانی پتاسیک
۲۲	ب) دگرسانی فلیک (کوارتز-سریسیت-پیریت)
۲۳	ج) دگرسانی آرژلیک
۲۴	د) دگرسانی پروپیلیتی
۲۴	(۱-۱-۸) مکانیزم دگرسانی و کانی‌سازی همراه در کانسارهای مس پورفیری
۲۹	(۱-۱-۸-۱) منشأ مس
۲۹	(۱-۱-۸-۲) تولید سیال ماگمایی مسئول کانی‌سازی
۳۰	(۱-۱-۹) مدل ژنتیکی کانسارهای مس پورفیری
۳۵	(۱-۲) پیشینه پژوهش

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۳۸	(۲-۱) معرفی منطقه
۳۸	(۲-۱-۱) موقعیت جغرافیایی
۴۰	(۲-۱-۲) راه‌های دسترسی
۴۰	(۲-۱-۳) زمین‌شناسی عمومی
۴۰	(۲-۱-۳-۱) زمین‌شناسی آذربایجان
۴۴	الف) پالتوسن
۴۴	ب) اتوسن
۴۴	ج) الیگوسن
۴۵	د) نئوژن
۴۶	(۲-۱-۳-۲) زمین‌شناسی ناحیه هریس
۴۷	الف) کرتاسه فوقانی

۴۷	ب) پالئوسن - ائوسن زیرین
۴۸	ج) ائوسن میانی - بالائی
۴۹	د) الیگوسن
۴۹	ه) میوسن
۵۰	و) پلیوسن
۵۱	ز) پلیو - کواترنر
۵۱	ح) کواترنری
۵۱	۲-۲) روش تحقیق
۵۱	۲-۲-۱) برداشت صحرائی
۵۲	۲-۲-۲) روش های تجزیه ای
فصل سوم: بحث	
۵۳	۳-۱) زمین شناسی عمومی منطقه
۵۴	۳-۱-۱) واحدهای سنگی
۵۴	۳-۱-۱-۱) سنگ های آتشفشانی - آذرآواری ائوسن زیرین تا میانی
۵۴	۳-۱-۱-۲) توده سوناجیل پورفیری
۵۷	۳-۱-۱-۳) استوک گرانیتوئیدی اینچه
۵۷	۳-۱-۱-۴) توده آتشفشانی اکوزداغی
۵۹	۳-۱-۲) زمین شناسی ساختمانی
۶۲	۳-۲) پتروگرافی
۶۲	۳-۲-۱) توده های آتشفشانی - آذرآواری ائوسن
۶۲	۳-۲-۲) استوک میکرودیوریت پورفیری (سوناجیل پورفیری)
۶۴	۳-۲-۳) توده گرانیتوئیدی اینچه
۶۹	۳-۲-۴) توده ولکانیک اکوزداغی
۷۲	۳-۳) پترولوژی و پتروژنز
۷۲	۳-۳-۱) پترولوژی و پتروژنز توده نفوذی اینچه
۷۲	۳-۳-۱-۱) پتروشیمی
۷۲	۳-۳-۱-۲) ژئوشیمی عناصر اصلی
۷۳	۳-۳-۱-۳) ژئوشیمی عناصر کمیاب و فرعی
۸۴	۳-۳-۱-۴) محیط تکتونیکی و پتروژنز توده نفوذی اینچه
۹۲	۳-۳-۲) پترولوژی و پتروژنز توده سوناجیل پورفیری
۹۹	۳-۳-۳) پترولوژی و پتروژنز توده آتشفشانی اکوزداغی
۱۰۳	۳-۳-۴) فشارسنجی و حرارت سنجی روی توده نفوذی اینچه
۱۰۴	۳-۳-۵) مدل تکتونوماگمائی
۱۰۹	۳-۴) انواع رگه - رگچه ها در توده سوناجیل پورفیری
۱۱۲	۳-۵) دگرسانی
۱۱۲	۳-۵-۱) پتروگرافی دگرسانی
۱۱۲	۳-۵-۱-۱) دگرسانی پتاسیک

۱۱۷	دگرسانی فیلیک (۳-۵-۱-۲)
۱۱۹	دگرسانی پروپیلتیک (۳-۵-۱-۳)
۱۲۱	دگرسانی آرژیلیک (۳-۵-۱-۴)
۱۲۱	الف) دگرسانی آرژیلیک پیشرفته
۱۲۲	ب) دگرسانی آرژیلیک حدواسط
۱۲۶	ژئوشیمی دگرسانی (۳-۵-۲)
۱۲۶	۱- دگرسانی پتاسیک (۳-۵-۲-۱)
۱۲۹	۲- دگرسانی فیلیک (۳-۵-۲-۲)
۱۳۱	۳- دگرسانی پروپیلتیک (۳-۵-۲-۳)
۱۳۲	۴- دگرسانی آرژیلیک (۳-۵-۲-۴)
۱۳۲	الف) دگرسانی آرژیلیک پیشرفته
۱۳۳	ب) دگرسانی آرژیلیک حدواسط
۱۳۵	۳-۶) کانی سازی
۱۳۵	۱- کانی های سولفیدی و اکسیدی هیپوژن (۳-۶-۱)
۱۴۰	۲- شرایط فیزیکوشیمیائی کانی سازی هیپوژن (۳-۶-۲)
۱۴۰	۱- سولفیدها (کالکوپیریت، بورنیت و پیریت)
۱۴۲	۲- سولفوسالتها (تتراندريت-تئاتیت و انارژیت)
۱۴۳	۳- اکسیدها (مگنتیت و هماتیت)
۱۴۴	۳-۶-۳) نتیجه گیری
۱۴۷	۳-۷) مطالعه سیالات درگیر
۱۴۷	۱- مقدمه و تاریخچه (۳-۷-۱)
۱۴۸	۲- کلیات (۳-۷-۲)
۱۴۸	۱- رخداد و توزیع سیالات درگیر (۳-۷-۲-۱)
۱۴۹	۲- مورفولوژی سیالات درگیر (۳-۷-۲-۲)
۱۴۹	۳- طبقه بندی سیالات درگیر (۳-۷-۲-۳)
۱۵۰	۴- فرضیات اصلی در مطالعه سیالات درگیر (۳-۷-۲-۴)
۱۵۰	۵- تغییرات پس از بدام افتادن سیال درگیر (۳-۷-۲-۵)
۱۵۲	۳-۷-۳) اطلاعات حاصل از مطالعه سیالات درگیر
۱۵۲	۱- دما (۳-۷-۳-۱)
۱۵۲	۲- فشار (۳-۷-۳-۲)
۱۵۲	۳- دانسیته (۳-۷-۳-۳)
۱۵۲	۴- ترکیب (۳-۷-۳-۴)
۱۵۳	۴-۷-۴) اصول اساسی آنالیز ترمومتری
۱۵۳	۱- مقدمه (۳-۷-۴-۱)
۱۵۳	۲- انجماد (۳-۷-۴-۲)
۱۵۶	۳- گرمایش (۳-۷-۴-۳)
۱۵۸	۴- تصحیح فشار (۳-۷-۴-۴)

۱۶۰	۳-۷-۵) مطالعه سیالات درگیر و آنالیز میکروترمومتری در سوناچیل
۱۶۰	۳-۷-۵-۱) مقدمه
۱۶۱	۳-۷-۵-۲) پتروگرافی سیالات درگیر
۱۶۶	۳-۷-۵-۳) تعبیر و تفسیر نتایج آنالیز ترمومتری
۱۶۶	الف) درجه حرارت همگن شدن سیالات درگیر
۱۶۷	ب) شوری سیالات درگیر
۱۷۴	۳-۸) فرایندهای سوپرژن در کانسارهای مس پورفیری
۱۷۴	۳-۸-۱) مقدمه
۱۷۴	۳-۸-۲) اکسیداسیون سولفیدها
۱۷۸	۳-۸-۳) غنی‌شدگی سولفیدهای مس
۱۷۹	۳-۸-۴) فاکتورهای کنترل‌کننده اکسیداسیون و غنی‌شدگی
۱۸۱	۳-۸-۵) محصولات فرایندهای سوپرژن
۱۸۱	الف) کلاهک‌های شسته شده
۱۸۶	ب) اکسیدهای مس
۱۸۶	ج) کانی‌سازی غنی‌شده سوپرژن
۱۸۹	۳-۸-۶) فرایندهای سوپرژن در توده سوناچیل پورفیری
	فصل چهارم: خلاصه و نتیجه‌گیری
۱۹۶	۴) خلاصه و نتیجه‌گیری
۲۰۲	منابع (فارسی و انگلیسی)
۲۱۵	ضمائم

- شکل ۱-۱: پراکنندگی سنی ذخایر مس پورفیری ۴
- شکل ۱-۲: مقطع شماتیک توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و استراتوولکان همراه آنها و محیط تشکیل کانسارهای مس پورفیری و اپی‌ترمال. ۴
- شکل ۱-۳: موقعیت کمربندهای اصلی مس پورفیری در جهان و توزیع کانسارهای بزرگ مس پورفیری در این کمربندها. ۶
- شکل ۱-۴: رده‌بندی کانسارهای مس پورفیری بر اساس مقادیر مس، مولیبدن و طلا موجود در آنها. ۸
- شکل ۱-۵: مقطع شماتیک از ساختار و فرایندهای زون فرورانش، گوه گوشته‌ای و قوس قاره‌ای. ۸
- شکل ۱-۶: نمای کارتونی از ارتباط بین تکنونیک حواشی همگرا، ساختارهای صفحه بالائی و ماگماتیسیم. ۱۰
- شکل ۱-۷: مقایسه شماتیک جایگاه‌های تکنونیک مناسب برای تشکیل کانسارهای مس پورفیری بزرگ و کوچک. ۱۱
- شکل ۱-۸: دیاگرام میزان تفریق در مقابل حالت اکسیداسیون. ۱۲
- شکل ۱-۹: مقطع شماتیک از جریان و جابجائی ماگما در زون‌های برشی (Shear zone) انتقالی لیتوسفری. ۱۵
- شکل ۱-۱۰: سیستم فازی $H_2O-NaCl$. ۱۷
- شکل ۱-۱۱: ارتباط بین سنگ‌های آذرین، سنگ‌ها و کانی‌های اورتوماگمائی پسین - دوتریکی و مجموعه‌های دگرسانی متداول. ۱۹
- شکل ۱-۱۲: الگوی منطقه‌بندی دگرسانی - کانی‌سازی در کانسار مس پورفیری سان‌مانوئل - کالامازو. ۲۰
- شکل ۱-۱۳: روند‌های تغییرات ۳ سیال با ترکیب متفاوت همراه با سرد شدن و تغییرات شیمیائی. ۲۵
- شکل ۱-۱۴: نمودار شماتیک زمان-عمق که نشان‌دهنده توالی معمول تیپ‌های دگرسانی در کانسارهای مس پورفیری. ۲۶
- شکل ۱-۱۵: طرح شماتیک پایداری کانی‌های گرمایی در ارتباط با دگرسانی و کانی‌سازی در کانسارهای پورفیری. ۲۸
- شکل ۱-۱۶: مقایسه مدل اورتوماگمائی با مدل همرفتی در تشکیل کانسارهای مس پورفیری. ۳۱
- شکل ۱-۱۷: مقطع شماتیک از یک کانسار مس پورفیری که به داخل توده‌های گرانیتی قدیمی‌تر نفوذ کرده است. ۳۳
- شکل ۱-۱۸: طرح شماتیک از مراحل ۳ گانه تشکیل برش کراکل. ۳۴
- شکل ۱-۱۹: نقشه آنومالی ژئوشیمیائی مس در شمال و جنوب دره جنگل و موقعیت نمونه‌های آبراه‌ای. ۳۶
- شکل ۱-۲۰: شبکه نمونه‌برداری خاک و موقعیت آنومالی‌های ژئوشیمیائی مس. ۳۷
- شکل ۲-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در شمال‌غرب ایران و شرق هریس. ۳۸
- شکل ۲-۲: نقشه راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه. ۴۰
- شکل ۲-۳: پهنه‌های رسوبی و ساختاری عمده در بخشی از ایران. ۴۱
- شکل ۲-۴: زیرپهنه‌های ایران مرکزی. ۴۲
- شکل ۲-۵: بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اهر که واحدهای سنگی منطقه هریس را نشان می‌دهد. ۴۶
- شکل ۳-۱: نقشه ساده شده زمین‌شناسی و دگرسانی منطقه سوناجیل که در روی آن چاه‌های حفاری مشخص شده است. ۵۳
- شکل ۳-۲: تصاویری از واحدهای آتشفشانی و پورفیری در منطقه سوناجیل. ۵۵
- شکل ۳-۳: تصاویری از سیماهای مختلف واحد سوناجیل پورفیری در منطقه سوناجیل. ۵۶
- شکل ۳-۴: تصاویری از سیماهای زمین‌شناختی در واحدهای سنگی منطقه. ۵۸
- شکل ۳-۵: دیاگرام گل‌سرخ درزه‌ها (a) و تراکم نقاط قطبی سطوح درزه (b) در توده نفوذی اینچه. ۶۰
- شکل ۳-۶: دیاگرام گل‌سرخ درزه‌ها (a) و تراکم نقاط قطبی سطوح درزه (b) در توده سوناجیل پورفیری. ۶۱
- شکل ۳-۷: تصاویر میکروسکوپی از واحد آتشفشانی و تصاویری از سیماهای مختلف توده پورفیری. ۶۳
- شکل ۳-۸: تصاویر میکروسکوپی از توده سوناجیل پورفیری. ۶۵
- شکل ۳-۹: موقعیت نمونه‌های توده اینچه و توده پورفیری در نمودار $(Nb/Y) - (Zr/TiO_2 \times 0.0001)$. ۶۷
- شکل ۳-۱۰: موقعیت نمونه‌های توده اینچه در نمودار TAS. ۶۷
- شکل ۳-۱۱: تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های توده نفوذی اینچه. ۶۸
- شکل ۳-۱۲: نمودار Si در مقابل Na+K جهت تعیین ترکیب آمفیبول‌ها. ۶۹
- شکل ۳-۱۳: تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های توده آتشفشانی اکوزداغی. ۷۰
- شکل ۳-۱۴: موقعیت نمونه‌های توده آتشفشانی اکوزداغی در نمودار TAS. ۷۱
- شکل ۳-۱۵: نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در مقابل SiO_2 برای نمونه‌های توده اینچه. ۷۴
- شکل ۳-۱۶: نمودار تغییرات MgO در مقابل CaO در توده اینچه. ۷۵
- شکل ۳-۱۷: نمودار تغییرات A/CNK در مقابل SiO_2 در توده اینچه. ۷۵
- شکل ۳-۱۸: نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در مقابل اندیس تفریق (D.I.) برای نمونه‌های توده اینچه. ۷۶
- شکل ۳-۱۹ (a-j): نمودارهای تغییرات عناصر فرعی و کمیاب در مقابل اندیس تفریق (D.I.) برای نمونه‌های توده اینچه. ۷۷

- ۷۸ ادامه شکل ۳-۱۹ (k-r): نمودارهای تغییرات عناصر فرعی و کمیاب در مقابل اندیس تفریق (D.I.) برای نمونه‌های توده اینچه.
- ۸۰ شکل ۳-۲۰ (a-h): نمودارهای تغییرات عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در توده نفوذی اینچه.
- ۸۱ ادامه شکل ۳-۲۰ (i-l): نمودارهای تغییرات عناصر اصلی، فرعی و کمیاب در توده نفوذی اینچه.
- ۸۲ شکل ۳-۲۱: دیاگرام‌های عنکبوتی عناصر کمیاب نادر خاکی در نمونه‌های توده نفوذی اینچه.
- ۸۳ شکل ۳-۲۲: نمودار Ba-Nb/Y نشانگر تأثیرات مذاب و سیالات حاصل از صفحه فرورونده در تحول ماگمای مولد توده اینچه.
- ۸۳ شکل ۳-۲۳: موقعیت نمونه‌های توده اینچه در نمودار K/Rb-SiO₂ که میزان تحول ماگماها و تیپ گرانیتوئیدها را نشان می‌دهد.
- ۸۵ شکل ۳-۲۴ (a): موقعیت نمونه‌های توده اینچه در نمودار Na₂O-K₂O راجرز و همکاران (۱۹۹۸).
- ۸۶ شکل ۳-۲۵: موقعیت نمونه‌های توده اینچه در (a) نمودار Y-Zr، (b) نمودار TiO₂-Al₂O₃ و (c) نمودار Zr/Al₂O₃-TiO₂/Al₂O₃ مولر و گروز (۱۹۹۷).
- ۸۷ شکل ۳-۲۶: موقعیت نمونه‌های توده اینچه در (a) نمودار Zr/Al₂O₃-TiO₂/Al₂O₃ (b) نمودار Ce/P₂O₅-Zr/TiO₂.
- ۸۸ شکل ۳-۲۷: موقعیت نمونه‌های توده اینچه در (a) نمودار مثلثی Zr×3-Nb×50-Ce/P₂O₅ مولر و گروز (۱۹۹۷) (b) نمودار مثلثی Rb/30-Hf-Ta×3 و (c) نمودار مثلثی Rb/10-Hf-Ta×3 هریس و همکاران (۱۹۸۶).
- ۸۹ شکل ۳-۲۸: موقعیت نمونه‌های توده اینچه در نمودار A/NK-A/CNK (مانیابر و پیکولی، ۱۹۸۹) که متمایزکننده توده‌های متآلومینوس از پرآلومینوس می‌باشد.
- ۸۹ شکل ۳-۲۹ (a): موقعیت نمونه‌های توده اینچه در دیاگرام Nb-Y (پیرس و همکاران، ۱۹۸۴). (b) موقعیت نمونه‌ها در دیاگرام Rb-(Y+Nb) و محدوده پس‌برخوردی پیشنهادی پیرس (۱۹۹۶).
- ۹۰ شکل ۳۰: نمودارهای فراسر و همکاران (۲۰۰۱) برای تعیین تیپ گرانیت‌ها و سری ماگمایی آنها با استفاده از اکسیدهای اصلی.
- ۹۱ شکل ۳-۳۱: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب توده نفوذی اینچه و مقایسه آنها با داده‌های مربوط به توده‌های گرانیتوئیدی مختلف.
- ۹۲ شکل ۳-۲۷: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب و نادر خاکی توده سوناجیل پورفیری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه.
- ۹۳ شکل ۳-۲۸: نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی توده سوناجیل پورفیری که نسبت به کندریت بهنجار شده‌اند.
- ۹۳ شکل ۳-۳۴: موقعیت نمونه‌های توده سوناجیل پورفیری در نمودارهای Th/Yb-Ta/Yb و Ce/Yb-Ta/Yb.
- ۹۴ شکل ۳-۳۵: موقعیت نمونه‌های سوناجیل پورفیری در نمودارهای (a) Y-Zr، (b) TiO₂-Al₂O₃ و (c) Zr/Al₂O₃-TiO₂-Al₂O₃.
- ۹۵ شکل ۳-۳۶: نمودار Ti-Zr جهت تفکیک موقعیت‌های قوس آتشفشانی، داخل صفحه‌ای و بازالت‌های پشته میان‌اقیانوسی.
- ۹۵ شکل ۳-۳۷ (a): نمودار Zr/Al₂O₃-TiO₂/Al₂O₃ و (b) نمودار Ce/P₂O₅-Zr/TiO₂ و موقعیت نمونه‌های توده پورفیری سوناجیل در روی آنها.
- ۹۶ شکل ۳-۳۸: موقعیت نمونه‌ها در نمودارهای مثلثی (a) Rb/10-Hf-Ta×3 و (b) Rb/30-Hf-Ta×3 (هریس و همکاران، ۱۹۸۶).
- ۹۷ شکل ۳-۳۹: موقعیت نمونه‌های توده پورفیری در نمودارهای Nb-Y و Rb-(Y+NB) (پیرس و همکاران، ۱۹۸۴) و محدوده پیشنهادی پیرس (۱۹۹۶) برای توده‌های پس‌برخوردی در نمودار Rb-(Y+NB).
- ۹۸ شکل ۳-۴۰: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب (و K₂O) که نسبت به پلاژیوگرانیت‌های شکاف وسط اقیانوسی بهنجار شده‌اند (هریس و همکاران، ۱۹۸۶).
- ۹۹ شکل ۳-۳۶: موقعیت نمونه‌های توده آتشفشانی اکوزداغی در نمودار (Zr/TiO₂)×0.0001-Nb/Y.
- ۱۰۰ شکل ۳-۴۲: موقعیت نمونه‌های اکوزداغی در (a) نمودار (Na₂O+K₂O)-SiO₂ (ایروین و بارآگار، ۱۹۷۱) و (b) نمودار K₂O-SiO₂ (پکسریلو و تایلور، ۱۹۷۶).
- ۱۰۱ شکل ۳-۳۸: نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در مقابل SiO₂ در نمونه‌های اکوزداغی.
- ۱۰۲ شکل ۳-۴۴: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت که برحسب میزان ناسازگاری مرتب شده‌اند.
- ۱۰۲ شکل ۳-۴۵: شکل ۳-۴۵: نمودار 3Zr-50Nb-Ce/P₂O₅ (مولر و گروز، ۱۹۹۷) جهت تعیین موقعیت تکنونیک توده اکوزداغی.
- ۱۰۷ شکل ۳-۴۶: مراحل تحول نئوتیس در بخش شمال‌غربی آن.
- ۱۱۱ شکل ۳-۴۸: تصاویری از تیپ‌های مختلف رگچه‌ها در توده سوناجیل پورفیری.
- ۱۱۵ شکل ۳-۴۹: تصاویری از مقاطع میکروسکوپی زون پتاسیک.
- ۱۱۶ شکل ۳-۵۰: تصاویری از مقاطع میکروسکوپی زون پتاسیک.
- ۱۱۸ شکل ۳-۵۱: تصاویری از مقاطع میکروسکوپی زون فیلیک.
- ۱۲۰ شکل ۳-۵۲: تصاویری از مقاطع میکروسکوپی زون پروپیلیتیک.
- ۱۲۳ شکل ۳-۵۳: نقشه‌های پراکندگی کاتولینیت و ایلیت در منطقه سوناجیل بر اساس نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها.
- ۱۲۴ شکل ۳-۵۴: نقشه‌های پراکندگی پیروفیلیت و کلریت در منطقه سوناجیل بر اساس نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها.
- ۱۲۵ شکل ۳-۵۵: نقشه‌های پراکندگی مونت‌موریلونیت و آرژیلیت در منطقه سوناجیل بر اساس نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها.

- شکل ۳-۵۶: نمودار $(2Ca+Na+K)/Al$ در مقابل K/Al (مائوک و سیمپسون، ۲۰۰۷) جهت ارزیابی میزان متاسوماتیسم پتاسیم. ۱۲۹
- شکل ۳-۵۷: تصاویری از نمونه‌های دستی و مقاطع میکروسکوپی کانی‌سازی سولفیدی هیپوژن در توده سوناجیل پورفیری. ۱۳۶
- شکل ۳-۵۸: تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی سولفیدی و سولفوسالتی هیپوژن در زون‌های پتاسیک و فلیک توده پورفیری. ۱۳۷
- شکل ۳-۵۹: توالی پاراژنتیک تشکیل کانی‌های سولفیدی، اکسیدی و کربناته هیپوژن و سوپرژن در توده سوناجیل پورفیری. ۱۳۸
- شکل ۳-۶۰: تصاویری از کانی‌سازی سولفیدی، سولفوسالتی و اکسیدی در زون‌های پتاسیک و فلیک توده پورفیری. ۱۳۹
- شکل ۳-۶۱: نمودار fS_2 در مقابل حرارت برای بررسی سیستماتیک سولفیدها و اکسیدها در کانسارهای مس پورفیری. ۱۴۶
- شکل ۳-۶۲: نمودار $\log fO_2$ در مقابل pH برای برخی از کانی‌های دگرسانی و سولفیدی در سیستم‌های پورفیری و اپی‌ترمال. ۱۴۶
- شکل ۳-۶۳: طبقه‌بندی شماتیک سیالات درگیر بر اساس فازهای مشاهده شده در دمای اتاق (شپرد و همکاران، ۱۹۸۵). ۱۵۰
- شکل ۳-۶۴: الف) تشکیل اشکال منفی بلورین در سیالات درگیر موجود در کوارتز از طریق انحلال و ترسیب مجدد در جدار داخلی حفرات. ب) Necking down در یک سیال درگیر تخت و طویل و تشکیل سه سیال درگیر مجزا با نسبت‌های متفاوت مایع به بخار. ۱۵۱
- شکل ۳-۶۵: روابط فازی در سیستم $H_2O-NaCl$ در درجات حرارت پائین و بالا (الف و ب). ۱۵۴
- شکل ۳-۶۶: ایزوترم‌های موجود در ناحیه پایداری یخ در سیستم $H_2O-NaCl-KCl$. ۱۵۵
- شکل ۳-۶۷: نمایش حالات مختلف همگن شدن سیالات درگیر حالت‌های A، B و C. ۱۵۷
- شکل ۳-۶۸: منحنی‌های حلالیت برای $NaCl$ و KCl در محلول‌های آبگین. ۱۵۷
- شکل ۳-۶۹: فاز دیاگرام و مرزهای فازی برای سیستم سه‌تایی $H_2O-NaCl-KCl$ (رویدر، ۱۹۸۴). ۱۵۸
- شکل ۳-۷۰: تصحیح درجه حرارت برای محلول‌های دارای H_2O ، $NaCl$ ، $CaCl_2$ و $MgCl_2$ بعنوان تابعی از درجه حرارت همگن شدن و فشار (پوتر، ۱۹۷۷). ۱۵۹
- شکل ۳-۷۱: نمایی از سیستم Heating-Freezing Stage و میکروسکوپ مورد استفاده جهت آنالیز ترمومتری سیالات درگیر. ۱۶۰
- شکل ۳-۷۲: تجمع سیالات درگیر تک‌فاز بخار در داخل میزبان کوارتز باندی. ۱۶۱
- شکل ۳-۷۳: بافت استوک‌ورک و نسل‌های مختلف رگچه‌های کوارتزی در توده سوناجیل پورفیری. ۱۶۲
- شکل ۳-۷۴: سیالات درگیر اولیه با اشکال تخت، میله‌ای، گردشده و شکل منفی بلورین. ۱۶۲
- شکل ۳-۷۵: توزیع سیالات درگیر ثانویه بصورت ردیف‌هایی در ریزشکستگی‌های ترمیم‌شده در کوارتز. ۱۶۳
- شکل ۳-۷۶: سیالات درگیر اولیه شکلدار و ثانویه ریز گردشده و نامنظم. ۱۶۳
- شکل ۳-۷۷: ترمینولوژی توصیفی سیالات درگیر ثانویه و ثانویه کاذب بر اساس موقعیت قرارگیری Trail. ۱۶۳
- شکل ۳-۷۸: هیستوگرام فراوانی شوری‌های اندازه‌گیری شده از سیالات درگیر سوناجیل. ۱۶۷
- شکل ۳-۷۹: توزیع فراوانی $T_{S(NaCl)}$ ، $T_{H(L-V)}$ ، $T_{H(L-V)}$ و $T_{H(L-V)}$ برای سیالات درگیر مختلف. ۱۶۸
- شکل ۳-۸۰: دیاگرام شوری در مقابل $TH(L-V)$ نشان‌دهنده پراکندگی سیالات درگیر نسبت به منحنی اشباع $NaCl$ و منحنی بحرانی. ۱۶۹
- شکل ۳-۸۱: دیاگرام شماتیک روندهای معمول سیالات درگیر در میدان شوری- T_H . ۱۷۰
- شکل ۳-۸۲: نمودار درجه حرارت همگن شدن مایع-بخار ($T_{H(L-V)}$) در مقابل درجه حرارت ذوب هالیت ($T_{S(NaCl)}$). ۱۷۰
- شکل ۳-۸۳: فشار در زمان همگن شدن برای سه سیال درگیر هالیت‌دار با مقادیر متفاوت $T_{S(NaCl)}$ و $T_{H(L-V)}$ در سیستم $H_2O-NaCl$. ۱۷۱
- شکل ۳-۸۴: طرح شماتیک پدیده Necking down در سیالات بدم افتاده تحت اشباع (A) و اشباع (B) و (C). ۱۷۲
- شکل ۳-۸۵: اطلاعات حاصل از مطالعه سیالات درگیر در کانسارهای مختلف که بر روی دیاگرام شوری- T_H پلات شده‌اند. ۱۷۳
- شکل ۳-۸۶: طرح شماتیک زون‌بندی قائم در کانسارهای مس پورفیری غنی‌شده. ۱۷۴
- شکل ۳-۸۷: طرح شماتیک سلول گالوانیک حاصل از مجاورت دو سولفید با تمایل الکتروشیمیایی متفاوت و واکنش‌های آن. ۱۷۶
- شکل ۳-۸۸: محدوده پایداری کانی‌های مس در سیستم $(A) Cu-S-H_2O$ و کانی‌های آهن در سیستم $(B) Fe-S-H_2O$. ۱۷۷
- شکل ۳-۸۹: خلاصه‌ای از چرخه فرایندهای سوپرژن در یک کانسار مس پورفیری. ۱۸۰
- شکل ۳-۹۰: شرایط بهینه برای اکسیداسیون و غنی‌شدگی کانسارهای مس پورفیری. ۱۸۱
- شکل ۳-۹۱: انواع کلاهک‌های شسته‌شده در بخش بالایی کانسارهای مس پورفیری و مثالی برای هرکدام از کلاهک‌ها. ۱۸۲
- شکل ۳-۹۲: همبستگی کانی‌شناسی لیمونیت‌ها و اکسیدهای مس با کانی‌سازی مس اولیه. ۱۸۳
- شکل ۳-۹۳: مقایسه ۲ کانسار مس پورفیری که از نظر مقدار پیریت هیپوژن، نسبت پیریت به کالکوپیریت، عیار مس اولیه و مقدار کل سولفید متفاوتند. ۱۸۵
- شکل ۳-۹۴: حالت ساده شده شکل (۳-۹۳) که دو کانسار با مشخصات متفاوت تحت تأثیر فرایندهای سوپرژن قرار گرفته‌اند. ۱۸۵
- شکل ۳-۹۵: مراحل تشکیل کلاهک‌ها، غنی‌سازی و دگرسانی آرژیلیک سوپرژن در کانسارهای پورفیری. ۱۸۸
- شکل ۳-۹۶: تشکیل کلاهک شسته شده (عمدتاً گوتیتی) بر روی توده سوناجیل پورفیری در دره آق‌بار و ارتفاعات شمالی دره جنگل. ۱۸۹
- شکل ۳-۹۷: نمودار گرافیکی جهت تخمین عیار مس اولیه در توده‌های سنگی اکسید شده بر اساس اندرسون (۱۹۸۲). ۱۹۱
- شکل ۳-۹۸: تصاویری از اکسیدهای آهن و مس حاصل از اکسیداسیون سولفیدها. ۱۹۲

شکل ۹۹-۳: تصاویر میکروسکوپی از غنی‌شدگی سوپرژن کانی‌های سولفیدی مس.

صفحه	عنوان جدول
۶	جدول ۱-۱: مشخصات کانسارهای مهم مس پورفیری در کمربند تیتیس.
۱۰۴	جدول ۳-۱: نتایج محاسبات بارومتري بر اساس میزان Al^I در آمفیبول‌های توده نفوذی اینچه.
۱۲۷	جدول ۳-۲: نتایج آنالیز میکروپروب بیوتیت‌های ثانویه زون پتاسیک و یک بیوتیت اولیه نسبتاً سالم.
۱۵۳	جدول ۳-۳: داده‌های فازی منتخب برای سیستم‌های نمک-آب رایج در سیالات درگیر.
۱۵۵	جدول ۳-۴: میزان افت درجه حرارت انجماد ($^{\circ}C$) بعنوان تابعی از شوری.
۱۵۷	جدول ۳-۵: قابلیت انحلال هالیت (wt%) بعنوان تابعی از درجه حرارت ذوب هالیت.
۱۶۵	جدول ۳-۶: مشخصات ماکروسکوپی و میکروسکوپی رگچه‌های کوارتزی و سیالات درگیر موجود در آنها.
۱۷۶	جدول ۳-۷: سری الکتروشیمیائی کانی‌های سولفیدی بر اساس تمایل به اکسیداسیون.
۱۹۰	جدول ۳-۸: محاسبه درصد هماتیت، گوتیت و جاروسیت و تخمین میزان عیار مس اولیه در منطقه.

فصل اول:

بررسی منابع

(پایه‌های نظری و پیشینه پژوهش)

۱-۱) پایه‌های نظری

۱-۱-۱) تعریف

واژه کانسار مس پورفیری از دهه ۱۹۲۰ رایج گردیده و تا قبل از سال ۱۹۰۵ هیچ کانساری از این نوع مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گرفته است. محققین مختلف تعاریف گوناگونی به این کانسارها داده‌اند:

طبق تیتلی و هیکس^۱ (۱۹۶۶)، مس پورفیری کانساری است که دارای تناژ بالا، عیار پائین، غیرهمزاد و درونزاد بوده و از طریق معدنکاری بزرگ مقیاس قابل بهره‌برداری باشد. لاول^۲ (۱۹۶۸) اظهار می‌دارد که یک کانسار مس پورفیری شامل هر کانسار افشان پیریت- کالکوپیریت- مولیدنیت است که منطقه‌بندی هم‌مرکز خوبی را بنمایش بگذارد. طبق گیلبرت و پارک^۳ (۱۹۸۶) کانسارهای مس پورفیری عبارتند از کانسارهای بزرگ و کم تا متوسط عیار با فراوانی کالکوپیریت و مولیدنیت که در آنها منطقه‌بندی سولفید و سیلیکات هیپوژن از داخل به خارج شامل متاسوماتیزم پتاسیک- پروپیلیتیک و دگرسانی هیدرولیتیک فلیک- آرژیلیک بوده و از نظر زمانی و مکانی در ارتباط با نفوذی‌های نیمه‌عمیق پورفیری کالک‌آلکانل می‌باشند. به اعتقاد اونز^۴ (۱۹۹۳)، یک کانسار تیبیک مس پورفیری توده‌ای است نفوذی، مرکب، استوانه‌ای و استوک‌مانند که رخنمونی کشیده یا نامنظم با ابعادی در حدود ۱/۵×۲ کیلومتر داشته و اغلب، سنگ‌هائی متوسط‌دانه با بافتی همسان‌دانه آنرا دربر می‌گیرند و بخش مرکزی توده دارای بافت پورفیری است.

طبق مک‌میلان و پانتلیوف^۵ (۱۹۸۶)، این کانسارها مرتبط با نفوذی‌های عمدتاً فلسیک اپی‌زونال و پورفیری بوده و نفوذی‌های چندمرحله‌ای، دسته‌دایک‌ها، برشی‌های نفوذی و همچنین منطقه‌بندی جانبی دگرسانی- کانی‌سازی در این کانسارها قابل مشاهده است. غنی‌شدگی و اکسیداسیون سوپرژن سبب ایجاد منطقه‌بندی قائم شده و در برخی موارد باعث افزایش عیار کانسار می‌گردد.

لاول و گیلبرت (۱۹۷۰)، ابعادی در حدود چند هزار فوت و عیاری حدود ۰/۸٪ مس و ۰/۰۲٪ مولیدن برای این کانسارها قائل شده‌اند. استوک‌های پورفیری حدود ۰/۵ تا ۲ کیلومتر قطر داشته اما دگرسانی حدود ۱۰ تا ۲۰ برابر منطقه کانی‌سازی را متأثر می‌کند (گیلبرت و پارک، ۱۹۸۶). سینگر و همکاران^۶ (۱۹۷۵) با بررسی آماری ۱۰۳ کانسار مس پورفیری، میانگین ۵۵۰ میلیون تن ذخیره و ۰/۶٪ عیار برای این کانسارها در نظر گرفته‌اند. عیار سایر عناصر همراه مس از قبیل سرب، روی، مولیدن، نقره و غیره نیز بصورت معادل مس محاسبه و بیان می‌گردد (گیلبرت و پارک، ۱۹۸۶).

کلارک^۷ (۱۹۹۳) برای کانساری با ذخیره ۱۰-۳/۲ میلیون تن مس از واژه عظیم (Giant)، برای ۳۱/۲-۱۰ میلیون تن مس از واژه بسیار عظیم (Supergiant) و برای بیش از ۳۱/۲ میلیون تن مس از واژه به‌موتین (Behemothian) استفاده کرد. کانسارهای چوکی‌کوماتا (Chuquicamata)، ال‌آبرا (El Abra)، سرچشمه و گراسبرگ (Grasberg) در رده بسیار عظیم جای می‌گیرند.

¹ Titley and Hicks

² Lowell

³ Guilbert and Park

⁴ Evans

⁵ McMillan and Panteleyev

⁶ Singer et al.

⁷ Clark

۱-۲) تاریخچه اکتشافی و موقعیت جهانی کانسارهای مس پورفیری

اولین معدنکاری موفق روباز از این گونه کانسارها، در یوتا در سال ۱۹۰۵ در کانسار بینگهام صورت گرفت. انجام این کار انعکاسی از توانائی مهندسی برای معدنکاری بزرگ مقیاس با هزینه اندک و بازیافت متالورژیکی مس توسط فرایند فلوتاسیون بود (پورتر^۱، ۱۹۹۸). در طول ۱۰ تا ۱۵ سال بعد از آن چندین کانسار پورفیری بزرگ با عیار حدود ۱-۲٪ به تولید رسیدند که بسیاری از آنها تا امروز فعالند. مهمترین این کانسارها عبارتند از ایلامی (Ely) در نوادا، سانتاریتا (Santarita) در نیومکزیکو، ال‌تنیتته (El Teniente) و چوکی‌کوماتا (Chuquicamata) در شیلی. تا ۵۰ سال بعد از آن حدود ۲۰ معدن مهم بعنوان کانسارهای مس و مس-مولیبدن پورفیری در ایالات متحده (جنوب غرب آمریکا)، شمال شیلی و جنوب پرو کشف و توسعه یافتند. بسیاری از این کانسارها بدلیل وجود کلاهدک اکسیدی یا پوشش سوپرژن روی کانی‌سازی هیپوژن کم عیار (۰/۵-۰/۲۵٪) دارای ارزش اقتصادی بودند (گیلمور و همکاران^۲، ۱۹۹۵).

در طول دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ بدنبال ناپایداری سیاسی در آفریقا بعنوان تولیدکننده دیگر مس، اکتشاف منابع جدید مس مورد توجه قرار گرفت که این مسئله باعث کشف ذخایر مس در مناطقی از استرالیا، کانادا و فیلیپین گردید. بدنبال کشف ذخایر فیلیپین و یافتن کلیدهای اکتشافی برای مناطق جنوب شرق آسیا، کانسار عظیم مس-طلای پورفیری پانگونا در جزیره بوژنویل (Bougainville) گینه جدید در اطراف یک کانسار طلای آبرفتی و رگه مس-طلای قدیمی کشف گردید (بومر و فراسر^۳، ۱۹۸۵). کشف این کانسار بعنوان یک کانسار در رده جهانی در آسیای جنوب شرقی و استرالیا و آغاز تولید آن در سال ۱۹۷۲ سبب ایجاد موجی از اکتشافات شد که منجر به کشف توده‌های عظیم مس و طلا در پاپوا گینه جدید، اندونزی و فیلیپین گردید. این کانسارها، جواتر و به سن ترشیری فوقانی تا کواترنری می‌باشند که در محیط‌های جزایر قوسی با همراهی‌های حدواسط تشکیل شده و با سبک دگرسانی و کانی‌سازی متفاوت نسبت به کانسارهای کلاسیک آمریکا و هسته‌های هیپوژن پرعیار و طلای قابل توجه سبب گسترش دانش و اطلاعات در مورد کانسارهای پورفیری شده‌اند (آندرو^۴، ۱۹۹۵).

کشف کانسارهای مهم از این نوع در کانادا در دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۷۰ (موستارد^۵، ۱۹۷۶) و همزمان با آن، اکتشاف کانسارهای اصلی در مکزیک، آمریکای مرکزی و نیز قوس کارائیب از مهم‌ترین فعالیت‌های اکتشافی دیگر محسوب می‌گردند (پورتر، ۱۹۹۸). مطالعات در اطراف مناطق معدنی قدیمی در ایران سبب شناسائی توده معدنی بزرگ مس-طلای سرچشمه به سن ترشیری در داخل کمربند تیس (Tethyan) گردید (واترمن و همیلتون^۶، ۱۹۷۵). جدیداً کانسارهای مهم پورفیری در شرق پاکستان نیز شناسائی شده‌اند (پورتر، ۱۹۹۸).

از سال ۱۹۶۰ تاکنون مجموعه‌ای از کانسارهای مس-طلا پورفیری همراه با کانسارهای HS (High-Sulfidation) طلا و سولفید توده‌ای انارژیتی در مناطق معدنی قدیمی در حوزه بالکان، عربستان، مقدونیه، بلغارستان و ترکیه کشف شده‌اند که همراه با نفوذی‌های کرتاسه فوقانی می‌باشند (بانکوویچ^۷، ۱۹۸۰).

¹ Porter

² Gilmour et al.

³ Baumer and Fraser

⁴ Andrew

⁵ Mustard

⁶ Waterman and Hamilton

⁷ Jancovic

در اتحاد جماهیر شوروی سابق از اواخر دهه ۱۹۲۰ تا اواخر دهه ۱۹۸۰، برنامه اکتشافی وسیعی برای مس و طلا دنبال شد تا اهداف صنعتی شدن این کشور تحقق یابد. در این برهه، کانسارهای مهم مس-طلا در بخش شوروی کمربند تیس در ناحیه قفقاز (بین ایران و ترکیه) کشف گردید. همچنین کمربند بزرگ مس-طلا در آسیای مرکزی شامل پورفیری‌های مربوط به کوهزائی پالئوزوئیک ازبکستان و قزاقستان در همین زمان شناسائی گردید (پورتر، ۱۹۹۸).

۳-۱-۱) متالورژی جهانی و توزیع زمانی و مکانی کانسارهای مس پورفیری

طبق ادواردز و اتکینسون^۱ (۱۹۸۶)، از نظر زمانی بیشتر ذخایر مس پورفیری در ۷۵ میلیون سال گذشته جای گیر شده‌اند (شکل ۱-۱). از این میان بخش عمده‌ای از کانسارها مربوط به سنوزوئیک و تا حدودی مزوزوئیک بوده و هیچ کانسار مس پورفیری قدیمی‌تر از دونین که حاوی مس قابل استخراج باشد وجود ندارد گرچه سن برخی ذخایر چین ممکن است پروتروزوئیک باشد.

در کوئینزلند استرالیا بیش از ۴۰ معدن مس پورفیری همراه با توده‌های نفوذی پالئوزوئیک و مزوزوئیک یافت شده ولی هیچ کدام، عیار و تناژ تجارتي ندارند (هورتون^۲، ۱۹۷۸). ذخایر بزرگ دوران اول در اتحاد شوروی سابق نیز در قزاقستان و ازبکستان شناخته شده‌اند (ادواردز و اتکینسون، ۱۹۸۶). سن تعداد اندکی از ذخایر در منطقه اقیانوس آرام، تریاس و ذخیره یرینگتون در غرب نوادا، ژوراسیک است. همچنین ذخایری به سن ژوراسیک و کرتاسه در کانادا، ایالات متحده و شمال آرژانتین یافت شده است (سیلیتو^۳، ۱۹۷۷). با این حال سن اکثر ذخایر حاشیه اقیانوس آرام ترشیری است (ادواردز و اتکینسون، ۱۹۸۶).

سن اغلب کانسارهای جنوب غرب ایالات متحده عمدتاً پالئوسن و برخی ائوسن پایانی است. برخی از ذخایر آمریکای جنوبی، شیلی، پرو و اکوادور نیز دارای سن پالئوسن‌اند اما بسیاری نیز جوانتر بوده و اکثراً مربوط به میوسن و پلیوسن می‌باشند. ذخایر فیلیپین و جزایر جنوب غرب اقیانوس آرام عمدتاً میوسن و پلیوسن است. از میان جوانترین ذخایر مس پورفیری، می‌توان از اُک‌تدی (Ok Tedi) با سن حدود ۱/۲ میلیون سال در پاپوای گینه جدید نام برد. احتمال دارد در زیر مراکز آتشفشانی فعال امروزی (ادواردز و اتکینسون، ۱۹۸۶) و در زیر سیستم‌های اپی‌ترمال HS (هدنکوئیست و همکاران^۴، ۱۹۹۶) نیز ذخایر مس پورفیری در حال تشکیل باشند (شکل ۱-۲).

از نظر توزیع مکانی، کانسارهای مس و طلای گرمابی خصوصاً ذخایر پورفیری و اپی‌ترمال همراه با نفوذی‌های فلسیک در یک سری ایالت‌های وسیع، باریک و خطی در سرتاسر دنیا یافت می‌گردند. این کانسارها عمدتاً با کمربندهای کوهزائی عظیم مزوزوئیک تا سنوزوئیک همراه‌اند اما کانسارهای مهمی نیز با کوهزائی‌های پالئوزوئیک و تعداد خیلی کمی از آنها در پرکامبرین گزارش شده‌اند. این کانسارها بطور مساوی در ۴ کمربند بسیار مهم کوهزائی توزیع شده‌اند (شکل ۱-۳) که عبارتند از الف) آسیا-آرام، ب) کردیلرای آمریکا، ج) تیس و

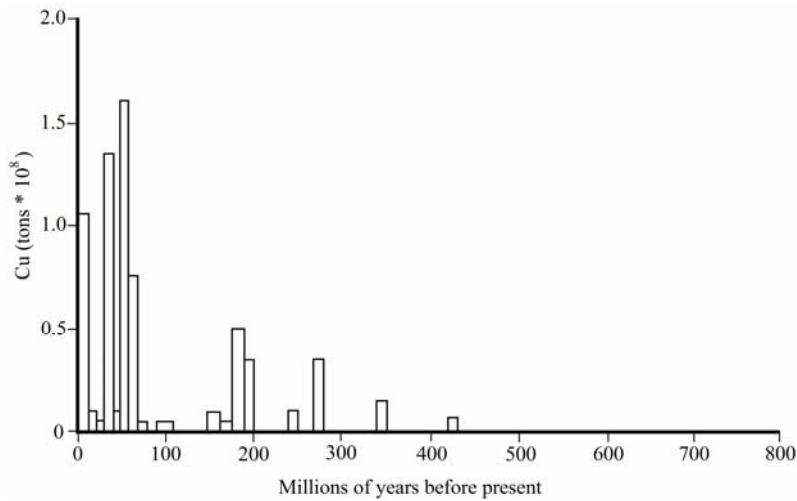
¹ Edwards and Atkinson

² Horton

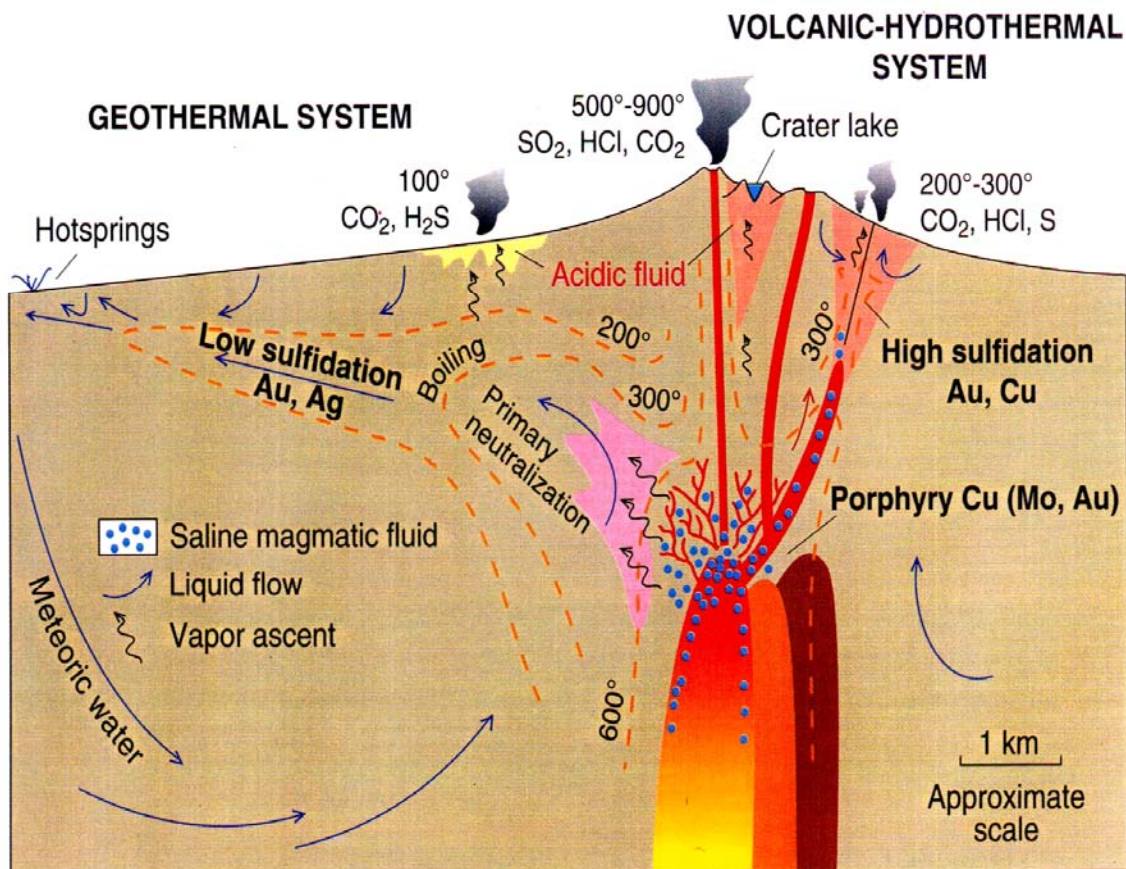
³ Sillitoe

⁴ Hedenquist et al.

د) آسیای مرکزی. بعلاوه کانسارهای پراکنده‌ای در کمربندهای آبالاش، اورال، جنوب روسیه، مغولستان، سیبری، مرکز چین، جنوب آفریقا، هند و استرالیا گزارش شده‌اند (پورتر، ۱۹۹۸).



شکل ۱-۱: پراکندگی سنی ذخایر مس پورفیری (گوستافسون^۱، ۱۹۷۹).



شکل ۱-۲: مقطع شماتیک توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و استراتوولکان همراه آنها و محیط تشکیل کانسارهای مس پورفیری و اپی‌ترمال (هدنکوئیست و همکاران، ۱۹۹۸).

¹ Gustafson

الف) کمربند آسیا-آرام: این کمربند محدود به حاشیه غربی حوضه آرام است که مهمترین کانسارها در این کمربند در داخل مجمع‌الجزایر آسیای جنوب شرقی واقع‌اند. همچنین کانی‌سازی‌های سبک پورفیری و طلای گرمابی به طرف جنوب تا استرالیا، فیجی و نیوزلند و به سمت شمال تا شبه جزیره کامچاتکا در شرق دور روسیه گزارش شده است (پورتر، ۱۹۹۸).

ب) کمربند کردیلرای آمریکا: مرکز اصلی کانسارهای پورفیری و سایر کانسارهای مس-طلای گرمابی در آمریکا در داخل کمربند کوهزائی کردیلرای مزوزوئیک پیشین تا سنوزوئیک پسین در حاشیه غربی هر دو قاره (شمالی و جنوبی) قرار دارد (پورتر، ۱۹۹۸).

ج) کمربند تنیس: این کمربند که هم‌سن با کمربند کوهزائی کردیلرای آمریکا است در حاشیه جنوبی اوراسیا واقع شده و عمدتاً در شمال زمین درز (Suture zone) حاصل از برخورد آن با صفحات آفریقا، عربی و هند-استرالیا قرار گرفته است. طبق شکل (۳-۱) کمربند اصلی کوهزائی تنیس از جنوب چین و هندوچین از طریق هیمالیا، تبت، شمال هند تا پامیر، غرب پاکستان، افغانستان به طرف جنوب ایران کشیده شده و از طریق کوه‌های قفقاز در آذربایجان، گرجستان و ارمنستان بطرف ترکیه سپس شمال یونان، بلغارستان، مقدونیه، صربستان، رومانی و مجارستان تا کوه‌های آلپ در اروپای مرکزی و بطرف جنوب از طریق ایتالیا به شمال آفریقا و جنوب ایبریا (Iberia) امتداد می‌یابد. خوشه‌هایی از کانسارهای پورفیری و HS انارژیتی و سولفید توده‌ای در این کمربند قرار دارند. اما در مقایسه با کمربند کردیلرای آمریکا، اکتشاف در این کمربند کامل نبوده و تعداد اندکی از کانسارهای کشف شده تناژ و عیار بالائی دارند (گیلمور و همکاران^۱، ۱۹۹۵). با این حال، کانی‌سازی عیار بالای سوپرژن مانند سرچشمه ایران و کانی‌سازی‌های اسکارنی در این کمربند وجود دارد (پورتر، ۱۹۹۸). در جدول (۱-۱) برخی از کانسارهای مهم این کمربند آورده شده است.

د) کمربند آسیای مرکزی: این کمربند شامل جمهوری‌های ازبکستان، قرقیزستان، تاجیکستان، قزاقستان و جنوب روسیه است. در این کمربند کانسارهای Cu-Au، Cu-Mo، Mo، Mo-W و W و ایالات اصلی طلا در مجموعه‌هایی با سنین مختلف شامل کامبرین، سیلورین، دونو-کربونیفر تا پرمو-کربونیفر یافت می‌شوند (پورتر، ۱۹۹۸).

ه) سایر ایالات پورفیری-گرمابی: کانی‌سازی مس پورفیری و طلای گرمابی در مناطق مختلف خارج از کمربندهای ذکر شده نیز یافت شده‌اند که از آن جمله می‌توان به کانسارهای موجود در کمربند کوهزائی پالتوزوئیک آپالاش در شرق آمریکای شمالی، کانسارهای طلا و مس-طلای پالتوزوئیک در شرق استرالیا، کمربندهای پالتوزوئیک در سیبری، مغولستان، شمال چین، کانسار هایب (Haib) به سن پروتروزوئیک در نامیبیا، کانسار احتمالاً پورفیری مالانجکند (Malanjand) در هندوستان به سن پروتروزوئیک پسین و غیره اشاره نمود (پورتر، ۱۹۹۸).

بطور کلی می‌توان کانسارهای مس را از نظر سنی، مکانی و مدل تشکیل، مجموعه‌هایی گسترده‌ای فرض نمود. نفوذی‌های همراه با این کانسارها از نظر ترکیب و شکل فیزیکی بسیار متنوع بوده و میزان فلز، الگوی دگرسانی و سبک کانی‌سازی در آنها به نحو چشمگیری متفاوت است.

¹ Gilmour et al.