

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی

ضابطه شماره ۶۴۸

وزارت صنعت، معدن و تجارت
معاونت امور معادن و صنایع معدنی
دفتر نظارت و بهره‌برداری

www.mimt.gov.ir

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir



omoorepeyman.ir

| | | |
|--------|------------|--|
| شماره: | ۹۴/۲۹۸۲۱۵ | بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران |
| تاریخ: | ۱۳۹۴/۱۰/۱۲ | |

موضوع: فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۴۸ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۰۴/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.


 احمد باقر نوبخت





اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علیشاه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور،

امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email: info@nezamfanni.ir

nezamfanni.ir





پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ هـ، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی و اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

گروه عناصر نادر خاکی شامل ۱۵ عنصر گروه لانتانیدها با عدد اتمی ۵۷ (عنصر لانتانیم) تا عدد اتمی ۷۱ (عنصر لوتسیم) است. به علاوه عنصر ایتربیم نیز با عدد اتمی ۳۹ به علت داشتن خواص شیمیایی مشابه با عناصر گروه نادر خاکی جزو این گروه محسوب می‌شود. عناصر نادر خاکی کاربردهای تکنولوژی وسیعی به ویژه در تکنولوژی‌های جدید دارند. کاربردهای متعدد این عناصر در صنایع هسته‌ای، متالورژی، شیمیایی، کاتالیست، الکتریکی، الکترونیکی و مغناطیسی است. این عناصر در کشورهای توسعه یافته بخشی از فلزات استراتژیک محسوب می‌شوند.

عناصر نادر خاکی خواص ژئوشیمیایی مشابه دارند ولی فراوانی آن‌ها در زمین با هم متفاوت است. میزان این عناصر هم در پوسته زمین و هم در کانسارهای مختلف بسیار متفاوت است. کانسارهای آهن-آپاتیت منطقه ایران مرکزی مانند کانسارهای آهن چادرملو، چغارت، کانسار فسفات و آهن اسفوردی، آپاتیت‌ها حاوی عناصر نادر خاکی هستند. علاوه بر آن کانسار فسفات گزستان و کانسار پلاسری موناویت‌دار مروست یزد نیز مورد اکتشاف قرار گرفته‌اند. در اکتشاف این ذخایر توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، پترولوژیکی، ماگماتیسم، ساختارهای تکتونیکی، کانی‌شناسی و دگرسانی ضروری است و برای انجام مطالعات سیستماتیک اکتشافی استفاده از معیارها و راهنماهای اکتشافی زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و مطالعات دورسنجی توصیه می‌شود.

ضابطه حاضر با عنوان «**فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی**» در راستای اهداف وزارت صنعت، معدن و تجارت و در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است و کلیه اقدامات مرحله‌ای لازم از قبیل گردآوری اطلاعات، بررسی و مطالعات دفتری، برنامه‌ریزی، اجرای عملیات صحرایی و میدانی و ارائه گزارش و مستندات مربوط را در برمی‌گیرد. در این نشریه سعی شده است کارآمدترین شیوه‌های اکتشاف عناصر نادر خاکی در حد کاربردی معرفی



شوند و تمرکز مطالعات و عملیات اکتشافی به نحوی باشد که تصویر جامعی از کمیت، کیفیت و ارزش اقتصادی کانسار ارایه شود. برنامه‌ریزی‌های سیستماتیک اکتشافی به نحوی تنظیم شده که در صورت اجرای آن‌ها ریسک عملیات اکتشافی کاهش می‌یابد و معیارهای تصمیم‌گیری برای توقف یا ادامه عملیات اکتشافی به مراحل بعدی تعیین می‌شود.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که این‌شاء... کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود. در پایان، از تلاش و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی همچنین جناب آقای دکتر جعفر سرقینی مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

دی ۱۳۹۴



مجری طرح

آقای جعفر سرقینی

معاون امور معادن و صنایع معدنی - وزارت صنایع و معادن

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

| | | |
|---------------------|---|---------------------------------|
| فرزانه آقا رمضانعلی | سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور | کارشناس ارشد مهندسی صنایع |
| سیف ا... امیری | وزارت صنعت، معدن و تجارت | کارشناس ارشد مهندسی صنایع |
| بهروز برنا | سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور | کارشناس مهندسی معدن |
| محمد پریزادی | سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور | کارشناس ارشد مهندسی معدن |
| عبدالعلی حقیقی | سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور | کارشناس ارشد زمین شناسی |
| جعفر سرقینی | وزارت صنعت، معدن و تجارت | دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی |
| علیرضا غیاثوند | وزارت صنعت، معدن و تجارت | کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی |
| حسن مدنی | دانشگاه صنعتی امیرکبیر | کارشناس ارشد مهندسی معدن |

اعضای کارگروه اکتشاف به ترتیب حروف الفبا

| | | |
|---------------------|---|---------------------------------|
| علی اصغرزاده | سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران | کارشناس ارشد مهندسی معدن |
| بهروز برنا | سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور | کارشناس مهندسی معدن |
| علیرضا غیاثوند | وزارت صنعت، معدن و تجارت | کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی |
| ناصر عابدیان | سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور | کارشناس ارشد مهندسی معدن |
| عبدالمجید یعقوب پور | دانشگاه تربیت معلم | دکترای زمین شناسی اقتصادی |

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

| | | |
|----------------------|--------------------------|---------------------------------|
| آقای مهدی ایران نژاد | دانشگاه صنعتی امیرکبیر | دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی |
| بهرام رضایی | دانشگاه صنعتی امیرکبیر | دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی |
| علیرضا غیاثوند | وزارت صنعت، معدن و تجارت | کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی |
| حسن مدنی | دانشگاه صنعتی امیرکبیر | کارشناس ارشد مهندسی معدن |
| بهزاد مهرابی | دانشگاه خوارزمی | دکترای زمین شناسی اقتصادی |

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

| | |
|------------------------|--|
| خانم فرزانه آقارضانعلی | رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی |
| آقای علیرضا غیاثوند | رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی |
| آقای اسحق صفرزاده | کارشناس معدن امور نظام فنی و اجرایی |

پیش نویس این گزارش توسط آقای **دکتر فیروز علی نیا** تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کمیته اکتشاف، به تصویب شورای عالی برنامه

رسیده است.



فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|-----------|---|
| ۱ | فصل اول - معیارها و راهنماهای اکتشافی..... |
| ۳ | ۱-۱- آشنایی..... |
| ۳ | ۲-۱- کانی شناسی و ژئوشیمی عناصر نادر خاکی..... |
| ۴ | ۳-۱- معیارهای زمین شناسی..... |
| ۵ | ۴-۱- معیارها و راهنماهای ژئوشیمیایی..... |
| ۵ | ۵-۱- معیارها و راهنماهای ژئوفیزیکی..... |
| ۵ | ۶-۱- معیارها و راهنماهای دورسنجی..... |
| ۶ | ۷-۱- کانسارهای عناصر نادر خاکی..... |
| ۱۳ | فصل دوم - فهرست خدمات مرحله شناسایی..... |
| ۱۵ | ۱-۲- آشنایی..... |
| ۱۵ | ۲-۲- مرحله جمع‌آوری داده‌ها و پردازش داده‌ها و انتخاب محدوده مناسب..... |
| ۱۶ | ۳-۲- بررسی، پردازش و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی پایه..... |
| ۱۶ | ۴-۲- بررسی صحرایی و نمونه‌برداری از محدوده‌های امیدبخش و الویت‌بندی و معرفی محدوده‌های مناسب برای ادامه عملیات اکتشافی..... |
| ۱۶ | ۵-۲- ساختار گزارش نهایی مرحله شناسایی..... |
| ۱۷ | ۲-۵-۱- چکیده..... |
| ۱۷ | ۲-۵-۲- فهرست‌ها..... |
| ۱۷ | ۳-۵-۲- مقدمه..... |
| ۱۷ | ۴-۵-۲- اطلاعات کلی منطقه..... |
| ۱۷ | ۵-۵-۲- زمین شناسی و متالوژنی..... |
| ۱۷ | ۶-۵-۲- دورسنجی..... |
| ۱۸ | ۷-۵-۲- مطالعات ژئوشیمیایی..... |
| ۱۸ | ۸-۵-۲- مطالعات ژئوفیزیکی هوابردی..... |
| ۱۸ | ۹-۵-۲- مطالعات تلفیقی..... |
| ۱۹ | ۱۰-۵-۲- برآورد منبع در رده ۳۳۴..... |
| ۱۹ | ۱۱-۵-۲- آرایه برنامه مرحله پی‌جویی..... |
| ۱۹ | ۱۲-۵-۲- فهرست منابع..... |
| ۱۹ | ۱۳-۵-۲- پیوست‌ها..... |
| ۲۱ | فصل سوم - فهرست خدمات مرحله پی‌جویی..... |
| ۲۳ | ۱-۳- آشنایی..... |
| ۲۳ | ۲-۳- جمع‌آوری داده‌ها..... |
| ۲۳ | ۳-۳- برنامه‌ریزی برای انجام عملیات پی‌جویی..... |
| ۲۳ | ۴-۳- مطالعات زمین شناسی..... |
| ۲۳ | ۳-۴-۱- عملیات صحرایی و برداشت زمین شناسی..... |



| | |
|----|---|
| ۲۳ | ۳-۴-۲- عملیات دفتری..... |
| ۲۴ | ۳-۵-۵- مطالعات ژئوشیمیایی..... |
| ۲۴ | ۳-۵-۱- طراحی شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی و کانی سنگین..... |
| ۲۴ | ۳-۵-۲- عملیات صحرائی..... |
| ۲۴ | ۳-۵-۳- آماده‌سازی و انجام آزمایش نمونه‌های ژئوشیمیایی..... |
| ۲۴ | ۳-۵-۴- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین..... |
| ۲۵ | ۳-۵-۵- کنترل صحرائی..... |
| ۲۵ | ۳-۵-۶- تجزیه شیمیایی..... |
| ۲۵ | ۳-۵-۷- تعبیر و تفسیر نتایج..... |
| ۲۵ | ۳-۶-۶- مطالعات ژئوفیزیک..... |
| ۲۵ | ۳-۶-۱- روش مغناطیس‌سنجی-گرانی‌سنجی..... |
| ۲۵ | ۳-۶-۲- روش رادیومتری..... |
| ۲۶ | ۳-۷-۷- حفريات اکتشافی..... |
| ۲۶ | ۳-۷-۱- ترانشه..... |
| ۲۶ | ۳-۳-۲- چاهک..... |
| ۲۶ | ۳-۷-۳- گمانه..... |
| ۲۶ | ۳-۸-۸- آماده‌سازی و انجام آزمایش‌های شیمیایی و کانی‌شناسی..... |
| ۲۶ | ۳-۹-۹- مطالعه و پردازش داده‌ها و اطلاعات..... |
| ۲۷ | ۳-۱۰-۱۰- تعبیر و تفسیر..... |
| ۲۷ | ۳-۱۱-۱۱- ساختار گزارش نهایی مرحله پی‌جویی..... |
| ۲۷ | ۳-۱۱-۱- چکیده..... |
| ۲۷ | ۳-۱۱-۲- فهرست‌ها..... |
| ۲۷ | ۳-۱۱-۳- مقدمه..... |
| ۲۷ | ۳-۱۱-۴- خلاصه مبانی و مستندات پروژه برگرفته از مرحله شناسایی..... |
| ۲۷ | ۳-۱۱-۵- اطلاعات کلی منطقه..... |
| ۲۸ | ۳-۱۱-۶- زمین‌شناسی..... |
| ۲۸ | ۳-۱۱-۷- تهیه نقشه توپوگرافی-زمین‌شناسی..... |
| ۲۸ | ۳-۱۱-۸- حفريات اکتشافی و نمونه‌برداری..... |
| ۲۸ | ۳-۱۱-۹- مطالعات ژئوفیزیکی..... |
| ۲۸ | ۳-۱۱-۱۰- مطالعات ژئوشیمیایی..... |
| ۲۸ | ۳-۱۱-۱۱- استعداد کانی‌سازی..... |
| ۲۹ | ۳-۱۱-۱۲- مشخصات کانی‌شناسی شیمیایی و تکنولوژیکی ماده معدنی..... |
| ۲۹ | ۳-۱۱-۱۳- ارزیابی عیار و ذخیره..... |
| ۲۹ | ۳-۱۱-۱۴- انجام مطالعات فرصت‌سنجی..... |
| ۲۹ | ۳-۱۱-۱۵- مطالعات زیست‌محیطی..... |
| ۲۹ | ۳-۱۱-۱۶- مطالعات تلفیقی..... |
| ۳۰ | ۳-۱۱-۱۷- نتیجه‌گیری و آرایه برنامه مرحله اکتشاف عمومی..... |



| | |
|----|---|
| ۳۰ | ۱۸-۱۱-۳ - فهرست منابع |
| ۳۰ | ۱۹-۱۱-۳ - پیوست‌ها |
| ۳۳ | فصل چهارم - فهرست خدمات مرحله اکتشاف عمومی |
| ۳۵ | ۱-۴ - آشنایی |
| ۳۵ | ۲-۴ - جمع‌آوری داده‌ها |
| ۳۵ | ۳-۴ - برنامه‌ریزی برای مطالعات اکتشاف عمومی |
| ۳۵ | ۴-۴ - مطالعات زمین‌شناسی |
| ۳۶ | ۵-۴ - مطالعات ژئوشیمیایی |
| ۳۶ | ۶-۴ - مطالعات ژئوفیزیک |
| ۳۶ | ۱-۶-۴ - روش مغناطیس‌سنجی - گرانی‌سنجی |
| ۳۶ | ۲-۶-۴ - روش رادیومتری |
| ۳۶ | ۷-۴ - حفریات اکتشافی |
| ۳۶ | ۱-۷-۴ - ترانسه |
| ۳۷ | ۲-۷-۴ - چاهک |
| ۳۷ | ۳-۷-۴ - گمانه |
| ۳۷ | ۸-۴ - آماده‌سازی و انجام آزمایش‌های شیمیایی برای تعیین عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز |
| ۳۷ | ۹-۴ - انجام مطالعات تکمیلی مینرالوگرافی |
| ۳۷ | ۱۰-۴ - مطالعات مهندسی و ژئومکانیکی |
| ۳۷ | ۱۱-۴ - برداشت نمونه معرف |
| ۳۸ | ۱۲-۴ - تعبیر و تفسیر نتایج |
| ۳۸ | ۱۳-۴ - ساختار گزارش نهایی مرحله اکتشاف عمومی |
| ۳۸ | ۱-۱۳-۴ - چکیده |
| ۳۸ | ۲-۱۳-۴ - فهرست‌ها |
| ۳۸ | ۳-۱۳-۴ - مقدمه |
| ۳۸ | ۴-۱۳-۴ - خلاصه عملیات انجام شده در مراحل شناسایی و پی‌جویی |
| ۳۸ | ۵-۱۳-۴ - اطلاعات کلی منطقه |
| ۳۹ | ۶-۱۳-۴ - زمین‌شناسی محدوده معدنی |
| ۳۹ | ۷-۱۳-۴ - تهیه نقشه توپوگرافی - زمین‌شناسی |
| ۳۹ | ۸-۱۳-۴ - مطالعات ژئوفیزیکی |
| ۳۹ | ۹-۱۳-۴ - حفریات اکتشافی و نمونه‌برداری‌ها |
| ۳۹ | ۱۰-۱۳-۴ - مطالعات ژئوشیمیایی (لیتوژئوشیمیایی و خاک) |
| ۴۰ | ۱۱-۱۳-۴ - ویژگی‌های زون معدنی |
| ۴۰ | ۱۲-۱۳-۴ - تخمین ذخیره |
| ۴۰ | ۱۳-۱۳-۴ - نتایج مطالعات مهندسی و ژئومکانیکی |
| ۴۰ | ۱۴-۱۳-۴ - نتایج مطالعات فرآوری |
| ۴۰ | ۱۵-۱۳-۴ - نتایج مطالعات زیرساخت‌ها |
| ۴۰ | ۱۶-۱۳-۴ - نتایج مطالعات اقتصادی |



| | |
|----|---|
| ۴۰ | پیش‌امکان‌سنجی.....۱۷-۱۳-۴ |
| ۴۱ | مطالعات تلفیقی.....۱۸-۱۳-۴ |
| ۴۱ | ارایه برنامه مرحله اکتشاف تفصیلی.....۱۹-۱۳-۴ |
| ۴۱ | فهرست منابع.....۲۰-۱۳-۴ |
| ۴۱ | پیوست‌ها.....۲۱-۱۳-۴ |
| ۴۳ | فصل پنجم- فهرست خدمات مرحله اکتشاف تفصیلی..... |
| ۴۵ | ۱-۵- آشنایی..... |
| ۴۵ | ۲-۵- جمع‌آوری داده‌ها..... |
| ۴۵ | ۳-۵- برنامه‌ریزی برای انجام عملیات اکتشاف تفصیلی..... |
| ۴۵ | ۴-۵- بررسی‌های زمین‌شناسی..... |
| ۴۵ | ۵-۵- حفریات اکتشافی..... |
| ۴۶ | ۶-۵- آماده‌سازی و انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی..... |
| ۴۶ | ۷-۵- مطالعات کانی‌شناسی..... |
| ۴۶ | ۸-۵- مطالعات فرآوری..... |
| ۴۶ | ۹-۵- پردازش داده‌ها..... |
| ۴۷ | ۱۰-۵- مطالعات آب‌زمین‌شناسی..... |
| ۴۷ | ۱۱-۵- مطالعات زیست‌محیطی..... |
| ۴۷ | ۱۲-۵- تعبیر و تفسیر نتایج..... |
| ۴۷ | ۱۳-۵- گزارش نهایی مرحله اکتشاف تفصیلی..... |
| ۴۷ | ۱-۱۳-۵- چکیده..... |
| ۴۷ | ۲-۱۳-۵- فهرست‌ها..... |
| ۴۷ | ۳-۱۳-۵- مقدمه..... |
| ۴۸ | ۴-۱۳-۵- خلاصه عملیات انجام شده در مراحل شناسایی، پی‌جویی و اکتشاف عمومی..... |
| ۴۸ | ۵-۱۳-۵- اطلاعات کلی منطقه..... |
| ۴۸ | ۶-۱۳-۵- زمین‌شناسی محدوده معدنی..... |
| ۴۸ | ۷-۱۳-۵- عملیات اکتشافی..... |
| ۴۸ | ۸-۱۳-۵- برآورد ذخیره..... |
| ۴۹ | ۹-۱۳-۵- مطالعات آب‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی..... |
| ۴۹ | ۱۰-۱۳-۵- نتایج مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک..... |
| ۴۹ | ۱۱-۱۳-۵- تکمیل و ارایه کلیه داده‌های مورد نیاز برای طراحی استخراجی و ارایه خلاصه نتایج طراحی پایه در صورت لزوم..... |
| ۴۹ | ۱۲-۱۳-۵- نتایج مطالعات کانه‌آرایی..... |
| ۴۹ | ۱۳-۱۳-۵- ارایه خلاصه نتایج مطالعات امکان‌سنجی..... |
| ۵۰ | ۱۴-۱۳-۵- نتایج مطالعات زیرساخت‌ها..... |
| ۵۰ | ۱۵-۱۳-۵- نتایج مطالعات زیست‌محیطی..... |
| ۵۰ | ۱۶-۱۳-۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... |
| ۵۰ | ۱۷-۱۳-۵- فهرست منابع..... |



- ۵۰ پیوست‌ها- ۱۸-۱۳-۵
- ۵۳ پیوست ۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی.....
- ۶۵ پیوست ۲- مقدار انتشار عناصر نادر خاکی در کانی‌های اصلی حاوی عناصر نادر خاکی.....



فصل ۱

معیارها و راهنماهای اکتشافی



۱-۱- آشنایی

عناصر نادر خاکی^۱ شامل پانزده عنصر گروه لانتانیدها هستند که از عنصر لانتانیم با عدد اتمی ۵۷ شروع و به عنصر لوتسیم با عدد اتمی ۷۱ ختم می‌شود. به علاوه عنصر ایتیریم با عدد اتمی ۳۹ و عنصر اسکاندیم با عدد اتمی ۲۱ به علت دارا بودن خواص مشابه با عناصر گروه نادر خاکی جزو این گروه محسوب می‌شود. عناصر نادر خاکی کاربردهای تکنولوژیکی وسیعی به ویژه در تکنولوژی‌های جدید دارند. کاربردهای عناصر نادر خاکی در چند دهه اخیر چندین برابر افزایش و تقاضا برای آن‌ها در حد وسیعی رشد یافته است و در آینده نیز رشد سریعی خواهد داشت. کاربردهای متعدد این عناصر در صنایع اتمی، متالورژی، شیمیایی، کاتالیست، الکتریکی و مغناطیسی است. عناصر نادر خاکی خواص ژئوشیمیایی مشابه دارند ولی فراوانی آن‌ها در زمین با هم متفاوت است. میزان این عناصر هم در پوسته زمین و هم در کانسارهای مختلف بسیار متفاوت است. نام، علامت شیمیایی و فراوانی نسبی عناصر نادر خاکی در پوسته جامد زمین در جدول ۱-۱ ارایه شده است.

در اکتشافات ذخایر عناصر نادر خاکی، نوع کانی‌سازی، ماگماتیسم، ویژگی‌های لیتولوژیکی، کانی‌شناسی، دگرسانی‌های مرتبط و روابط ساختاری و محیط تکتونیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در اکتشافات سیستماتیک از معیارهای زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و سنجش از دور استفاده می‌شود.

۱-۲- کانی‌شناسی و ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

عناصر گروه لانتانیدها به گروه عناصر نادر خاکی سبک^۲ شامل عنصر لانتانیم تا یوروپیم و گروه عناصر نادر خاکی سنگین^۳ شامل عناصر گادولینیم تا لوتسیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در مواردی، از عناصر نادر خاکی متوسط یا میانی^۴ نیز نام برده می‌شود که عناصر نئودیمیم تا دیسپروسیم را در برمی‌گیرد. تقسیم‌بندی عناصر نادر خاکی به صورت زیر است:

- عناصر نادر خاکی سبک LREEs شامل عناصر La, Ce و Pr

- عناصر نادر خاکی متوسط MREEs شامل Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb و Dy

- عناصر نادر خاکی سنگین HREEs شامل Ho, Er, Tm, Yb, Lu و Y

جدول ۱-۱- نام، علامت شیمیایی و فراوانی نسبی عناصر نادر خاکی در پوسته جامد زمین

| نام | نام لاتین | علامت اختصاری | فراوانی در پوسته جامد زمین (ppm) |
|------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| لانتانیم | Lanthanum | La | ۳۰ |
| سریم | Cerium | Ce | ۶۰ |
| پرازودیمیم | Praseodymium | Pr | ۸/۲ |
| نئودیمیم | Neodymium | Nd | ۲۸ |
| پرومتیم* | Promethium | Pm | - |
| ساماریم | Samarium | Sm | ۶ |

1- Rare earth elements (REEs)

2- Light rare earth elements (LREEs)

3- Heavy rare earth elements (HREEs)

4- Middle rare earth element (MREEs)



ادامه جدول ۱-۱- نام، علامت شیمیایی و فراوانی نسبی عناصر نادر خاکی در پوسته جامد زمین

| نام | نام لاتین | علامت اختصاری | مقدار فراوانی در پوسته جامد زمین (ppm) |
|-----------|------------|---------------|--|
| یوروپیم | Europium | Eu | ۱٫۲ |
| گادولینیم | Gadolinium | Gd | ۵٫۴ |
| تربیوم | Terbium | Tb | ۰٫۹ |
| دیسپروسیم | Dysprosium | Dy | ۳ |
| هولمیم | Holmium | Ho | ۱٫۲ |
| اربیوم | Erbium | Er | ۲٫۸ |
| تولیم | Thulium | Tm | ۰٫۴۸ |
| ایتربیوم | Ytterbium | Yb | ۳ |
| لوتسیم | Lutetium | Lu | ۰٫۵ |
| ایتریوم | Yttrium | Y | - |
| اسکاندیم | Scandium | Sc | - |

* پرومتیم که عمر ایزوتوپ آن کوتاه و مقدار آن بسیار اندک است عموماً به صورت مصنوعی تولید می‌شود.

تعداد کانی‌هایی که در آن‌ها عناصر نادر خاکی وجود دارند بالغ بر ۳۰۰ کانی مختلف است. به طور کلی کانی‌های عناصر نادر خاکی به کانی‌هایی گفته می‌شود که عناصر نادر خاکی تشکیل دهنده اصلی آن‌ها باشد. طبق پیشنهاد اتحادیه بین‌المللی کانی‌شناسی نام صحیح یک کانی نادر خاکی باید با نام عنصر تشکیل دهنده اصلی آن نوشته شود. کانی‌های حاوی عناصر نادر خاکی را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:

- گروه اول کانی‌هایی‌اند که معمولاً غلظت بسیار جزئی یا جزئی از عناصر نادر خاکی دارند و شامل تعداد زیادی از کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها هستند. غلظت نسبی عناصر نادر خاکی در این کانی‌ها ممکن است نشان‌هایی از ارزش ضریب انتشار در تشکیل سنگ‌ها باشد.

- گروه دوم کانی‌هایی‌اند که حاوی مقدار اندکی عناصر نادر خاکی هستند ولی ترکیب اصلی آن‌ها را تشکیل نمی‌دهند. از این گروه حدود ۲۰۰ کانی شناخته شده که در آن‌ها بیشتر از ۰٫۰۱ درصد وزنی عناصر نادر خاکی وجود دارد.

- گروه سوم کانی‌هایی‌اند که مقادیر بالایی از عناصر نادر خاکی دارند و ترکیب اصلی آن‌ها را تشکیل می‌دهند. بیش از ۷۰ کانی در این گروه قرار می‌گیرند.

مشخصات کانی‌های مهم حاوی عناصر نادر خاکی در پیوست ۱ ارایه شده است.

۱-۳- معیارهای زمین‌شناسی

معیارهای زمین‌شناسی اصلی‌ترین و مهم‌ترین داده‌های لازم در اکتشافات مواد معدنی و از آن جمله در مورد کانسارهای عناصر نادر خاکی هستند. داده‌های زمین‌شناسی به صورت نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های مختلف در مراحل مختلف اکتشافی شامل شناسایی، پی‌جویی، اکتشاف عمومی و اکتشاف تفصیلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مقیاس شناسایی نقشه‌های کوچک‌مقیاس ۱:۲۵۰ ۰۰۰ و ۱:۱۰۰ ۰۰۰ به کار گرفته می‌شود و متناسب با افزایش دقت و سطح اعتماد از نقشه‌های بزرگ‌مقیاس‌تر استفاده



می‌شود به نحوی که در مرحله اکتشاف تفصیلی نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، ۱:۱۰۰۰ و در مواردی ۱:۵۰۰ تهیه می‌شود. راهنماها و معیارهای زمین‌شناسی در اکتشاف کانسارهای عناصر نادر خاکی شامل ویژگی‌های سنگ‌شناسی، زمین‌ساختی و تکتونیکی، کانی‌شناسی، ماگماتیسم، دگرسانی، نوع سنگ میزبان و سن کانی‌سازی است.

در مورد معیارهای زمین‌شناسی توصیه می‌شود که در ابتدا مطالعه بر روی نقشه‌های زمین‌شناسی کوچک‌مقیاس (۱:۱۰۰ ۰۰۰) و ۱:۲۵۰ ۰۰۰ و ۱:۱ ۰۰۰ ۰۰۰ متمرکز شود و در صورت وجود می‌توان از داده‌های ماهواره‌ای نیز استفاده کرد. خطواره‌ها، ویژگی‌های سنگ‌شناسی (وجود توده‌های بازیک و اولترابازیک آلكالین، سنگ‌های اسیدی آلكالین مانند گرانیت آلكالین، مونزونیت، مونزودیوریت و سینیت)، مشخص کردن مرز توده با سنگ‌های درونگیر و دگرسانی‌ها اهمیت زیادی دارد.

۱-۴- معیارها و راهنماهای ژئوشیمیایی

بررسی‌های ژئوشیمیایی یکی از مهم‌ترین داده‌ها و راهنماها برای اکتشاف عناصر نادر خاکی است. بر اساس این داده‌ها می‌توان نقشه‌های ژئوشیمیایی و کانی‌سنگین با مقیاس‌های مختلف، از مراحل شناسایی تا اکتشاف عمومی را به کار گرفت. با توجه به کاربرد عناصر نادر خاکی در تشخیص فرآیندهای آذرین، روش‌های لیتوژئوشیمیایی کاربرد گسترده‌ای در اکتشافات برخی از انواع کانسارهای عناصر نادر خاکی دارند. در اکتشافات این نوع کانسارها می‌توان از نسبت‌های عناصر نظیر LREEs/HREEs و (La/Lu)، آنومالی مثبت یا منفی عناصری نظیر Eu و Ce و نیز رفتار فسفر و فلوتور در تشخیص بارور بودن یا عقیم بودن این سنگ‌ها از عناصر نادر خاکی استفاده کرد. استفاده از روش رسوبات آبراهه‌ای و کانی‌سنگین در اکتشافات انواع مختلف ذخایر عناصر نادر خاکی به ویژه ذخایر پلاستی بسیار موثر است.

۱-۵- معیارها و راهنماهای ژئوفیزیکی

مطالعات ژئوفیزیکی در اکتشافات برخی از کانسارهای عناصر نادر خاکی کاربرد گسترده‌ای دارد. در مرحله شناسایی و پی‌جویی، ژئوفیزیک هوابردی و در مراحل اکتشاف عمومی و تفصیلی، ژئوفیزیکی زمینی کاربرد بیشتری دارند. در نقشه مغناطیس‌سنجی هوابردی، ساختارهای حلقوی و بیضوی‌های کوچک دارای آنومالی مثبت باید مورد توجه قرار گیرند. همراهی عناصری نظیر توریم، اورانیوم و پتاسیم با کانسارهای عناصر نادر خاکی در پرتوسنجی به روش رادیومتری هوابردی، پاسخ مناسبی نشان می‌دهند. در بخش‌هایی که در اثر دگرسانی، منیتیت‌های همراه با عناصر نادر خاکی به هماتیت تبدیل شده‌اند، می‌توان از روش گرانی‌سنجی استفاده کرد.

۱-۶- معیارها و راهنماهای دورسنجی

کاربرد روش‌های دورسنجی در اکتشاف عناصر نادر خاکی عمدتاً در مرحله شناسایی و پی‌جویی است. مطالعات دورسنجی بر اساس داده‌های ماهواره‌ای لندست MSS، لندست TM و همچنین داده‌های ماهواره‌ای اسپات، استر و هایپراسپکترال، برای مشخص کردن زون‌های دگرسانی، هماتیتی، ساختارهای خطی مانند گسل‌ها، ساختارهای حلقوی یا شعاعی که معمولاً در کانسارهای تیپ کربناتی و کانسارهای رگه‌ای بسیار ارزشمند است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. داده‌های لندست MSS در تشخیص مناطق گسلی

یا منطقه ریفت (کافت) و تفکیک لایه‌های سنگی و ماگمایی به کار می‌رود. داده‌های لندست TM نیز برای جداسازی سنگ‌های، کربناته، کربناتیت‌ها، اکسید آهن و منیتیت از سایر سنگ‌های منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از محدوده طیفی داده‌های IR برای تشخیص وجود کلریت در سنگ‌های میزبان و داده‌های استر برای تفکیک زون‌های دگرسانی استفاده می‌شود.

۷-۱- کانسارهای عناصر نادر خاکی

ویژگی‌های مهم‌ترین انواع کانسارهای عناصر نادر خاکی در جدول‌های ۱-۲ تا ۱-۷ ارائه شده است.

جدول ۱-۲- کانسارهای کربناتیتی حاوی عناصر نادر خاکی

| نوع کربناتیت‌های منیتیت آپاتیت‌دار | نوع کربناتیت فلوگوپیت‌دار | نوع کربناتیت‌های حاوی عناصر نادر خاکی | نوع کانسار مشخصه | ردیف |
|---|---|---|--------------------------|------|
| کانسار پالابورا، آفریقای جنوبی در مرکز کربناتیت پالابورا کانی‌سازی منیتیت با مقداری عناصر نادر خاکی | کانسار پالابورا، آفریقای جنوبی، کانی‌سازی مس در حاشیه کربناتیت همراه با فلوگوپیت و مقداری عناصر نادر خاکی | مونتاين پاس، کالفرنیا، بایان اوپوو، مغولستان چین، کارونک، پروندی، آفریقا، ماریام هیل، کنیا و آفریقا | کانسار شناخته شده تیپ | ۱ |
| کلسیت-دولومیت | کلسیت دولومیتی | کلسیت، آهک کلسیتی، دولومیتی، از حاشیه مرکز از کلسیت به دولومیت و سپس سیدریتی تغییر ترکیب کربنات دارد. | سنگ میزبان | ۲ |
| کانسار پالابورا در بخش حاشیه‌ای کربناتیت پالابورا کانی‌سازی منیتیت-آپاتیت و به همراه آپاتیت در داخل آپاتیت مقداری موناژیت حاوی عناصر نادر خاکی وجود دارد. | کانسار پالابورا مرتبط با توده ماسیو اولترابازیک آلکالن که به داخل گرانیت به سن ارکن نفوذ کرده است، مرکز توده کربناتیت است و در بخش حاشیه منیتیت-آپاتیت تشکیل می‌شود. در کربناتیت مرکز کانی‌سازی مس به صورت انتشاری تشکیل می‌شود و حاوی بورنیت، کالکوپیریت و کالکوزیت و منیتیت است و همراه با آپاتیت مقداری عناصر نادر خاکی وجود دارد. | کانی‌سازی عناصر نادر خاکی در مرکز توده کربناتیتی تشکیل می‌شود. در مونتاين پاس کانسنگ ۱۲٪ باستانزیت مقدار REO کانسنگ معمولاً در محدوده ۵-۱۵٪ میانگین حدود ۷٪. در بایان اوپو کانی‌سازی مرتبط با دایک‌های کربناتیتی که ترکیب مرمر دولومیتی دارند و کانی‌سازی آهن-منیتیت اسپیکولاریت و هماتیت و کانی‌های حاوی عناصر نادر خاکی شامل نیوب اشنیت، تیتانواشنیت و باستانزیت و موناژیت است. بالغ بر ۴۸ میلیون تن کانسنگ اکسیدهای عناصر نادر خاکی REO با عیار میانگین ۶٪ | نوع کانی‌سازی | ۳ |
| - | - | معمولاً در داخل صفحات خشکی و مرتبط با ریفت خشکی یا در امتداد حاشیه صفحات ساختارهای حلقوی | موقعیت و جایگاه تکتونیکی | ۴ |
| - | - | رگه‌ها و دایک‌ها به صورت ساختارهای شعاعی و دایره‌ای | ساختار | ۵ |
| - | - | دارای سن‌های مختلف، ۱۵۵۰-۱۵۰۰ میلیون سال قبل، ۱۱۰۰ میلیون سال قبل، ۵۰۰-۷۵۰ میلیون سال قبل، کمتر از ۲۰۰ میلیون سال قبل | سن | ۶ |

ادامه جدول ۱-۲- کانسارهای کربناتیتهای حاوی عناصر نادر خاکی

| ردیف | نوع کانسار / مشخصه | نوع کربناتیت‌های حاوی عناصر نادر خاکی | نوع کربناتیت فلوگوپیت‌دار | نوع کربناتیت‌های منبیتیت آپاتیت‌دار |
|------|--------------------------------|---|--|--|
| ۷ | اندازه | توده‌های کوچک نفوذی (۳ تا ۵ کیلومتر) و همراه با کمپلکس‌های آذرین آلکان وسیع | - | - |
| ۸ | عناصر و کانی‌های اقتصادی همراه | علاوه بر عناصر نادر خاکی عناصر Zr, Th, U, V, و عناصر Ta و Nb | کانی‌سازی Cu با عیار مس ۰.۶۹ درصد همراه با عناصر نادر خاکی | کانی‌سازی عمده منبیتیت به همراه مقدار کمی عناصر نادر خاکی ذخیره کانسنگ آهن گاه بیش از چند صد میلیون تن |
| ۹ | مثال‌های شناخته شده در ایران | در ایران تاکنون کانی‌سازی از این نوع شناخته نشده است. | در ایران این نوع کانی‌سازی شناخته نشده است. | این نوع کانی‌سازی تاکنون مشاهده نشده است. ولی عده‌ای کانسار منبیتیت، آپاتیت اسفوردی را جزو این نوع می‌دانند. |
| ۱۰ | دگرسانی | هاله فیتیته شده در اطراف، کمپلکس آذرین آلکان کاهش SiO_2 ، Fe^{3+} افزایش، Na و K غلظت عناصر LREEs | هاله دگرسانی وسیعی دیده نمی‌شود. | هاله دگرسانی وسیعی دیده نمی‌شود. |

جدول ۱-۳- کانسارهای رگه‌ای حاوی عناصر نادر خاکی (غیر کربناتیتهای)

| ردیف | نوع کانسار / مشخصه | رگه‌ای حاوی عناصر نادر خاکی (غیر کربناتیتهای) |
|------|----------------------|--|
| ۱ | کانسارهای شناخته شده | کانسارهای رگه‌ای عناصر نادر خاکی غیر کربناتیتهای، فقط تعداد معدودی وجود دارد. مثال کانسار استپن کامپس کرال آفریقای جنوبی کانسار رگه‌ای بوفالو-آفریقای جنوبی کانسار رگه‌ای کورزناس در خلیج فنلاند |
| ۲ | سنگ میزبان | کانسار استپن کرال سنگ میزبان گرانیت-گنایس قدیمی کانسار بوفالو-گرانیت بوشولد- رگه ترکیبی ساده در لپتیت که به سقف گرانیت بوشولد وصل شده کانسار کورزناس فنلاند- گرانیت-میکا گنایس دارای سن پرکامبرین را قطع می‌کند. |
| ۳ | نوع کانی‌سازی | کانی‌سازی موناژیت همراه آپاتیت در منطقه برشی در کانسار استپن کامپس کرال در کانسار بوفالو-کانی‌سازی عناصر نادر خاکی به همراه فلوریت است. در کانسار کورزناس همراه با کانی‌سازی گالن، آپاتیت و موناژیت وجود دارد. |

ادامه جدول ۱-۳- کانسارهای رگه‌ای حاوی عناصر نادر خاکی (غیر کربناتی) (غیر کربناتی)

| ردیف | نوع کانسار | |
|------|--|--|
| | مشخصه | |
| ۴ | موقعیت و جایگاه تکتونیکی | عموما در مناطق برشی و شکستگی‌ها مرتبط هستند و به صورت رگه‌ای و پرشدگی رگه ظاهر می‌شوند. |
| ۵ | سن | از مثال‌های کانی‌سازی شناخته شده تاکنون سن مشخصی را نمی‌توان تعیین کرد. |
| ۶ | اندازه | رگه‌های کوچک به ضخامت ۴-۵ متر و حداکثر ۱۰ متر و حداکثر عمقی حدود ۱۰۰-۱۵۰ متر تاکنون گزارش شده است. |
| ۷ | عناصر و کانی‌های اقتصادی | کامپس کرال مونازیت همراه با مقداری اکسید توریم کانسار بوفالو کانی‌سازی فلوریت به همراه مقداری عناصر نادر خاکی کانسار کورزناس گالن-آپاتیت و به مقداری مونازیت هیچ کدام از کانسارهای فوق امروزه از نظر تولید عناصر نادر خاکی اقتصادی نیستند. |
| ۸ | دگرسانی | دگرسانی وسیعی در هیچ کدام از کانسارهای یاد شده مشاهده نشده است. |
| ۹ | مثال‌های کانساری شناخته شده در ایران | تاکنون کانسار رگه‌ای با مشخصه یاد شده مشاهده نشده و گزارشی در این مورد وجود ندارد. |

جدول ۱-۴- کانسارهای پلاسری

| ردیف | نوع کانسار | |
|------|-------------------------|--|
| | مشخصه | |
| ۱ | کانسارهای شناخته شده | <p>کانسارهای پلاسری متعددی در دنیا شناخته شده که حاوی مقادیر زیادی عناصر نادر خاکی هستند که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است:</p> <p>– Geograph Bay و منطقه Eneabba ۲۵ کیلومتری شمال شهر پرت استرالیا، کانه سنگین این پلاسرها مقداری مونازیت دارد.</p> <p>– پلاسره‌های ساحل ریودوژانیرو تا ساحل کانویری راس در ایالت باهیا برزیل کانی سنگین ایلمنیت، زیرکن با مقداری عناصر نادر خاکی دارد.</p> <p>– کانسارهای پلاسری عناصر نادر خاکی در جنوب هندوستان مونازیت با مقدار ۵٪ در بخش کانی سنگین ماسه‌های پلاسری وجود دارد.</p> <p>ایالت کراالا هند مقدار ۱-۲٪ مونازیت در بخش کانی سنگین وجود دارد. به علاوه ایلمنیت و به مقدار کم زیرکن، روتیل، گارنت و سیلیمانیت نیز در این پلاسرها وجود دارد.</p> <p>– در مالزی در پلاسره‌های قلع‌دار مقدار قابل توجهی مونازیت که در بخش کانی سنگین باقی‌مانده از معدنکاری قلع وجود دارد. به علاوه در تایلند و اندونزی نیز کانسارهای پلاسری وجود دارند.</p> |
| ۲ | سنگ میزبان | عموما کانی‌سازی پلاسری در ماسه‌های ساحلی یا ماسه‌های رودخانه تشکیل یا تجمع حاصل می‌کنند. |

ادامه جدول ۱-۴- کانسارهای پلاسری

| پلاسری | نوع کانسار | |
|--|--------------------------------------|------|
| | مشخصه | ردیف |
| عمدتا تجمع یا انباشت موناژیت ولی به مقدار کم نیز زنونیم که معمولا همراه سایر کانی‌های سنگین مانند ایلمنیت یا روتیل یافت می‌شوند. | نوع کانی‌سازی | ۳ |
| کانسارهای پلاسری موقعیت و جایگاه تکتونیکی خاصی ندارد. | موقعیت و جایگاه تکتونیکی | ۴ |
| کانسارهای پلاسری عموما جوان هستند و سن ترشیری، هولوسن و پلیستوسن دارند. | سن | ۵ |
| ابعاد کانسارهای پلاسری متفاوت است و عرض آن‌ها تا ۵۰ کیلومتر و طول آن‌ها چند صد کیلومتر ممکن است گسترش داشته باشد. کانسارهای پلاسری گسترش متفاوتی دارند. | اندازه | ۶ |
| کانی اصلی اقتصادی کانسارهای پلاسری عمدتا موناژیت است ولی به مقدار کمی نیز زنونیم و گاه مقداری ThO_2 نیز ممکن است وجود داشته باشد. در مواردی روتیل، ایلمنیت و یا زیرکن به مقدار زیاد در پلاسرها وجود دارد. | عناصر و کانی‌های اقتصادی | ۷ |
| دگرسانی در کانسارهای پلاسری معمولا مشاهده نمی‌شود. | دگرسانی | ۸ |
| کانسار پلاسری موناژیت‌دار مروست یزد با کانی اصلی موناژیت و به همراه مقدار کمی آپاتیت، زیرکن و گارنت است. مقدار موناژیت در پلاسرهایی مروست حدود ۲۰۰ گرم در تن است. منشا موناژیت شیل تریاس فوقانی - ژوراسیک است. | مثال‌های کانساری شناخته شده در ایران | ۹ |

جدول ۱-۵- کانسارهای ثانویه برجا

| ثانویه برجا | نوع کانسار | |
|---|----------------------|------|
| | مشخصه | ردیف |
| کانسار کربناتیتهی توموتور روسیه که کربناتیت این کانسار در سطح هوازده شده است. این کانسار حاوی مقادیر زیادی اکسید عناصر نادر خاکی (چند صد میلیون تن با عیار ۳٫۹٪ REO) و کانسار آراکس برزیل که در آن نیز حدود ۴۹۵ هزار تن اکسید عناصر نادر خاکی REO وجود دارد. کانسارهای ثانویه جنوب چین که نوعی خاک رس حاوی ۰٫۱٪ REO است. این کانسار از هوازده شدن گرانیت و تجمع عناصر نادر خاکی موجود در گرانیت آکالین در داخل کائولن حاصل شده است. | کانسارهای شناخته شده | ۱ |
| در واقع سنگ میزبان همان سنگ مادر یا سنگی که در آن کانی‌سازی وجود دارد است. فقط در اثر هوازدگی عیار ماده معدنی (اکسید عناصر نادر خاکی) در بخش هوازده شده برجا افزایش می‌یابد. مثلا در کانسارهای توموتور روسیه و آراکس برزیل کربناتیت است ولی در کانسار جنوب چین گرانیت است. | سنگ میزبان | ۲ |



ادامه جدول ۱-۵- کانسارهای ثانویه برجا

| ردیف | نوع کانسار مشخصه | ثانویه برجا |
|------|--------------------------------------|--|
| ۳ | نوع کانی سازی | نوع کانی سازی انباشت یا تغلیظ کانه ها بر اثر هوازدگی سنگ مادر و مقاوم بودن کانه در مقابل عوامل هوازدگی و انباشت و تغلیظ شدن در محل است. |
| ۴ | موقعیت و جایگاه تکتونیکی | موقعیت و جایگاه تکتونیکی سنگ حاوی کانی سازی که اغلب کربناتیت است مورد نظر است. |
| ۵ | سن | این قبیل کانسارها جوان و از کانسارهای برجا عهد حاضر است. |
| ۶ | اندازه | اندازه آن به سنگ مادر حاوی کانی سازی بستگی دارد ولی معمولاً حجم وسیعی را در بر نمی گیرد. |
| ۷ | عناصر و کانی های اقتصادی | کانه اصلی عناصر نادر خاکی مونازیت است. علاوه مقداری Nb، آپاتیت و TiO_2 ، ایلمنیت نیز می تواند وجود داشته باشد. |
| ۸ | دگرسانی | در بخش هوازده و ثانویه برجا نمی توان دگرسانی خاصی را مشخص کرد ولی در سنگ مادر یا سنگ منشأ اگر کربناتیتی باشد، دگرسانی خاص کربناتیت، دگرسانی فیئیتی می تواند وجود داشته باشد. |
| ۹ | مثال های کانساری شناخته شده در ایران | تاکنون منطقه یا کانی سازی خاصی از این نوع در ایران گزارش نشده است. |

جدول ۱-۶- کانسارهای عناصر نادر خاکی مرتبط با گرانیت، سینییت، پگماتیت

| ردیف | نوع کانسار مشخصه | کانسارهای مرتبط با گرانیت، سینییت، پگماتیت |
|------|----------------------|--|
| ۱ | کانسارهای شناخته شده | کانسار المپیک ^۱ استرالیا، برش های هماتیت حاوی عناصر نادر خاکی در داخل شکستگی های گرانیت تشکیل شده است. کانسار یاوان ^۲ چین کانی سازی عناصر نادر خاکی همراه طلا در نوع سنگ سینییتی (آلکان) در مناطق دگرسانی انجام شده است. |
| ۲ | سنگ میزبان | سنگ میزبان کانی سازی گرانیت یا سینییت و یا پگماتیت های سینییت و سنگ میزبان این توده های نفوذی ممکن است سنگ های رسوبی آتشفشانی و نفوذی (اسیدی تا متوسط) و سنگ های دگرگونی باشد. |

- 1- Olympic dam
2- Yaoan



ادامه جدول ۱ - کانسارهای عناصر نادر خاکی مرتبط با گرانیت، سینییت، پگماتیت

| ردیف | نوع کانسار | |
|------|--------------------------------------|---|
| | مشخصه | |
| ۳ | نوع کانی سازی | کانسارهای مرتبط با گرانیت، سینییت، پگماتیت نوع کانی سازی به صورت پرشدگی برش های هماتیت حاوی عناصر نادر خاکی در شکستگی های گرانیت در مناطق دگرسانی سنگ های سینییتی |
| ۴ | موقعیت و جایگاه تکتونیکی | توده آذرین متعاقب کوهزایی، در داخل خشکی ها یا حاشیه قاره ها تشکیل می شود. |
| ۵ | سن | از پروتروزویک تا هولوسن |
| ۶ | اندازه | توده نفوذی کوچک است و امکان دارد رخنمون سطحی نداشته باشد. |
| ۷ | عناصر و کانی های اقتصادی | علاوه بر عناصر نادر خاکی REE کانی سازی مس (المپیک دام) ممکن است همراه با U, Ag, Au و یا همراه با مس، مقداری کانی سازی F, Mo, Ag, U, Co و نیز مقداری Nb و یا Y وجود داشته باشد. |
| ۸ | دگرسانی | کانسارهای بزرگ همراه با سیستم دگرسانی گرمایی است که با حضور منیتیت، هماتیت، کلریت، اپیدوت، کربنات و آلبیت مشخص می شود. |
| ۹ | مثال های کانساری شناخته شده در ایران | در ایران کانسار شناخته شده ای از این نوع شناخته نشده است. کانسار آهن چادرملو و چغارت بافق را می توان از این نوع ذکر کرد. نفیلین سینییت های کلیر آذربایجان شرقی و یا دیوریت گابروهای تیتان-آپاتیت دار غرب کشور را می توان از مناطق امیدبخش دارای این نوع کانی سازی در نظر گرفت ولی کارهای اکتشافی کامل مربوط به آن انجام نشده است. |

جدول ۱-۷ - کانسارهای آپاتیتی

| ردیف | نوع کانسار | |
|------|----------------------|--|
| | مشخصه | |
| ۱ | کانسارهای شناخته شده | کانسارهای آپاتیتی همراه با کمپلکس آذرین خینی واقع در شبه جزیره کولای روسیه، بخش آپاتیتی پیروکسنیتی کمپلکس پالابورا-آفریقای جنوبی و کانسارهای آهن آپاتیت دار مانند معادن منیتیت کایرونا |
| ۲ | سنگ میزبان | ممكن است سنگ های رسوبی، آذرین درونی اسیدی تا متوسط و یا سنگ های دگرگونی باشند. |
| | کانسارهای فوسفوری | کانسارهای فوسفوری ممکن است به همراه فسفریت، مقداری عناصر نادر خاکی داشته باشند. |
| | سنگ های رسوبی آهکی | |



ادامه جدول ۱-۷- کانسارهای آپاتیتی

| کانسارهای فسفریتی | کانسارهای آپاتیتی ماگمایی | نوع کانسار | |
|---|---|--------------------------------------|------|
| | | مشخصه | ردیف |
| به صورت رسوبی، رسوبی شیمیایی به همراه مقادیر زیاد آهک | نوع کانی سازی به صورت پراکنده یا انتشاری و یا به صورت رگه ای به همراه سنگ های آذرین یا کمپلکس آذرین آلکان و یا متاسوماتیتی است. | نوع کانی سازی | ۳ |
| کانسارهای فسفریتی جوان اند و معمولاً مربوط به کرتاسه تا عهد حاضر هستند. | پرکامبرین تا هولوسن | سن | ۴ |
| این کانسارها گسترش سطحی زیادی دارند و ممکن است چند صد کیلومتر مربع در سطح گسترش داشته باشند. | توده های نفوذی کمپلکس آلکان دارای اندازه متوسط تا کوچک هستند. | اندازه | ۵ |
| کانه سازی فسفریتی در حاشیه اقیانوس ها در مناطق سکوی ساحلی تشکیل می شوند. | کمپلکس های آذرین متعاقب کوهزایی در داخل یا حاشیه قاره ها و نیروهای کششی با رژیم تنش سراسری تشکیل می شوند. | موقعیت و جایگاه تکنونیک | ۶ |
| کانی سازی اصلی در این کانسارها فسفریت است که گاه در بعضی از کانسارهای فسفریتی عیار $Y \text{ ppm}$ تا ۱۰۰۰ می رسد. نظیر سنگ های فسفات جوجینا شمال غرب ایالت کوئینزلند استرالیا | کانی سازی آپاتیت همراه با کانی سازی منیتیت است و همراه آپاتیت مقادیری از عناصر نادر خاکی وجود دارد. در صورتی که کنسانتره حاصله از فرآوری کانسنگ آهن عیار عناصر نادر خاکی قابل توجهی داشته باشد ارزش اقتصادی دارد. | عناصر و کانی های اقتصادی | ۷ |
| معمولاً این سنگ های رسوبی دگرسانی ندارند. | در کانسارهای بزرگ ممکن است بر اثر فعالیت گرمایی متعاقب کانی سازی دگرسانی، آلیبتی، کلریتی، اپیدوت و کربناتی تشکیل شود. | دگرسانی | ۸ |
| کانسارهای فسفریتی در ایران در مناطق مختلف، از جمله جاجرود، دلیر چالوس، کازرون و مناطق مختلف دیگر وجود دارند که حدود ۸ تا ۹ درصد فسفات دارند. ولی به علت عیار پایین فسفات از نظر اقتصادی فعلاً مورد توجه چندانی نیستند و ارزش اقتصادی بالایی ندارد. به جز چند معدن کوچک، سایر کانسارها استخراج نمی شوند. | در ایران کانسارهای منیتیتی هماتیتی چغارت، چادرملو، چاه گز و کانسار آپاتیت منیتیت هماتیت دار اسفوردی و فسفات آذرین گزستان را جزو این گروه از کانسارها منظور می کنند. در واقع همراه با آپاتیت موجود در این کانسارها، مقداری عناصر نادر خاکی وجود دارد. مثلاً در کانسار فسفات اسفوردی تا ۱/۲ درصد عناصر نادر خاکی LREEs وجود دارد. | مثال های کانساری شناخته شده در ایران | ۹ |



فصل ۲

فهرست خدمات مرحله شناسایی





۲-۱- آشنایی

در مرحله شناسایی باید زون‌های ساختاری-متالوژیکی که از نظر کانی‌سازی عناصر نادر خاکی دارای پتانسیل هستند مورد بررسی قرار گیرند. در این مرحله از نقشه‌های زمین‌شناسی کوچک‌مقیاس و پایه در مقیاس‌های ۱:۲,۵۰۰,۰۰۰ و ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰، ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ استفاده می‌شود. مطالعات اکتشافی در مرحله شناسایی بر اساس داده‌های زمین‌شناسی، زمین‌شناسی اقتصادی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و دورسنجی و تعبیر و تفسیر و پردازش این داده‌ها انجام می‌گیرد. در واقع مرحله شناسایی، بررسی عمومی اکتشافی در یک ناحیه برای آثاریابی و دستیابی به پتانسیل معدنی در مقیاس ناحیه‌ای بر مبنای اطلاعات موجود است. در پایان این مرحله محدوده‌های امیدبخش اولویت‌بندی شده و نوع کانی‌سازی قابل انتظار در آن‌ها تعیین و پیشنهادات لازم برای ادامه عملیات اکتشافی، در مرحله پی‌جویی در آن‌ها ارائه می‌شود. چک‌لیست مرحله پی‌جویی عناصر نادر خاکی در جدول ۲-۱ ارائه شده است.

۲-۲- مرحله جمع‌آوری و پردازش داده‌ها و انتخاب محدوده مناسب

در این مرحله، اساس کار بررسی داده‌های زمین‌شناسی و اکتشافی پایه مانند نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲,۵۰۰,۰۰۰، ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰، ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ و نقشه‌های ژئوفیزیک هواپردی ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰، ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ یا نقشه‌های مربوط به پراکندگی مواد معدنی ۱:۲۵۰۰,۰۰۰ یا ۱:۱۰۰۰,۰۰۰ و نقشه‌های ژئوشیمیایی ۱:۱۰۰,۰۰۰ و سایر اطلاعات موجود است. پس از بررسی زون‌های ساختاری، مناطق دارای سنگ‌های ماگمایی آلکان و مناطق متالوژیکی مناسب برای اکتشاف عناصر نادر خاکی بسته به نوع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی محتمل، محدوده‌های مناسب برای اکتشاف مرحله شناسایی انتخاب و اولویت‌بندی می‌شوند. وسعت محدوده‌های مورد مطالعه معمولاً بیش از ۱۰۰۰ تا چند هزار کیلومتر مربع است. با پردازش داده‌ها و تشکیل بانک اطلاعاتی زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، دورسنجی و زمین‌شناسی اقتصادی به تفکیک و تلفیق داده‌ها، محدوده‌های امیدبخش در این محدوده بزرگ مشخص و معرفی می‌شود. فهرست خدمات این مرحله به شرح زیر است:

الف- جمع‌آوری و بررسی کلیه نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و تعیین زون‌های ساختاری-متالوژیکی مناسب برای اکتشاف عناصر نادر خاکی بر اساس ویژگی‌های لیتولوژیکی و زون‌های ساختاری

ب- بررسی داده‌های ماهواره‌ای لندست و TM و تعیین مناطق با ساختارهای خطی، حلقوی و زون‌های دگرسانی

پ- بررسی نقشه‌های ساختاری و تکتونیکی با مقیاس ۱:۲۵۰۰,۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰,۰۰۰ و نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ و

۱:۲۵۰,۰۰۰ تعیین مناطق با ویژگی‌های ساختاری مناسب برای کانی‌سازی عناصر نادر خاکی

ت- بررسی نقشه‌های پراکندگی مواد معدنی با مقیاس ۱:۲,۵۰۰,۰۰۰ و ۱:۱,۰۰۰,۰۰۰ و تعیین مناطق با تراکم بالای کانی‌سازی

عناصر نادر خاکی، زون‌ها و ایالت‌های کانی‌سازی امیدبخش حضور عناصر نادر خاکی

ث- ایجاد بانک اطلاعاتی در سیستم GIS، پردازش داده‌ها و رقمی کردن نقشه‌ها

ج- تلفیق داده‌ها و تعیین مناطق مناسب برای مرحله شناسایی



۲-۳- بررسی، پردازش و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی پایه

در این مرحله ابتدا بانک اطلاعاتی تشکیل و لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی، دورسنجی و زمین‌شناسی اقتصادی در این بانک به تفکیک پردازش می‌شوند و سپس با تلفیق آن‌ها محدوده‌های امیدبخش اکتشافی در محدوده بزرگ مورد نظر، مشخص و معرفی می‌شود.

۲-۴- بررسی صحرایی و نمونه‌برداری از محدوده‌های امیدبخش و اولویت‌بندی و معرفی محدوده‌های مناسب برای ادامه عملیات اکتشافی

در این مرحله محدوده‌های امیدبخش معرفی شده، مورد بازدید صحرایی و نمونه‌برداری قرار می‌گیرد و نوع کانی‌سازی قابل انتظار در آن‌ها مشخص می‌شود. بر اساس نتایج برداشت‌های صحرایی، مطالعه و تجزیه نمونه‌های برداشت شده، محدوده‌های مناسب برای ادامه عملیات اکتشافی معرفی و اولویت‌بندی می‌شوند.

از رخنمون‌های دارای آثار کانی‌سازی و زون‌های دگرسانی (از هر قسمت از رخنمون کانی‌سازی و بخش دگرسانی به تعداد ۵-۶ نمونه) نمونه‌برداری می‌شود و برای تعیین مقادیر عناصر نادر خاکی و همچنین مشخص کردن نسبت La/Lu و مقادیر عناصر نادر خاکی LREEs و HREEs مورد تجزیه قرار می‌گیرد. حدود ۱۰ نمونه برای مطالعات مینرالوگرافی، ۱۰ نمونه برای مطالعات کانی‌شناسی نوری و XRD و تعیین توالی پاراژنتیک و کانی‌های همراه برداشت و مطالعه می‌شود. در صورت نیاز حدود ۱۰ نمونه رسوبات آبراهه‌ای و ۴ نمونه کانی سنگین برداشت و مطالعه می‌شوند. نمونه‌ها برای تمام REEs و عناصر همراه (۴۴ عنصری) به یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA مورد تجزیه شیمیایی قرار می‌گیرند (به نشریه شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی-نشریه شماره ۵۶۵ مراجعه شود). تجزیه بخش جدا شده کانی‌های سنگین برای عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز، مطالعه آن به روش XRD و انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی^۱ بر روی کانی‌های مشکوک به عناصر نادر خاکی ضروری است. با تعبیر و تفسیر نتایج به دست آمده از تجزیه شیمیایی، مطالعات میکروسکوپی، XRD و کانی سنگین محدوده‌های امیدبخش مناسب برای اکتشاف عناصر نادر خاکی یا کانی‌سازی‌هایی که در آن‌ها عناصر نادر خاکی به صورت همراه و جانبی ممکن است وجود داشته باشد، مشخص می‌شود. برداشت‌های ساختاری محدود، کروکی از مسیرهای پیمایش و محل نمونه‌برداری‌ها برای مستندسازی و ارایه در گزارش پایانی این مرحله باید به نحو مطلوب تهیه شود. علاوه بر نمونه‌برداری‌های ذکر شده، تجزیه نمونه‌ها و مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی، در این مرحله با تطبیق با داده‌های به دست آمده از مطالعه نقشه‌های مغناطیس‌سنجی هواپردی یا در صورت وجود نقشه‌های مغناطیس‌سنجی زمینی و همچنین تطبیق و هماهنگی با زمین‌شناسی و ساختارهای زمین‌شناسی، اولویت‌بندی مناطق برای انجام عملیات اکتشافی در مرحله پی‌جویی ارایه می‌شود.

۲-۵- ساختار گزارش نهایی مرحله شناسایی

سرفصل‌ها و زیرفصل‌های گزارش مرحله شناسایی اکتشاف عناصر نادر خاکی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

1- Scanning electron microscope



۲-۵-۱- چکیده

شامل خلاصه گزارش مرحله شناسایی به صورت یک یا دو صفحه شامل کلیات، زمین‌شناسی، مطالعات ژئوشیمیایی، ژئوفیزیک هوابردی، داده‌های ماهواره‌ای، زمین‌شناسی اقتصادی، بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری، نوع تجزیه‌های شیمیایی و کانی‌شناسی انجام شده، پردازش و تلفیق داده‌ها و معرفی محدوده‌های امیدبخش برای ذخایر عناصر نادر خاکی و یا ذخایری که دارای عناصر نادر خاکی به صورت محصول جانبی هستند است. در پایان نیز نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای ادامه یا توقف عملیات اکتشافی ارائه می‌شود.

۲-۵-۲- فهرست‌ها

- الف- فهرست مطالب
- ب- فهرست شکل‌ها
- پ- فهرست جدول‌ها
- ت- فهرست نمادها

۲-۵-۳- مقدمه**۲-۵-۴- اطلاعات کلی منطقه**

- الف- موقعیت جغرافیایی
- ب- وضعیت آب و هوایی
- پ- راه‌های دسترسی و امکانات زیربنایی برای عملیات اکتشافی
- ت- کارهای انجام شده قبلی شامل کلیه گزارش‌های زمین‌شناسی، اکتشافی و معدنی که تا زمان بررسی‌ها درباره این ناحیه موجود است.

۲-۵-۵- زمین‌شناسی و متالوژنی

- الف- زمین‌شناسی ناحیه‌ای
- ب- زمین‌شناسی محدوده(های) مورد بررسی
- پ- بررسی‌های تکتونیکی و زمین‌ساختی
- ت- متالوژنی و طبقه‌بندی زایشی استعدادهای کانی‌سازی
- ث- ماگماتیسم، دگرگونی و دگرسانی
- ج- زمین‌شناسی اقتصادی (ایالت‌های فلززایی، نشانه‌های معدنی شناخته شده، نوع کانی‌سازی، سنگ میزبان و کنترل‌کننده‌های ناحیه‌ای، انواع دگرسانی و ارتباط آن با کانی‌سازی)

۲-۵-۶- دورسنجی

- الف- نوع داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده
- ب- تصحیحات هندسی و رادیومتری
- پ- روش‌های آشکارسازی مورد استفاده
- ت- پردازش داده‌ها برای تعیین واحدهای سنگی مرتبط با کانی‌سازی
- ث- پردازش داده‌ها برای تعیین ساختارهای کنترل‌کننده کانی‌سازی (ساختارهای خطی و حلقوی)
- ج- پردازش داده‌ها برای تعیین زون‌های دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی
- چ- تهیه و تفسیر نقشه‌های ساختاری، لیتولوژیکی و دگرسانی

۲-۵-۷- مطالعات ژئوشیمیایی

- الف- طراحی شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی (لیتوژئوشیمیایی، رسوبات آبراهه‌ای و کانی سنگین)
- ب- عملیات صحرایی و نمونه‌برداری ژئوشیمیایی
- پ- آماده‌سازی نمونه‌ها، روش تجزیه و نتایج تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی
- ت- تعیین دقت نتایج تجزیه نمونه‌ها
- ث- مطالعات آماری پایه
- ج- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی
- چ- تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی به همراه تعبیر و تفسیر آنومالی ژئوشیمیایی و معرفی محدوده‌های امیدبخش

۲-۵-۸- مطالعات ژئوفیزیک هوابردی

- الف- نوع داده‌های ژئوفیزیکی
- ب- ویژگی‌های داده‌های ژئوفیزیکی
- پ- تصحیحات
- ت- پردازش داده‌ها و تهیه نقشه‌های ژئوفیزیکی
- ث- تفسیر آنومالی‌ها و تعیین محدوده‌های امیدبخش

۲-۵-۹- مطالعات تلفیقی

- الف- تهیه بانک اطلاعاتی
- ب- مدل تلفیقی بهینه
- پ- تعیین انواع لایه‌های شاهد کانی‌سازی در سیستم GIS
- ت- اولویت‌بندی لایه‌های اطلاعاتی و چگونگی وزن‌دهی
- ث- تهیه نیمرخ‌های زمین‌شناسی
- ج- تهیه نقشه تلفیقی و تعیین مناطق امیدبخش



چ- تفسیر مناطق امیدبخش و اولویت بندی آنها

۲-۵-۱۰- برآورد منبع در رده ۳۳۴

۲-۵-۱۱- ارایه برنامه مرحله پی جویی

الف- معرفی روش کار بهینه

ب- نتایج کارهای انجام شده

پ- تعیین معیارهای تصمیم گیری و ارایه پیشنهادات برای بررسی های مرحله پی جویی

۲-۵-۱۲- فهرست منابع

- فارسی و غیر فارسی

۲-۵-۱۳- پیوستها

الف- نتایج تجزیه نمونه های ژئوشیمیایی

ب- داده های خام ماهواره ای و ژئوفیزیک هواپردی

پ- نقشه تلفیقی وضعیت مناطق امیدبخش عناصر نادر خاکی

ت- نقشه زمین شناسی مناطق امیدبخش

ث- نقشه نیمرخ های پیمایش زمین شناسی

ج- جدول های تکمیلی

جدول ۲-۱- چک لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله شناسایی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس-میزان | نوع کانی سازی |
|------|--|--|---------------------------------|
| ۱ | جمع آوری داده ها برای انتخاب ناحیه مناسب، شامل نقشه های زمین شناسی، ساختاری، پراکندگی مواد معدنی، ماهواره ای | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ در زون های ساختاری متالوژنی عمده | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۲ | ایجاد بانک اطلاعاتی در سیستم GIS و معرفی محدوده های مناسب برای اکتشاف عناصر نادر خاکی | ۱:۲۵۰,۰۰۰ و ۱:۱۰۰,۰۰۰ در محدوده های مناسب برای اکتشاف مرحله شناسایی عناصر نادر خاکی و مرحله شناسایی معمولاً گسترش بیش از چند هزار کیلومتر مربع | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |

ادامه جدول ۱-۲- چک لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله شناسایی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس-میزان | نوع کانی سازی |
|------|--|--|---------------------------------|
| ۳ | پردازش داده‌های پایه شامل اطلاعات زمین شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیک هوابردی، نقشه ماهواره‌ای، زمین شناسی اقتصادی و تلفیق داده‌ها در سیستم GIS و معرفی نواحی امیدبخش اکتشافی | ۱:۲۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ در مرحله اکتشاف مرحله شناسایی | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۴ | بررسی صحرایی و نمونه برداری از محدوده‌های امیدبخش و تجزیه کانی شناسی و شیمیایی آن‌ها | کروکی مناسب و پیاده سازی موقعیت‌ها بر روی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۵ | گزارش نهایی مرحله شناسایی همراه با پیشنهاد برای اکتشافات مرحله پی جویی همراه با نواحی امیدبخش | ۱:۵۰,۰۰۰، ۱:۱۰۰,۰۰۰ | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |



فصل ۳

فهرست خدمات مرحله پی جویی





۳-۱- آشنایی

این مرحله اکتشاف در محدوده‌های امیدبخشی انجام می‌شود که در مرحله شناسایی معرفی، اولویت‌بندی و نوع کانی‌سازی قابل انتظار در آن‌ها مشخص شده باشد. این مرحله از اکتشاف، در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ انجام می‌گیرد. چک‌لیست مرحله پی‌جویی عناصر نادر خاکی در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

۳-۲- جمع‌آوری داده‌ها

در این مرحله کلیه داده‌ها و گزارش‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی (زمینی و هوابردی)، داده‌های ماهواره‌ای و زمین‌شناسی اقتصادی در محدوده مورد بررسی جمع‌آوری می‌شود. نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و عکس‌های هوایی و داده‌های ماهواره‌ای با مقیاس مشابه در محدوده، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از انجام تصحیحات لازم بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، نقشه رقومی می‌شود.

۳-۳- برنامه‌ریزی برای انجام عملیات پی‌جویی

این مرحله شامل برنامه‌ریزی برای مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، زمین‌شناسی اقتصادی، ژئوفیزیکی، حفريات اکتشافی و نمونه‌برداری، آماده‌سازی و انجام آزمایشات بر روی نمونه‌ها، تعبیر و تفسیر نتایج و ارائه گزارش نهایی است.

۳-۴- مطالعات زمین‌شناسی

در این مرحله مطالعات زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به صورت زیر باید انجام گیرد.

۳-۴-۱- عملیات صحرائی و برداشت زمین‌شناسی

الف- برداشت زمین‌شناسی بر اساس نقشه توپوگرافی رقومی شده ۱:۲۵۰۰۰ و عکس‌های هوایی یا داده‌های ماهواره‌ای با مقیاس مشابه در امتداد نیمرخ‌هایی با فواصل ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر

ب- تفکیک واحدهای سنگ‌چینه‌ای

پ- برداشت ساختارهای خطی و حلقوی و نفوذی‌ها و زبانه‌ای مرتبط با آن‌ها

ت- تعیین شیب و امتداد لایه‌ها و گسل‌ها

ث- تفکیک زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی و انتقال آن‌ها بر روی نقشه‌های پایه

ج- نمونه‌برداری از رخنمون‌های سنگی (توده‌های آکالان، سنگ‌های تحت اشباع و دایک‌ها و سیل‌های مرتبط) و کانی‌سازی و

دگرسانی برای مطالعات پتروگرافی، مینرالوگرافی، کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس و تجزیه شیمیایی

۳-۴-۲- عملیات دفتری



- الف- انتقال عوارض زمین‌شناسی و اکتشافی به نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تکمیل آن
- ب- تهیه نقشه زمین‌شناسی-توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ همراه با راهنما و نیمرخ‌های زمین‌شناسی، محل حفريات و نمونه‌برداری‌ها، شیب و امتداد لایه‌ها و گسل‌ها و پدیده‌های ماگمایی، دگرگونی، دگرسانی و ساختاری

۳-۵- مطالعات ژئوشیمیایی

این مطالعات بسته به نوع و ماهیت کانی‌سازی شامل استفاده از روش‌های لیتوژئوشیمیایی، رسوبات آبراهه‌ای و کانی سنگین است که به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

۳-۵-۱- طراحی شبکه نمونه‌برداری ژئوشیمیایی و کانی سنگین

- در این مرحله شبکه نمونه‌برداری‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین به شرح زیر طراحی می‌شود:
- الف- ۴ تا ۵ نمونه ژئوشیمیایی در هر کیلومتر مربع از رخنمون‌های سنگی
- ب- ۲ تا ۳ نمونه در هر کیلومتر مربع از پوشش آبرفتی
- پ- ۲ نمونه کانی سنگین در هر کیلومتر مربع از رخنمون‌های سنگی
- ت- ۱ نمونه کانی سنگین در هر کیلومتر مربع از پوشش آبرفتی

۳-۵-۲- عملیات صحرائی

- الف- نمونه‌برداری ژئوشیمیایی و کانی سنگین با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس شبکه طراحی شده
- ب- شماره‌گذاری، کدگذاری و تعیین محل نمونه‌ها بر روی زمین و نقشه توپوگرافی
- پ- بسته‌بندی و ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه‌های تجزیه شیمیایی

۳-۵-۳- آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی

- در این مرحله نمونه‌های تهیه شده برای انجام آزمایشات به شرح زیر آماده می‌شود:
- الف- آماده‌سازی نمونه‌ها و تجزیه به یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA برای تمامی عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز (تجزیه ۴۴ عنصری)
- ب- آماده‌سازی و مطالعه نمونه‌های کانی سنگین به روش مرسوم
- پ- مطالعه بخش کانی سنگین به یکی از روش‌های ICP-MS، XRD، EMPA/SEM

۳-۵-۴- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین

در این مرحله نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر نادر خاکی و هم‌پاراژنز و نقشه‌های کانی سنگین تهیه و محدوده‌های امیدبخش دارای کانی‌سازی معرفی می‌شوند. از نسبت‌های عناصر نظیر نسبت La/Lu و مقادیر عناصر نادر خاکی LREEs و HREEs در



سنگ‌های میزبان و زون کانه‌دار نیز به منظور تعیین بارور یا عقیم بودن توده‌ها استفاده می‌شود. سپس زون‌های آنومالی برای کنترل صحرایی در محدوده‌های امیدبخش تعیین می‌شوند.

۳-۵-۵- کنترل صحرایی

این مرحله شامل موارد زیر است:

الف- برداشت و نمونه‌های تکمیلی ژئوشیمیایی و کانی سنگین از محدوده‌های امیدبخش

ب- برداشت نمونه‌های لیتوژئوشیمیایی از رخنمون‌های کانی‌سازی و زون‌های دگرسانی

پ- برداشت نمونه‌هایی برای مطالعات مینرالوگرافی، کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس و پتروگرافی به طور محدود (از هر محدوده امیدبخش برداشت ۵ تا ۱۰ نمونه رسوب آبراهه‌ای، ۳ تا ۵ نمونه کانی سنگین، ۵ تا ۱۰ نمونه لیتوژئوشیمیایی، ۵ تا ۱۰ نمونه مینرالوگرافی، ۲ تا ۳ نمونه کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس و ۲ تا ۳ نمونه پتروگرافی به همراه مطالعات میکروسکوپ الکترونی توصیه می‌شود).

۳-۵-۶- تجزیه شیمیایی

در این مرحله نمونه‌های رسوبات آبراهه‌ای، لیتوژئوشیمیایی کنترلی و بخش کانی سنگین به یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA برای تمامی عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز (تجزیه ۴۴ عنصری) تجزیه می‌شوند.

۳-۵-۷- تعبیر و تفسیر نتایج

در این مرحله بر اساس تعبیر و تفسیر نتایج، مناطق امیدبخش برای مرحله اکتشاف عمومی و تعیین نوع کانی‌سازی قابل انتظار پیشنهاد می‌شود. در پایان این مرحله مشخص خواهد شد که کدامیک از مجموعه عناصر نادر خاکی در هر منطقه حضور دارند تا در مراحل بعدی توجه ویژه برای تجزیه دقیق و صحیح این عناصر انجام گیرد.

۳-۶-۳- مطالعات ژئوفیزیکی

در این مرحله مطالعات ژئوفیزیک زمینی به روش‌های زیر توصیه می‌شود:

۳-۶-۱- روش مغناطیس‌سنجی-گرانی‌سنجی

مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی همراه با گرانی‌سنجی برای مشخص شدن عمق و حاشیه کانی‌سازی و تطبیق فواصل مغناطیسی-گرانی‌سنجی، با فواصل ردیف برداشت‌های ژئوفیزیکی ۸۰۰-۵۰۰ متر بر حسب نوع کانی‌سازی، توصیه می‌شود.

۳-۶-۲- روش رادیومتری

در کانسارهای حاوی موناژیت و پیروکلر روش رادیومتری به علت وجود Th و U به کار می‌رود.



۳-۷- حفریات اکتشافی

۳-۷-۱- ترانشه

در این مرحله یک یا چند ترانشه عمود بر گسترش طولی کانی‌سازی برای شناسایی بدون شبکه‌بندی منظم حفر و نمونه‌برداری به صورت لبپری یا شیاری انجام می‌گیرد.

۳-۷-۲- چاهک

در این مرحله یک چند چاهک اکتشافی بر روی مناطق دارای پوشش خاکی یا آبرفتی حفر می‌شود و نمونه‌برداری به روش شیاری و سیستماتیک انجام می‌شود.

۳-۷-۳- گمانه

در این مرحله حفر یک یا دو حلقه گمانه توصیه می‌شود. از گمانه حفر شده نمودار حفاری تهیه می‌شود و نمونه‌برداری برای شناسایی دقیق سنگ میزبان، زون کانه‌دار و دگرسانی‌ها از سراسر گمانه به روش نیم یا یک‌چهارم کردن مغزه‌ها انجام می‌گیرد.

۳-۸- آماده‌سازی و انجام آزمایش‌های شیمیایی و کانی‌شناسی

آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی بر روی نمونه‌های برداشت شده از حفریات و رخنمون‌های کانی‌سازی به یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA برای تمامی عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز (تجزیه ۴۴ عنصری) انجام می‌شود. در مورد کانسارهای مرتبط با سنگ‌های آذرین تحت اشباع و آلکان، علاوه بر عناصر جزئی، عناصر فرعی و اصلی نیز به منظور استفاده از نسبت‌های عناصر و تفکیک و نام‌گذاری صحیح سنگ میزبان مورد تجزیه قرار می‌گیرند. نظر به اهمیت نوع کانی‌های حاوی عناصر نادر خاکی، تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از رخنمون‌های سنگی، حفریات اکتشاف و رخنمون‌های کانی‌سازی، به روش‌های میکروسکوپی نور عبوری و انعکاسی، پراش اشعه ایکس و میکروسکوپ الکترونی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. مطالعات پتروگرافی بر روی نمونه‌های برداشت شده به منظور شناخت دقیق سنگ‌های میزبان و تعیین نوع دگرسانی‌ها به کمک مطالعات میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس توصیه می‌شود.

۳-۹- مطالعه و پردازش داده‌ها و اطلاعات

در این مرحله نتایج مطالعات مینرالوگرافی، کانی‌شناسی، پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی و پتروگرافی بر روی نمونه‌های برداشت شده از رخنمون‌های سنگی، کانی‌سازی، حفریات اکتشافی، پردازش شده و نتایج آن بر روی نقشه‌ها و نیمرخ‌ها پیاده می‌شود. بر اساس نتایج این مطالعات، ویژگی‌های نمونه معرف برای مطالعات فرآوری در مقیاس آزمایشگاهی تعیین می‌شود. نمونه معرف تهیه شده و به روش‌های فرآوری مناسب مورد بررسی قرار می‌گیرد.



۳-۱۰- تعبیر و تفسیر

در این مرحله نتایج کلیه مراحل انجام شده مطالعاتی، میدانی و آزمایشگاهی مورد تعبیر و تفسیر قرار می‌گیرد و محدوده یا محدوده‌های کانی‌سازی و نوع کانی‌سازی قابل انتظار معرفی می‌شوند. با ارایه گزارش نهایی مرحله پی جویی پیشنهاد برای ادامه عملیات مرحله اکتشاف عمومی نیز به همراه مراحل، جدول زمان‌بندی و هزینه ارایه می‌شود.

۳-۱۱- ساختار گزارش نهایی مرحله پی جویی

سرفصل‌ها و زیرفصل‌های گزارش مرحله پی جویی در مناطق امیدبخش عناصر نادر خاکی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

۳-۱۱-۱- چکیده

چکیده باید شامل هدف اصلی و خلاصه‌ای از موقعیت جغرافیایی و ریخت‌شناسی، زمین‌شناسی، ژئوشیمی، بررسی‌های اکتشافی انجام شده و نتایج حاصله، کانی‌سازی‌ها، نوع کانی(های) حاوی عناصر نادر خاکی، عیار و منبع یا ذخیره برآورد شده، پیشنهادات ارایه شده، هزینه‌های انجام شده و پیش‌بینی هزینه‌های اکتشافی مرحله بعد باشد.

۳-۱۱-۲- فهرست‌ها

الف- فهرست مطالب

ب- فهرست شکل‌ها

پ- فهرست جدول‌ها

ت- فهرست نمادها

۳-۱۱-۳- مقدمه

مقدمه شامل هدف از انجام پروژه، چگونگی انجام عملیات اکتشافی و نمونه‌برداری‌ها و آزمایشات است. در این بخش مبانی و مستندات پروژه به ویژه داده‌های برگرفته شده از مرحله شناسایی نیز باید ارایه شود.

۳-۱۱-۴- خلاصه مبانی و مستندات پروژه برگرفته از مرحله شناسایی

۳-۱۱-۵- اطلاعات کلی منطقه

الف- موقعیت جغرافیایی

ب- وضعیت آب و هوایی

پ- وضعیت راه‌ها

ت- وضعیت اجتماعی



۳-۱۱-۶- زمین شناسی

الف- زمین شناسی ناحیه‌ای

ب- زمین شناسی محدوده مورد بررسی شامل چینه‌شناسی، پتروگرافی و کانی‌شناسی، زمین‌ساخت، ماگماتیسم و دگرگونی، دگرسانی و کانی‌سازی (بیان نوع و کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی)

۳-۱۱-۷- تهیه نقشه توپوگرافی-زمین شناسی**۳-۱۱-۸- حفریات اکتشافی و نمونه‌برداری‌ها**

الف- نوع حفریات (ترانشه، چاهک و گمانه)

ب- چگونگی حفر، برداشت زمین‌شناسی، نمودار حفاری و روش نمونه‌برداری

پ- تهیه نیمرخ و ستون چینه‌شناسی حفریات

ت- تعیین تغییرات عیار هر یک از عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز در حفریات

۳-۱۱-۹- مطالعات ژئوفیزیکی

الف- نوع عملیات انتخابی و اهداف آن

ب- روش برداشت

پ- تصحیحات

ت- پردازش داده‌ها و تهیه نیمرخ‌ها و نقشه‌های آنومالی

ث- تفسیر آنومالی‌ها و مشخص کردن گسترش عمقی کانی‌سازی

ج- مدلسازی پیکره کانی‌سازی

۳-۱۱-۱۰- مطالعات ژئوشیمیایی

الف- طراحی شبکه نمونه‌برداری و روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی و کانی سنگین

ب- روش آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌های ژئوشیمیایی و مطالعات نمونه‌های کانی سنگین

پ- خطاگیری و تعیین دقت تجزیه نمونه‌ها

ت- مطالعات آماری پایه

ث- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی و کانی سنگین

ج- تهیه نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی (تک عنصری و چند عنصری) و کانی سنگین

چ- تعبیر و تفسیر آنومالی‌ها، تعیین مناطق امیدبخش و اولویت‌بندی آن‌ها

۳-۱۱-۱۱- استعداد کانی‌سازی

الف- قابلیت کانی‌سازی، تغییرات عیار، ضخامت، گسترش سطحی و عمقی



- ب- توده‌های ماده معدنی و ارتباط آن با آثار سطحی و عمقی و بازتاب‌های ژئوفیزیکی
- پ- ارزیابی شکلی و محتوایی و تفکیک آثار کانی‌سازی بر حسب قابلیت و توان ساخت توده‌های معدنی
- ت- تعیین عناصر نادر خاکی دارای ارزش اقتصادی و محصولات جانبی

۳-۱۱-۱۲- مشخصات کانی‌شناسی، شیمیایی و تکنولوژیکی ماده معدنی

- الف- روش نمونه‌برداری و تعداد نمونه‌ها
- ب- نتایج تجزیه‌های شیمیایی
- پ- نتایج مطالعات سنگ‌شناسی
- ت- نتایج مطالعات کانی‌شناسی، بررسی وضعیت عیار و تیپ کانسنگ‌ها
- ث- مطالعات کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی
- ج- نتایج مطالعات آزمون تکنولوژیکی

۳-۱۱-۱۳- ارزیابی عیار و ذخیره

- الف- مدلسازی رفتار عیار
- ب- ارزیابی عیار تقریبی عناصر نادر خاکی به تفکیک هر عنصر، تعیین منبع در رده ۳۳۳ و نوع کانی‌سازی قابل انتظار و چگونگی گسترش آن
- پ- اولویت‌بندی اکتشافی زون‌های کانی‌سازی

۳-۱۱-۱۴- انجام مطالعات فرصت‌سنجی

- برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای و تولیدی، اغلب به طور تقریبی و با به کارگیری داده‌های پروژه‌های مشابه قبلی

۳-۱۱-۱۵- مطالعات زیست‌محیطی

- در این مطالعات باید برآورد اولیه‌ای از نظر محیط زیست و اثرات زیست‌محیطی معدنکاری در آینده انجام گیرد. بعضی از کانی‌سازی‌های عناصر نادر خاکی مقداری عناصر رادیواکتیو به ویژه اورانیم و توریم دارند. بنابراین اثرات زیست‌محیطی آلودگی‌های حاصل باید مورد بررسی اولیه قرار گیرد.

۳-۱۱-۱۶- مطالعات تلفیقی

- الف- ایجاد بانک اطلاعاتی
- ب- پردازش داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفاریات اکتشافی
- پ- تلفیق داده‌ها در سیستم GIS، معرفی و تفسیر محدوده یا محدوده‌های کانی‌سازی



۳-۱۱-۱۷- نتیجه‌گیری و ارزیابی برنامه مرحله اکتشاف عمومی

- الف- درج نتایج کلی، ارزیابی اهداف مورد آزمون، تفکیک و الویت‌بندی یافته‌های مناسب برای مرحله اکتشاف عمومی
- ب- تعیین مدل زایشی و سیمای احتمالی از وضعیت زیرزمینی ماده معدنی
- ت- تصمیم‌گیری برای توقف یا ادامه عملیات اکتشافی بر مبنای معیارها
- ث- نتیجه‌گیری و ارزیابی پیشنهادات و روش‌های مناسب برای انجام عملیات اکتشاف عمومی

۳-۱۱-۱۸- فهرست منابع

- فارسی و غیر فارسی

۳-۱۱-۱۹- پیوست‌ها

- الف- نتایج تجزیه نمونه‌ها (با سربرگ آزمایشگاه)
- ب- نتایج مطالعات کانی سنگین، مینرالوگرافی، کانی‌شناسی، پتروگرافی، پراش اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترونی
- پ- نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی
- ت- شبکه عملیات اکتشافی
- ث- نقشه‌های موقعیت حفاریات اکتشافی و نمونه‌برداری

جدول ۳-۱- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله پی‌جویی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس- میزان | نوع کانی‌سازی |
|------|---|--|---|
| ۱ | جمع‌آوری، بررسی، پردازش و تلفیق داده‌ها و بانک اطلاعاتی در سیستم GIS | ۱:۱۰۰,۰۰۰ و ۱:۵۰,۰۰۰ و ۱:۲۵,۰۰۰ در محدوده امیدبخش | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی در محدوده‌های امیدبخش مرحله شناسایی |
| ۲ | رقومی کردن نقشه توپوگرافی، داده‌های ماهواره‌ای و انجام تصحیحات لازم | نقشه توپوگرافی ۱:۵۰,۰۰۰ تا ۱:۲۵,۰۰۰ و عکس هوایی و داده‌های ماهواره‌ای با مقیاس مشابه | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |
| ۳ | مطالعات لیتوژئوشیمیایی و کانی سنگین، طراحی شبکه نمونه‌برداری، نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی، تعیین خطا، پردازش داده‌ها، تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی | ۱:۵۰,۰۰۰ تا ۱:۲۵,۰۰۰ | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |



ادامه جدول ۳-۱- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله پی‌جویی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس- میزان | نوع کانی‌سازی |
|------|---|---|--|
| ۴ | کنترل آنومالی‌ها، نمونه‌برداری مجدد و انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های کنترلی و معرفی محدوده امیدبخش و اولویت‌بندی آن‌ها | ۱:۵۰,۰۰۰ تا ۱:۲۵۰,۰۰۰ | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |
| ۵ | حفر ترانشه و چاهک، برداشت زمین‌شناسی و نمونه‌برداری از حفریات | ۱:۱۰۰ یا ۱:۲۰۰ حفر و برداشت چند ترانشه و یا چاهک در مناطق مختلف | ترانشه در کانسارهای رگه‌ای و یا عدسی شکل و حفر چاهک و ترانشه در کانسارهای کربناتی و ترانشه در کانسارهای پلاستی |
| ۶ | انجام مطالعات ژئوفیزیکی زمینی به روش مغناطیس‌سنجی یا گرانی‌سنجی | چندین پروفیل شناسایی | در کانسارهای کربناتی- ماگمایی آکالن و سینیتی و گرانی و رگه‌ای و کانسارهای آپاتیتی و کانسارهای هوازده برجا |
| ۷ | تعبیر و تفسیر نتایج مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی و تعیین محدوده یا محدوده‌های کانی‌سازی عناصر نادر خاکی و نوع کانی‌سازی قابل انتظار | ۱:۲۵۰,۰۰۰ تا ۱:۵۰,۰۰۰ | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |
| ۸ | تعیین معیار تصمیم‌گیری برای ادامه عملیات اکتشافی | - | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |
| ۹ | نتیجه‌گیری نهایی و ارائه پیشنهادات برای ادامه عملیات اکتشافی و ارائه گزارش نهایی مرحله پی‌جویی | | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |





فصل ۴

فهرست خدمات مرحله

اکتشاف عمومی





۴-۱- آشنایی

در این مرحله اکتشاف عناصر نادر خاکی در زون کانی‌سازی اولویت‌دار که در پی‌جویی معرفی و گسترش سطحی تقریبی و نوع کانی‌سازی آن مشخص شده، انجام می‌شود. وسعت محدوده مورد بررسی متغیر است. در صورتی که کانسار از نوع کربناتی، گرانیتی-سینیتی، پگماتی، رگه‌ای و یا از نوع پلاسز باشد، حجم عملیات اکتشافی و محدوده یا وسعت منطقه اکتشافی متفاوت خواهد بود. چک‌لیست مرحله اکتشاف عمومی این عناصر در جدول ۴-۱-۱ ارائه شده است.

۴-۲- جمع‌آوری داده‌ها

در این مرحله کلیه داده‌های مراحل شناسایی و پی‌جویی جمع‌آوری و سپس با پردازش و تلفیق داده‌ها، طراحی و برنامه‌ریزی مطالعات اکتشافی مرحله عمومی انجام می‌شود.

۴-۳- برنامه‌ریزی برای مطالعات اکتشاف عمومی

این مرحله شامل برنامه‌ریزی مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی، حفريات اکتشافی، نمونه‌برداری، فرآوری در مقیاس پایه، تعبیر و تفسیر نتایج و ارائه گزارش نهایی است. توجه به زیرساخت‌های مورد نیاز برای مطالعات به ویژه حفاری‌های مکانیزه نیز ضروری است.

۴-۴- مطالعات زمین‌شناسی

در این مرحله مطالعات زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ به صورت زیر انجام می‌شود:

الف- تهیه نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ محدوده کانی‌سازی با کنترل زمینی

ب- عملیات صحرایی برای تهیه نقشه زمین‌شناسی از محدوده کانی‌سازی بر اساس نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ شامل تفکیک واحدهای سنگ‌چینه‌ای، گسل‌ها و عملکرد آن‌ها بر کانی‌سازی، گسترش سطحی کانی‌سازی و دگرسانی‌ها، در امتداد نیم‌رخ‌هایی به فواصل ۵۰ متر، برداشت شیب و امتداد لایه‌ها، زون کانی‌سازی و گسل‌ها و نمونه‌برداری از رخنمون‌های کانی‌سازی، واحدهای سنگی و دگرسانی برای انجام مطالعات پتروگرافی، مینرالوگرافی، کانی‌شناسی به روش پراش اشعه ایکس و تجزیه شیمیایی با روش‌های دستگاهی مناسب

پ- بررسی ویژگی‌های پترولوژیکی و عملکرد فرآیندهای ماگماتیسم، دگرگونی و متاسوماتیسم

ت- انتقال عوارض زمین‌شناسی و تهیه نقشه زمین‌شناسی-توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ همراه با راهنمای کامل و مقاطع زمین‌شناسی در حاشیه نقشه به همراه نمایش محل حفريات، محل نمونه‌ها، شیب و امتداد لایه‌ها و گسل‌ها، پدیده‌های ماگمایی، دگرگونی، دگرسانی و گسترش سطحی کانی‌سازی



۴-۵- مطالعات ژئوشیمیایی

این مطالعات در مرحله اکتشاف عمومی شامل نمونه‌برداری از پوشش خاک یا رخنمون‌های سنگی در یک شبکه منظم در محدوده کانی‌سازی است که به صورت زیر انجام می‌شود:

الف- طراحی شبکه نمونه‌برداری در شبکه‌های ۲۵۰×۲۵۰، ۲۵۰×۱۰۰ و یا ۱۰۰×۱۰۰ متری از پوشش خاکی یا رخنمون‌های سنگی

ب- نمونه‌برداری ژئوشیمیایی بر اساس شبکه طراحی شده. نمونه‌های پوشش خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک و نمونه‌های سنگی به صورت لپیری یا شیاری برداشت می‌شوند. نمونه‌های لپیری در دایره‌ای به شعاع ۳ تا ۵ متر و نمونه‌های شیاری در طول ۲ تا ۵ متر عمود بر گسترش طولی زون کانی‌سازی برداشت می‌شود. محل نمونه‌ها باید هم بر روی زمین و هم بر روی نقشه با شماره و کد مخصوص مشخص شود.

پ- آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام تجزیه شیمیایی به یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA برای مجموعه کامل عناصر نادر و نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز بر اساس اطلاعات حاصل از تجزیه‌های شیمیایی در مراحل قبلی
ت- تعبیر و تفسیر نتایج و معرفی محدوده‌های مناسب برای حفر گمانه‌های اکتشافی

۴-۶- مطالعات ژئوفیزیکی

در این مرحله مطالعات ژئوفیزیک زمینی با تراکم بیشتر و برداشت دقیق‌تر مطابق با عملیات انجام شده در مرحله پی‌جویی، متناسب با نوع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی انجام می‌گیرد. بر اساس نتایج این مطالعات، موقعیت گمانه‌های حفاری تعیین می‌شود. روش‌های مورد استفاده عبارتند از:

۴-۶-۱- روش‌های مغناطیس‌سنجی-گرانی‌سنجی

مطالعات مغناطیس‌سنجی زمینی همراه با گرانی‌سنجی برای مشخص شدن گسترش سطحی و عمقی کانی‌سازی و تطبیق فواصل مغناطیسی-گرانی‌سنجی، با برداشت‌های ژئوفیزیکی حداقل ۱۰۰۰ نقطه در کیلومتر مربع توصیه می‌شود.

۴-۶-۲- روش رادیومتری

در کانسارهای حاوی مونازیت و پیروکلر، روش رادیومتری به علت وجود Th و یا U مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۷- حفاریات اکتشافی

۴-۷-۱- ترانشه

در این مرحله ترانشه‌ها در کانسارهای لایه‌ای، توده‌ای، عدسی و رگه‌ای به فواصل ۱۰۰ تا ۲۵۰ متر عمود بر گسترش طولی زون کانی‌سازی، حفر می‌شود و باید حداقل چند متر از کمربالا و کمربایین زون کانی‌سازی را در برگیرد.



۴-۷-۲- چاهک

حفر چاهک‌های اکتشافی مطابق شبکه طراحی شده و نمونه‌برداری به روش لیپری یا شیاری به همراه برداشت دیواره‌ها و کف، هم‌زمان با نمونه‌برداری و با مقیاس ۱:۲۰۰ یا ۱:۱۰۰ انجام می‌شود. در کانسارهای نوع پلاسری، حفر چاهک‌های اکتشافی باید در شبکه‌های منظم ۲۵۰×۲۵۰ تا ۱۰۰×۱۰۰ متری انجام شود. نمونه‌برداری از چاهک باید به روش شیاری انجام گیرد.

۴-۷-۳- گمانه

در این مرحله چند حلقه گمانه به منظور تعیین گسترش عمقی کانی‌سازی بر اساس مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی طراحی و حفر می‌شود. فواصل گمانه‌ها ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر است. نمودار گمانه باید بر اساس برداشت مغزه‌ها تهیه شود. نمونه‌برداری از مغزه‌ها به وسیله دستگاه برش مغزه و از هر یک‌دوم یا یک‌چهارم مغزه به فواصل ۱، ۲ و ۵ متری برداشت می‌شود.

۴-۸- آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی برای تعیین عناصر نادر خاکی و هم‌پاراژنز

- در کانسارهای کربناتیته علاوه بر عناصر REEs عناصر همراه یا پاراژنز مانند Au, Zn, Pb, Zr, Ti, Ta, Nb, Th, U, Cu در کانسارهای گرانیتی-سینیتی یا پگماتیته نیز علاوه بر عناصر REEs عناصری مانند Mn, P, Ti, U, Zr, Pb, Ba, Th, Nb, Ta, Cu و در کانسارهای پلاسری نیز علاوه بر عناصر REEs عناصر Sn, W, Zr, Ti, Ta و Nb با ارزش هستند. در تجزیه شیمیایی از یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA استفاده می‌شود.

۴-۹- انجام مطالعات تکمیلی مینرالوگرافی

در این مرحله مطالعات مینرالوگرافی، کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس و پتروگرافی بر روی نمونه‌های برداشت شده از حفريات و رخنمون‌های کانی‌سازی، واحدهای سنگی و زون‌های دگرسانی به شرح زیر انجام می‌گیرد:

الف- آماده‌سازی و انجام مطالعات مینرالوگرافی، کانی‌شناسی نوری و مطالعات کانی‌شناسی به روش XRD از نمونه‌های برداشت شده از حفريات رخنمون‌های کانی‌سازی و واحدهای سنگی و زون‌های دگرسانی

ب- انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی یا الکترون میکروپروب بر روی کانی‌های عناصر نادر خاکی

۴-۱۰- مطالعات مهندسی و ژئومکانیکی

در این مرحله اطلاعات آب‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی، زیست‌محیطی و ژئومکانیکی گردآوری می‌شود.

۴-۱۱- برداشت نمونه معرف

در این مرحله از زون کانی‌سازی یک نمونه معرف برای انجام مطالعات فرآوری در مقیاس پایه برداشت می‌شود.



۴-۱۲- تعبیر و تفسیر نتایج

در این مرحله نتایج مطالعات زمین شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفاری‌ها تلفیق می‌شود. نتایج باید به نحوی باشد که شکل کلی ذخیره معدنی مشخص شده باشد و به همراه آن مقدار منبع و ذخیره، عیار میانگین، مطالعات پیش‌امکان‌سنجی، مطالعات اقتصادی یا پتانسیل اقتصادی ارایه شود. در پایان پیشنهادات برای عملیات اکتشافی در مرحله اکتشاف تفصیلی به همراه برنامه زمان‌بندی-هزینه ارایه می‌شود.

۴-۱۳- ساختار گزارش نهایی مرحله اکتشاف عمومی

سرفصل‌ها و زیرفصل‌های گزارش مرحله اکتشاف عمومی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

۴-۱۳-۱- چکیده

چکیده باید شامل خلاصه‌ای از نتایج مطالعات انجام شده باشد.

۴-۱۳-۲- فهرست‌ها

- الف- فهرست مطالب
- ب- فهرست شکل‌ها
- پ- فهرست جدول
- ت- فهرست نمادها

۴-۱۳-۳- مقدمه

مقدمه باید شامل تعریف، هدف، سوابق پروژه، روش تحقیق، انجام مطالعات و نتایج آزمایشات باشد.

۴-۱۳-۴- خلاصه عملیات انجام شده در مراحل شناسایی و پی‌جویی

در این بخش باید خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده قبلی ارایه شود.

۴-۱۳-۵- اطلاعات کلی منطقه

- الف- موقعیت جغرافیایی
- ب- وضعیت آب و هوایی
- پ- وضعیت راه‌ها
- ت- وضعیت اجتماعی



۴-۱۳-۶- زمین شناسی محدوده معدنی

- الف- زمین شناسی ناحیه‌ای
- ب- زمین شناسی دقیق محدوده معدنی
- پ- زمین ساخت محدوده معدنی
- ت- مدل زایشی کانی سازی و عوامل کنترل کننده ذخیره

۴-۱۳-۷- تهیه نقشه توپوگرافی-زمین شناسی**۴-۱۳-۸- مطالعات ژئوفیزیکی**

- الف- نوع عملیات ژئوفیزیکی و اهداف آن
- ب- روش برداشت و طراحی شبکه
- پ- انجام تصحیحات مورد نیاز
- ت- پردازش داده‌ها، تهیه نقشه‌های آنومالی ژئوفیزیکی
- ث- تفسیر آنومالی‌های ژئوفیزیکی و تعیین و الویت بندی نقاط حفاری اکتشافی
- ج- مدلسازی پیکره معدنی (مدل زمین شناسی-فیزیکی)

۴-۱۳-۹- حفاریات اکتشافی و نمونه برداری ها

- الف- نوع حفاریات (ترانشه، چاهک و گمانه)
- ب- چگونگی حفر، برداشت زمین شناسی و نمونه برداری از حفاریات
- پ- تهیه نیمرخ، ستون چینه شناسی و نمودار حفاری
- ت- تعیین تغییرات عیار عناصر نادر خاکی (به تفکیک هر عنصر و مجموع عناصر) و عناصر پاراژنز در حفاریات

۴-۱۳-۱۰- مطالعات ژئوشیمیایی (لیتوژئوشیمیایی و خاک)

- الف- طراحی شبکه نمونه برداری و روش نمونه برداری
- ب- روش آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها
- پ- خطاگیری و تعیین دقت نتایج تجزیه
- ت- مطالعات آماری پایه
- ث- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی
- ج- تهیه نقشه‌های آنومالی
- چ- تهیه نقشه زون بندی عناصر نادر خاکی و عناصر هم‌پاراژنز
- ح- تفسیر نقشه‌های آنومالی ژئوشیمیایی



۴-۱۳-۱۱- ویژگی‌های زون معدنی

- الف- شکل، ابعاد و موقعیت جایگیری کانسنگ
- ب- کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی عناصر
- پ- وضعیت عیار در کانسنگ

۴-۱۳-۱۲- تخمین ذخیره

- الف- تعیین عیار حد و توزیع عیار
- ب- بلوک‌بندی
- پ- تخمین ذخایر و منابع و رده‌بندی ذخیره

۴-۱۳-۱۳- نتایج مطالعات مهندسی و ژئومکانیکی

- الف- آب‌شناسی، آب‌زمین‌شناسی و ویژگی‌های آبخوان‌ها
- ب- لرزه‌خیزی و مخاطرات طبیعی
- پ- مطالعات ژئومکانیکی

۴-۱۳-۱۴- نتایج مطالعات فرآوری

- الف- در مقیاس آزمایشگاهی
- ب- در مقیاس پایه

۴-۱۳-۱۵- نتایج مطالعات زیرساخت‌ها

- الف- فرهنگی
- ب- اجتماعی
- پ- سیاسی
- ت- اقتصادی

۴-۱۳-۱۶- نتایج مطالعات اقتصادی

۴-۱۳-۱۷- پیش‌امکان‌سنجی

- الف- برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری
- ب- مطالعات بازار
- پ- ارزیابی اقتصادی



۴-۱۳-۱۸- مطالعات تلفیقی

- الف- تهیه بانک اطلاعاتی
 ب- پردازش کلیه داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفريات اکتشافی
 پ- تلفیق داده‌ها در سیستم GIS

۴-۱۳-۱۹- ارایه برنامه مرحله اکتشاف تفصیلی

- الف- تعیین معیار تصمیم‌گیری برای ادامه عملیات در مرحله اکتشاف تفصیلی
 ب- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۴-۱۳-۲۰- فهرست منابع

- فارسی و غیر فارسی

۴-۱۳-۲۱- پیوست‌ها

- الف- نتایج تجزیه شیمیایی (در سرب‌گ آزمایشگاه) و مطالعات پتروگرافی، مطالعات فرآوری، مینرالوگرافی و کانی‌سنگین
 ب- داده‌های خام ژئوفیزیکی
 پ- نقشه‌ها، نیمرخ‌ها (زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی) و نمودارهای حفاری
 ت- نقشه بلوک‌بندی معدنی
 ث- مدل سه‌بعدی اکتشافی-معدنی

جدول ۴-۱- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله اکتشاف عمومی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس- میزان | نوع کانی‌سازی |
|------|---|--|---------------------------------|
| ۱ | جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد بانک اطلاعاتی | ۱:۱۰۰,۰۰۰، ۱:۵۰,۰۰۰ و ۱:۲۵,۰۰۰ در محدوده امیدبخش و در محدوده کانی‌سازی | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |
| ۲ | برنامه‌ریزی برای انجام مطالعات اکتشافی | به گسترش چند کیلومتر مربع | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |
| ۳ | مطالعات ژئوشیمیایی به صورت نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی یا پوشش خاکی در شبکه‌ها ۲۵۰×۲۵۰ یا ۱۰۰×۲۵۰ یا ۱۰۰×۱۰۰ متری | ۱:۵۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ در محدوده کانی‌سازی به گسترش چند کیلومتر مربع | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |

ادامه جدول ۴-۱- چک لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله اکتشاف عمومی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس - میزان | نوع کانی سازی |
|------|---|--|---|
| ۴ | مطالعات زمین شناسی شامل تهیه نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی | ۱:۵۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ در محدوده کانی سازی به گسترش چند کیلومتر مربع | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۵ | حفر ترانشه و چاهک های اکتشافی | عمود بر امتداد طولی زون کانی سازی در فواصل ۲۵۰ تا ۱۰۰ متری | در کانسارهای کربناتی، ماگمایی آلکان، سینی، گرانیتی، پگماتی، رگه ای، کانسارهای هوازه برجا و کانسارهای پلاستی |
| ۶ | آماده سازی و تجزیه شیمیایی نمونه ها | برای تعیین عناصر نادر خاکی و عناصر پارازن به یکی از روش های ICP-AES یا ICP-MS و یا | کلیه عناصر نادر خاکی و تجزیه پتروژنتیکی برای کانسارهای آذرین حاوی عناصر نادر خاکی |
| ۷ | مطالعات ژئوفیزیکی | متناسب با مقیاس نقشه های زمین شناسی اقتصادی تهیه شده در نیمرخ های مناسب | به روش های مغناطیس سنجی، گرانی سنجی و روش های رادیومتری در همه انواع کانسارهای عناصر نادر خاکی |
| ۸ | مطالعات کانه آرای مقدماتی در مقیاس آزمایشگاهی و یا پیشاهنگ | یک یا دو نمونه در مقیاس آزمایشگاهی | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۹ | محاسبات ذخیره ممکن و عیار کانسار و مطالعات فنی و اقتصادی اولیه | تک تک و مجموع عناصر نادر خاکی | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۱۰ | تعیین معیارهای تصمیم گیری برای ادامه عملیات اکتشافی در مرحله تفصیلی | - | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۱۱ | پیش امکان سنجی | - | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۱۲ | مطالعات اقتصادی یا پتانسیل اقتصادی | - | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |



فصل ۵

فهرست خدمات مرحله

اکتشاف تفصیلی





۵-۱- آشنایی

مرحله اکتشاف تفصیلی عناصر نادر خاکی در محدوده‌ای که طی اکتشاف عمومی مشخص شده و توجیه فنی و اقتصادی داشته است، انجام می‌گیرد. وسعت محدوده کانسار معمولاً به چند ده هکتار تا چند صد هکتار می‌رسد. در مورد کانسارهای کربناتی یا کانسارهای پلاسری، وسعت محدوده چند کیلومتر مربع است. مقیاس بررسی‌های این مرحله معمولاً ۱:۱۰۰۰ است ولی در بعضی از کانسارها در مقیاس ۱:۵۰۰ یا ۱:۲۰۰ نیز انجام می‌گیرد. فهرست خدمات اکتشافی مرحله اکتشاف تفصیلی به شرح زیر است. چک‌لیست مرحله اکتشاف تفصیلی عناصر نادر خاکی در جدول ۵-۱ ارائه شده است.

۵-۲- جمع‌آوری داده‌ها

در این مرحله کلیه داده‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، ژئوفیزیکی و حفريات مراحل قبل جمع‌آوری می‌شود و پس از ارزیابی داده‌ها و نتایج به دست آمده، در طراحی عملیات اکتشاف تفصیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۵-۳- برنامه‌ریزی برای انجام عملیات اکتشاف تفصیلی

این مرحله شامل برنامه‌ریزی عملیات اکتشافی نظیر بررسی‌های زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس، حفاری‌های تکمیلی، نمونه‌برداری از حفريات، مطالعات فرآوری در مقیاس پیشاهنگ، مطالعات زیست‌محیطی، مطالعات مهندسی پایه و تخمین ذخیره است. توجه به زیرساخت‌های مورد نیاز برای اجرای حفريات اکتشافی بسیار ضروری است.

۵-۴- بررسی‌های زمین‌شناسی

بررسی‌های زمین‌شناسی در این مرحله با مقیاس ۱:۱۰۰۰ و به صورت زیر است:

الف- تهیه نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ با برداشت زمینی و فواصل منحنی‌های تراز ۱ تا ۲ متری

ب- تهیه نقشه زمین‌شناسی-توپوگرافی ۱:۱۰۰۰ با برداشت زمینی به وسیله دوربین نقشه‌برداری و برداشت زمین‌شناسی در امتداد نیمرخ‌هایی به فواصل ۲۰ تا ۵۰ متر، شامل تفکیک واحدهای سنگی، اندازه‌گیری شیب و امتداد لایه‌ها و زون کانی‌سازی، تفکیک زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی، ساختار محدوده و نمونه‌برداری از رخنمون‌های کانی‌سازی و سنگی برای مطالعات پتروگرافی، کانی‌شناسی پراش اشعه ایکس، مینرالوگرافی و تجزیه شیمیایی به یکی از روش‌های ICP-AES یا ICP-MS و یا NAA

پ- مطالعات درزه‌نگاری

ت- تهیه نقشه دگرسانی (به ویژه دگرسانی فنیتی)

۵-۵- حفريات اکتشافی

در این مرحله حفريات اکتشافی عمیق بر اساس نتایج مرحله اکتشاف عمومی و با تراکم بیشتر انجام می‌شود.



الف- تهیه طرح شبکه حفر گمانه‌های اکتشافی، چاهک و ترانشه‌ها و احداث راه دسترسی مناسب

ب- انجام حفريات اکتشافی تکمیلی بر اساس آنومالی‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی مرحله اکتشاف عمومی به شرح زیر:

- در کانسارهای کربناتیتهی شبکه حفر گمانه‌های اکتشافی ۵۰×۵۰ متر و به صورت قائم در اعماق ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ متری و بیشتر همراه با برداشت زمین‌شناسی و نمونه‌برداری سیستماتیک از هر ۲ تا ۳ متر حفاری خواهد بود. برای نمونه‌برداری از مغزه‌ها، مغزه به وسیله دستگاه برش به صورت طولی بریده می‌شود و نمونه‌برداری از یک‌دوم تا یک‌چهارم مغزه انجام می‌گیرد.

- در کانسارهای رگه‌ای، لایه‌ای یا عدسی شکل حفر ترانشه‌های اکتشافی عمود بر گسترش طولی به فواصل ۵۰ متر و حفر گمانه‌های اکتشافی شیب‌دار بر روی ترانشه‌های مذکور به اعماق ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ متری همراه با برداشت زمین‌شناسی حفريات و نمونه‌برداری سیستماتیک به روش شیاری در ترانشه‌ها و فواصل نمونه‌برداری‌ها بر اساس تغییرات لیتولوژی است.

- مطالعات درزه‌نگاری و ژئومکانیکی بر روی نمونه‌های گمانه‌ها و ترانشه‌ها، مطالعات چاه‌پیمایی و اندازه‌گیری وزن مخصوص نمونه‌ها

۵-۶- آماده‌سازی و تجزیه‌های آزمایشگاهی

آماده‌سازی نمونه و انجام آزمایش‌های شیمیایی بر روی نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌ها و گمانه‌های اکتشافی برای عناصر نادر خاکی و عناصر پاراژنز به یکی از روش‌های ICP-MS یا ICP-EOS و یا NAA انجام می‌گیرد. در این مرحله غلظت کلیه عناصر نادر خاکی LREEs یا HREEs و یا MREEs تعیین می‌شود.

۵-۷- مطالعات کانی‌شناسی

در این مرحله مطالعات مینرالوگرافی، کانی‌شناسی، پراش اشعه ایکس و پتروگرافی بر روی نمونه‌های برداشت شده از رخنمون‌های سنگی و زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی در ترانشه‌ها و گمانه‌های اکتشافی انجام می‌شود. انجام مطالعات میکروسکوپ الکترونی یا الکترون میکروسکوپ بر روی کانی‌های حاوی عناصر نادر خاکی ضروری است.

۵-۸- مطالعات فرآوری

در این مرحله، فرآوری در مقیاس پیشاهنگ بر روی یک یا دو نمونه معرف از کانسنگ انجام می‌گیرد.

۵-۹- پردازش داده‌ها

در این مرحله مطالعات آماری و زمین‌آماري، منحنی عیار-تناژ، ارزیابی ذخیره و عیار هر یک از عناصر نادر خاکی و مجموع آن‌ها، رده‌بندی ذخیره، مطالعات اقتصادی، بررسی امکان‌سنجی بر حسب دقت پروژه، محاسبه هزینه‌های اکتشافی انجام شده برای تهیه طرح استخراجی انجام می‌شود.



۵-۱۰- مطالعات آب زمین شناسی

در این مرحله مطالعات منابع آب در محدوده کانسار انجام می‌گیرد.

۵-۱۱- مطالعات زیست محیطی

این مطالعات شامل تعیین عناصر و ترکیبات مضر احتمالی کانسار، تجزیه شیمیایی عناصر مضر و تعیین میزان آلودگی منابع آب آشامیدنی در محدوده عملیات معدنی به همراه تعیین منابع آلودگی و راه‌های پیشگیری از آن است. با توجه به ترکیب عناصر نادر خاکی و وجود عناصری مانند Th و U، تاثیرات رادیوژنیک آن‌ها باید مورد مطالعه قرار گیرد. اثرات زیست محیطی فعالیت‌های بهره‌برداری و همچنین فعالیت‌های فرآوری و استحصال عناصر نادر خاکی بر محیط زیست باید مورد ارزیابی قرار گیرد و راه‌های جلوگیری از اثرات زیست محیطی آن‌ها مشخص شود.

۵-۱۲- تعبیر و تفسیر نتایج

در این مرحله کلیه نتایج مطالعات اکتشافی، تلفیق شده و داده‌ها به روش‌های کلاسیک و آماری تحلیل می‌شود.

۵-۱۳- گزارش نهایی مرحله اکتشاف تفصیلی

سرفصل‌ها و بخش‌های گزارش مرحله اکتشاف تفصیلی عناصر نادر خاکی به ترتیب زیر توصیه می‌شود.

۵-۱۳-۱- چکیده

چکیده باید شامل خلاصه‌ای از کلیه بررسی‌های انجام شده تا نتیجه‌گیری نهایی باشد.

۵-۱۳-۲- فهرست‌ها

الف- فهرست مطالب

ب- فهرست شکل‌ها

پ- فهرست جدول‌ها

ت- فهرست نمادها

۵-۱۳-۳- مقدمه

مقدمه باید شامل تعریف، هدف، سوابق پروژه، روش تحقیق، انجام مطالعات و نتایج آزمایشات باشد.



۵-۱۳-۴- خلاصه عملیات انجام شده در مراحل شناسایی، پی جویی و اکتشاف عمومی

۵-۱۳-۵- اطلاعات کلی منطقه

- الف- موقعیت جغرافیایی
- ب- وضعیت آب و هوایی
- پ- وضعیت راهها
- ت- وضعیت اجتماعی

۵-۱۳-۶- زمین شناسی محدوده معدنی

- الف- زمین شناسی ناحیه‌ای
- ب- زمین شناسی محدوده معدنی (محدوده نقشه) شامل چینه شناسی و سنگ شناسی
- پ- نوع، امتداد، شیب و لغزش هر یک از گسلها و عملکرد آنها
- ت- زمین شناسی ساختاری محدوده معدنی
- ث- دگرسانی
- ج- کانی سازی (نوع و کنترل کننده های کانی سازی و تغییرات کانی شناسی کانی های نادر خاکی)

۵-۱۳-۷- عملیات اکتشافی

- الف- تهیه نقشه توپوگرافی-زمین شناسی
- ب- جاده سازی و ایجاد راههای دسترسی
- پ- طراحی شبکه حفاریات شامل ترانشه ها و گمانه های اکتشافی (چاهک در مورد پلاسرها)
- ت- برداشت زمین شناسی ترانشه ها، گمانه ها و نمونه برداری از آنها
- ث- تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی، کانی شناسی، دگرسانی و نظایر آنها
- ج- نتایج برداشت های ژئوفیزیکی
- چ- درزه نگاری و مطالعات ژئومکانیکی
- ح- چاه پیمایی
- خ- تعیین وزن مخصوص و عیار (تک تک و مجموع عناصر نادر خاکی)

۵-۱۳-۸- برآورد ذخیره

- الف- مدلسازی پیکره کانسار
- ب- تهیه مدل بلوکی
- پ- تعیین عیار حد، عیار حد بهینه و منحنی تناژ-عیار



ت- تخمین ذخیره به روش‌های کلاسیک و زمین آمار

۵-۱۳-۹- مطالعات آب‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی

الف- بررسی سطح ایستابی، آب‌های ورودی آبخوان‌ها و شرایط آب‌زمین‌شناسی

ب- ویژگی‌های آبخوان‌ها (نظیر ضریب تراوایی، ضریب مخزن، ضریب انتقال، گسل‌ها و نظایر آن‌ها)

پ- کیفیت منابع آب صنعتی و آشامیدنی

چ- تخمین شدت جریان آب ورودی به محدوده معدن در مراحل مختلف استخراج

۵-۱۳-۱۰- نتایج مطالعات ژئومکانیکی

الف- ویژگی‌های فیزیکی ماده معدنی-باطله و سنگ میزبان (وزن مخصوص، اندازه و پراکندگی دانه‌ها، تخلخل، نفوذپذیری و

نظایر آن‌ها)

ب- ویژگی‌های ژئومکانیکی سنگ‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و برجا از قبیل مقاومت و تغییر شکل‌پذیری

پ- زون‌بندی مهندسی رفتار سنگ‌ها در محدوده کانسار

۵-۱۳-۱۱- تکمیل و ارایه کلیه داده‌های مورد نیاز برای طراحی استخراجی و ارایه خلاصه نتایج طراحی پایه

در صورت لزوم

۵-۱۳-۱۲- نتایج مطالعات کانه‌آرایی

الف- در مقیاس آزمایشگاهی

ب- در مقیاس پایه

۵-۱۳-۱۳- ارایه خلاصه نتایج مطالعات امکان‌سنجی

الف- مطالعات طراحی معدن

ب- مطالعات فرآوری

پ- برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای و جاری

ت- مطالعات بازار

ث- پیش‌بینی قیمت و برآورد درآمد

ج- موارد حقوقی، مالکیت و قانونی

چ- مسایل مالی و مالیات

ح- تأثیرات زیست‌محیطی

خ- تجزیه و تحلیل اقتصادی



۵-۱۳-۱۴- نتایج مطالعات زیرساخت‌ها

- الف- فرهنگی
- ب- اجتماعی
- پ- سیاسی
- ت- اقتصادی

۵-۱۳-۱۵- نتایج مطالعات زیست‌محیطی

- الف- تعیین عناصر و ترکیبات مضر احتمالی کانسار به ویژه عناصر پرتوزا
- ب- ارزیابی تاثیرات زیست‌محیطی عملیات استخراجی و به ویژه فرآوری
- پ- تعیین منابع آلودگی و راه‌های پیشگیری و کنترل آنها

۵-۱۳-۱۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- الف- تلفیق کلیه بررسی‌های انجام شده
- ب- تعبیر و تفسیر نتایج
- پ- نتیجه‌گیری نهایی
- ت- پیشنهادات برای تجهیز و بهره‌برداری از کانسار

۵-۱۳-۱۷- فهرست منابع

- فارسی و غیر فارسی

۵-۱۳-۱۸- پیوست‌ها

- الف- لیست نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها، مطالعات پتروگرافی، کانی‌شناسی، مینرالوگرافی، میکروسکوپ الکترونی، مطالعات فرآوری، زمین‌شناسی و ژئوتکنیک
- ب- نقشه‌ها، نیمرخ‌ها و نمودارهای حفاری
- پ- نقشه آب‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی
- ت- جدول‌ها

جدول ۵-۱- چک‌لیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله اکتشاف تفصیلی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس - میزان | نوع کانی‌سازی |
|------|--|---------------------------------|---------------------------------|
| ۱ | جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد بانک اطلاعاتی | ۱:۱۰۰,۰۰۰، ۱:۵۰,۰۰۰ یا ۱:۲۵,۰۰۰ | انواع کانی‌سازی عناصر نادر خاکی |

ادامه جدول ۵-۱- چکلیست فهرست خدمات اکتشاف عناصر نادر خاکی در مرحله اکتشاف تفصیلی

| ردیف | نوع عملیات | مقیاس- میزان | نوع کانی سازی |
|------|--|---|---|
| ۲ | برنامه ریزی برای اکتشاف مرحله تفصیلی | ۱:۲۰۰۰، ۱:۱۰۰۰ یا ۱:۵۰۰ در محدوده کنسار به گسترش چند ده هکتار تا چند صد هکتار | در کنسارهای کربناتیته حدود چند کیلومتر مربع، در کنسارهای رگه ای یا ماگمایی آلکان ۲۰۰-۳۰۰ هکتار |
| ۳ | تهیه نقشه های توپوگرافی | ۱:۲۰۰۰ یا ۱:۱۰۰۰ یا ۱:۵۰۰ در محدوده کنسار | در کنسارهای کربناتیته تا چندین کیلومتر مربع در کنسارهای ماگمایی آلکان ۲۰۰-۳۰۰ هکتار در کنسارهای پلاستی چندین کیلومتر مربع |
| ۴ | تهیه نقشه زمین شناسی، مطالعات درزه نگاری و تهیه نقشه دگرسانی | ۱:۲۰۰۰ یا ۱:۱۰۰۰ یا ۱:۵۰۰ در محدوده کنسار | در کنسارهای کربناتیته چندین کیلومتر مربع در کنسارهای ماگمایی آلکان ۲۰۰-۳۰۰ هکتار در کنسارهای پلاستی چندین کیلومتر مربع |
| ۵ | حفر ترانشه های اکتشافی همراه با برداشت زمین شناسی و نمونه برداری سیستماتیک | به فواصل ۵۰ متر عمود بر گسترش کانی سازی | در کنسارهای کربناتیته- ماگمایی آلکان، هوازده برجا و رگه ای |
| ۶ | حفر ترانشه های اکتشافی همراه با برداشت زمین شناسی و نمونه برداری سیستماتیک | به فواصل ۵۰ متری به صورت شیب دار در شبکه های ۵۰×۵۰ متری و به صورت عمودی | در کنسارهای رگه ای و عدسی شکل تا لایه ای و شبکه رگچه ای |
| ۷ | آماده سازی و تجزیه نمونه ها | به یکی از روش های ICP-OES ICP-MS و NAA | برای عناصر نادر خاکی و سایر عناصر هم پاراژنز |
| ۸ | مطالعات مینرالوگرافی، کانی شناسی، پتروگرافی، تعیین وزن مخصوص کانسنگ و نمونه های ترانشه و مغزه ها | از ترانشه ها، گمانه ها و رخنمون های کانی سازی و سنگی | انواع کانی سازی عناصر نادر خاکی |
| ۹ | چاه پیمایی | - | در کنسارهای کربناتیته ماگمایی آلکان-سینیتی-گرانیت پگماتیته و رگه ای |
| ۱۰ | مطالعات فرآوری و تخلیص عناصر نادر خاکی | در مقیاس پیشاهنگ | انواع کنسارهای عناصر نادر خاکی |
| ۱۱ | مطالعات فنی و اقتصادی | | انواع کنسارهای عناصر نادر خاکی |
| ۱۲ | مطالعات آماری و زمین آماری- منحنی عیار- تناژ، محاسبات ذخیره | | انواع کنسارهای عناصر نادر خاکی |
| ۱۳ | گزارش نهایی مرحله اکتشاف تفصیلی و مطالعات امکان سنجی، روش های بهره برداری و تاسیسات فرآوری و آرایه پیشنهادها | | انواع کنسارهای عناصر نادر خاکی |





پیوست ۱

مشخصه‌های مهم تعدادی

از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی



جدول پ-۱ - مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|---|---|-------------|--|---|--|
| فلوسریت ^۱ | (Ce,La)F ₃ | هگزاگونال | ممکن است جمعاً ۷۰ درصد وزنی REEs داشته باشد. نسبت La/Lu حدود ۱:۱۰۰۰ | در پگماتیت‌ها | در شمال شرق سپر اوکراین به صورت انکلوزیون در داخل فلوریت و ایتروفلوریت شناسایی شده است. |
| فلوریت ^۲ (ایتروفلوریت و ایتروسریت) | CaF ₂ معمولاً حاوی مقدار اندکی عناصر نادر خاکی REEs و Y | مکعبی | مقدار عناصر REEs تا ۱۳٫۷ درصد وزنی گزارش شده است. | عناصر نادر خاکی سنگین HREEs در فلوریت گرانیت پگماتیتهای و لاتنانیدهای سبک در فلوریت سنگ‌های آذرین آلكالین | در این فلوریت‌ها اختصاصاً نسبت Tb/Ca به Tb/La را می‌توان به عنوان وجه تمایز فلوریت‌های گرمابی و رسوبی به کار گرفت. |
| گاگارنیت ^۳ | NaCa(F,Cl) | هگزاگونال | در آن غنی‌سازی از عناصر نادر خاکی گروه Y تا RE ₂ O ₃ ممکن است تا ۴۶٫۲ درصد باشد. | در گرانیت‌های آلیتی شده قزاقستان یا روسیه در آلیتیت که از کوارتز سینیت به دست آمده وجود دارد. | از گرانیت به طرف خارج و در سنگ‌های دگرگونی همبری مقدار HREEs افزایش می‌یابد. |
| آنسی لایت ^۴ | SrCe(CO ₃) ₂ OH.H ₂ O | ارتورومبیک | Ce ممکن است جانشین Sr شود و نسبت Sr/REEs است. | در پگماتیت‌ها بعضی از سنگ‌های آلكالین و در کربناتیت‌ها یافت می‌شود. | انتشار REEs در آنسی لایت کلسیم‌دار تا ۵۷٫۷۵ RE ₂ O ₃ گزارش شده است. معمولاً غنی‌شدگی در LREEs نشان می‌دهد. |
| بوربانکیت ^۵ | (Na,Ca,Sr,Ba,Ce) ₆ (CO ₃) ₅ | هگزاگونال | مقدار جانشینی عناصر REEs به جای Ca در ساختار آن تا ۲۲ درصد | در پگماتیت‌های بعضی از سنگ‌های آلكالین یافت می‌شود. | - |

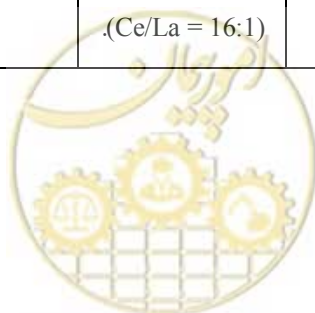
- 1- Fluocerite
- 2- Fluorite
- 3- Gagarnite
- 4- Ancykite
- 5- Burnankite



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|--|---|-------------|---|--|---|
| کالکینسیت ^۱ | $(Ce,La)_2(CO_3)_3 \cdot 4H_2O$ | ارتورومبیک | غنی‌شدگی از RE_2O_3 تا ۶۲٫۷۳ درصد در آن ممکن است وجود داشته باشد. | امکان دارد که از دگرگونی بوربانکیت حاصل شود. | - |
| اولدیت ^۲ | $Ba(Ca, Y, Na, K)(CO_3)_2$ | هگزگونال | مقدار $(Y, RE)_2O_3$ به ۷٫۷ درصد می‌رسد. | همراه با بوربانکیت در پگماتیت‌های آلکان یافت می‌شود. | غنی‌شدگی از Gd و Er به صورت جانشینی |
| لانتانیت ^۳ | $(La, Ce)_2(CO_3)_3 \cdot 8H_2O$ | ارتورومبیک | غنی‌شدگی از LREEs | به عنوان محصول دگرسانی آلانیت در یک پگماتیت و در کانسار باستاناتس سوئد به صورت پوشش سریت | - |
| گروه باستانزیت Bastensite هیدروکسیل باستانزیت La باستانزیت Y باستانزیت تور باستانزیت | $(Ce, La)(CO_3)F$ $Ce(CO_3)(OH, F)$ $(La, Ce)(CO_3)F$ $(Y, Ce, Dy)_9CO_3F$ $(Ca, REE)Th(CO_3)_2F_2 \cdot 3H_2O$ | هگزگونال | یکی از فراوان‌ترین کانی‌های عناصر نادر خاکی. مقداری از REEs ها به وسیله Ca و Th جانشین شده و دارای RE_2O_3 ۷٫۴۶ درصد است. | در خیلی از پگماتیت‌ها معمولاً همراه با آلانیت، سریت، فلوروسریت | معمولاً انتشار متعادل از LREEs و HREEs نشان می‌دهد. یک افزایش نسبی از سنگ‌های گرانیت، گرانیت پگماتیت تا گرمابی و سنگ‌های آلکان و کربناتیته مشاهده می‌شود. |
| سرپانیت ^۴ | $(Ce^{+4}, Th)O_2$ | مکعبی | سایر عناصر نادر خاکی نسبت به سریم Ce غلظت کمی دارند. (Ce/La = 16:1) | در داخل سنگ‌های کربناته و از دگرسانی باستانزیت تشکیل می‌شود. | محدودیت سایر عناصر نادر خاکی به علت جانشینی $Re^{+3} = Ce^{+4}$ است یعنی سایر عناصر نادر خاکی نمی‌توانند به جای Ce^{+4} بنشینند. |

- 1- Calkinsite
- 2- Ewaldite
- 3- Lantanite
- 4- Cerianite



ادامه جدول پ-۱ - مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|---|---|---|---|--|--|
| گروه پاریزیت پاریزیت کورددیلیت ^۱ روننگنیت ^۲ سین شزیت ^۳ | (Ce,La) ₂ Ca(CO ₃) ₃ F ₂ (Ce,La) ₂ F ₂ Ba(CO ₃) ₃ (Ce,La) ₃ Ca(CO ₃) ₅ F ₃ (Ce,La)Ca(CO ₃) ₂ F | هگزاگونال تری‌گونال هگزاگونال | در بعضی از مناطق نوع غنی از Y نیز گزارش شده است. تا ۵۰ درصد ممکن است (Ce,La) ₂ O ₃ داشته باشد. | در شیل‌های لایه‌ای کربناته در کانسار زمره ناحیه موزو، کلمبیا، در دودکش‌های پگماتیتهای و در گرانیت‌های آزرین-ریبگیت‌دار | از کانسارهای گرانیتی تا کربناتیتهای یک افزایش کمی در LREEs مشاهده می‌شود. |
| سری آشنیت-پریوریت ^۴ | (Ce,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb) ₂ (O,OH) ₆ (Y,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb) ₂ (O,OH) ₆ | ارتورومبیک | ترکیب این سری از آشنیت‌ها غنی از سریم تا به پریوریت غنی از Y تغییر می‌کند. غلظت کل عناصر نادر خاکی متغیر است. مقدار عناصر نادر خاکی این کانی‌ها را از ۱۶ تا ۳۶ درصد وزنی RE ₂ O ₃ برآورد می‌کنند. | معمولاً در گرانیت پگماتیتهای غنی از Y وجود دارد. در سنگ‌های آکالین از لانتانیدهای سبک غنی شده‌اند. | در آشنیت‌ها نیوبیم، آلومینیم، توریم، تیتانیم و تالیوم گزارش شده است. |
| سری اکسینیت-پلی‌کراز ^۵ | (Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆ | ارتورومبیک | در ساخت اکسینیت گروه Y کاملاً افزایش نشان می‌دهد. جانشینی B با جانشینی به جای Nb و Ta بین ۲۰ تا ۳۰ درصد (Y, RE) ₂ O ₃ دارد. | در پگماتیتهای گرانیتی و گاه در پلاسرها | رابطه‌ای بین ThO ₂ و TiO ₂ و عناصر نادر خاکی وجود ندارد. |

- 1- Cordylite
- 2- Roentgenite
- 3- Synchysite
- 4- Aseschynite-priorite series
- 5- Euxenite- polycrase series



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|----------------------------|---|-------------|--|--|--|
| رتزیان ^۱ | $Mn_2Y(AsO_4)(OH)_4$ | ارتورومبیک | کانی بسیار کمیابی که حاوی ۱۰/۳ درصد وزنی $(Y+RE)_2O_3$ است. | در دولومیت‌های معدن موس نوردمارک سوئد همراه با ژاکوبسیت ^۲ $(MnFe_2O_4)$ وجود دارد. | - |
| گروه پروفسکیت ^۳ | $CaTiO_3$ | مکعبی | کینوپیت ^۴ یک کانی گروه پروفسکیت با گروه سریم Ce و REEs با جانشینی به جای Ca و تا ۸ درصد دارای RE_2O_3 -لوپاریت ^۵ از کانی‌های گروه پروفسکیت ممکن است تا ۲۷ درصد RE_2O_3 داشته باشد. | به مقدار کم در سنگ‌های آلکان، پیروکسنیت‌ها و در کانسنگ آپاتیت-نفلین و پگماتیت‌های بازیک یافت می‌شود. | لوپاریت در نفلین‌سینیت و گاه در گرانیت‌های آلبیتی و گرایزنی شده وجود دارد. |
| آگاردیت ^۶ | $(Y,Ca)Cu_6(AsO_4)_3(OH)_6 \cdot 3H_2O$ | هگزاگونال | انتشار پیچیده عناصر نادر خاکی دارد. آگاردیت ۸/۷ درصد وزنی $(Y+RE)_2O_3$ و مقدار زیادی Y دارد. بیشترین مقدار REEs عنصر Nd است. | ابتدا در منطقه کوارتز آرنایت مراکش و در منطقه اکسیداسیون کانسار مس مشاهده شده و سپس در سایر مناطق نیز گزارش شده است. | - |

- 1- Retzian
- 2- Jacobsite
- 3- Provskite Group
- 4- Kinopite
- 5- Loparite
- 6- Agardite



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|---------------------------|--|-------------|---|--|---|
| برایت شیت ^۱ | $(Ca, Na)_7(Ce, La)_2B_{22}O_{43} \cdot 7H_2O$ | هگزاگونال | در یک گرهک در انیدریت در منطقه گرانند-پوتا حاوی RE_2O_3 ۱۸٫۳ درصد است. مقدار سریم آن حداکثر ۶٫۸۱ درصد و مقدار Y آن نیز حداکثر ۱٫۳۴ درصد است. | در شرایط رسوبی همراه با تشکیل انیدریت | - |
| گروه پیروکلر ^۲ | $A_2B_2O_6 (O, OH, F)$ | مکعبی | موقعیت A به وسیله اتم‌های K، U، و REEs و Na و موقعیت B به وسیله اتم‌های Ti و Nb, Ta اشغال می‌شوند. سه زیرگروه پیروکلر غنی از نیوبیم، پیروکلر غنی از تانتالیم و پیروکلر غنی از تیتانیم دارد. | در توده‌های آکالی سینیت، نفلین سینیت، گرانیت، پگماتیت و حاشیه گرانیت و دگرسانی مجاورتی و همچنین در کربناتیت‌ها | عموما در پیروکلرها عناصر REEs گروه Ce فراوان‌تر است (تا ۱۳ درصد RE_2O_3). در کربناتیت‌ها معمولا بیشتر از ۲ تا ۳ درصد اکسید سریم ندارد و مقدار Nd آن بیش از La است. |
| چوکرویت ^۳ | $Ca_3(Y, Ce)Al_2(SO_4)F_{13} \cdot 10H_2O$ | مکعبی | ترکیب عناصر نادر خاکی پیچیده دارد. ۱۸٪ وزنی RE_2O_3 با حداکثر ۲٫۷٪ Ce_2O_3 و مقداری بیشینه از Y_2O_3 دارد. | در منطقه اکسیداسیون کانسار مولیبدن-تنگستن قزاقستان یافت می‌شود. | - |

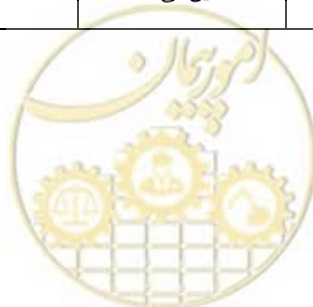
- 1- Braitschite
2- Pyrochlore group
3- Chukhrovite



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|------------------------------|---|-------------|--|---|---------------|
| آلانیت (اورتیت) ^۱ | $(Ce, CaY)_2 (Al, Fe^{+2}, Fe^{+3})_3 (SiO_4)_3 OH$ | منوکلینیک | یک کانی غنی از سریم گروه اپیدوت است. ترکیب آن مرتبط با جانشینی $Ca=REE$ و $Al=Fe^{+3}$ است. یکی از کانی‌هایی که ترکیب عناصر نادر خاکی آن منعکس‌کننده مقدار REEs در زمان تفریق ماگمایی است. | یک کانی فرعی در خیلی از گرانیت-گرانودیوریت مونزونیت و یا سینیت‌ها است. به مقدار کم در بعضی از شیل‌ها (نوادا) نیز یافت می‌شود. | - |
| اودیالیت ^۲ | $(Ca, Na, Ce)_5 (Zr, Fe)_2 Si_6 (O, OH, Cl)_{20}$ | تریگونال | یک سیلیکات Zr, Ca و Na است که در آن جانشینی Na با Ca یا عناصر نادر خاکی همراه با جانشینی بخشی O با OH و Cl انجام می‌گیرد. ترکیب پیچیده‌ای از عناصر نادر خاکی دارد و ممکن است تا ۶٫۴ درصد وزنی RE_2O_3 داشته باشد. معمولاً در آن مقدار گروه سریم مقدار بیشتر عناصر نادر خاکی را تشکیل می‌دهد. | عمدتاً در نقلین سینیت یا در پگماتیت‌های آن در ارتباط با میکروکلین، نقلین و اژرین و سایر کانی‌ها یافت می‌شوند. | - |

1- Allanite (Orthite)
2- Eudialyte



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|------------------------|-----------------------------------|-------------|--|---|--|
| گادولینیت ^۱ | $(Y, REE)_2Fe^{+2}Be_2Si_2O_{10}$ | مونوکلینیک | بخشی از سیستم سه‌تایی $Fe^{+2}RE^{+3}Be_2Si_2O_{10}$ (گادولینیت) و $Fe^{+3}RE^{+2}CaBe_2Si_2O_{10}$ (کالسیوگادولینیت) و $H_2RE^{+2}Be_2Si_2O_{10}$ است که در بیشتر تجزیه‌ها ترکیبی نزدیک گادولینیت نشان می‌دهند. | در گرانیته‌ها و پگماتیت‌های گرانیته یافت می‌شود و اغلب همراه فلوریت و آپاتیت است. | گادولینیت‌های غنی شده از Y در گرانیته و سنگ‌های پگماتیتهی آلکالن یافت می‌شود که اغلب آنومالی منفی Eu نشان می‌دهند. |
| توریت ^۲ | $ThSiO_4$ | تتراگونال | مقدار عناصر نادر خاکی آن معمولاً در حد چندین درصد و معمولاً بیشتر عناصر نادر خاکی گروه سرییم است. گاه مقدار آن در کانی توریت تا ۲۰ درصد وزنی RE_2O_3 می‌رسد. | دارای گسترش زیاد در پگماتیت‌ها، مناطق دگرسان شده، در آهک‌های ناخالص، در رگه‌های گرمایی و در کانسارهای رسوبی هوازدگی | در پگماتیت توریت‌دار مقدار Y ممکن است قابل توجه باشد. |

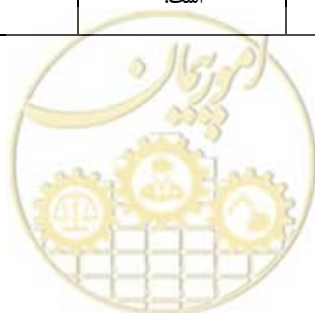
- 1- Gadolinite
2- Thorite



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|------------------------------|-----------------------|-------------|---|---|--|
| اسفن یا تیتانیت ^۱ | CaTiOSiO ₄ | مونوکلینیک | یک کانی فرعی عمدتاً در سنگ‌های آذرین اسیدی (گرانیت، سینیت) و همچنین در شیست، گنیس و سایر سنگ‌های دگرگونی است و ممکن است به عنوان جذب‌کننده یا تغلیظ‌کننده عناصر نادر خاکی باشد. در اغلب اسفن‌ها مقدار بسیار کم و جزیی عناصر نادر خاکی ممکن است وجود داشته باشد. | در گرانیت، آلکالی پگماتیت، سنگ‌های آذرین آلکالن، گابرو، پیروکسنیت و گرانودیوریت | در آلکالی پگماتیت، به طرف گرانیت-گرانیت پگماتیت میانگین مقدار عناصر نادر خاکی سبک LREEs کاهش و مقدار محتوی عناصر نادر خاکی سنگین افزایش می‌یابد. |
| زیرکن ^۲ | ZrSiO ₄ | تتراگونال | هم‌ساختار با زنونیم (YPO ₄) است. در زیرکن مقدار کمی عناصر نادر خاکی به صورت جانشینی ایزومورف وارد می‌شوند. $Y^{+3} + P^{+5} \leftrightarrow Zr^{+4} + Si^{+4}$ مقدار عناصر نادر خاکی گروه Y در زیرکن غالب است. | به صورت کانی فرعی در سنگ‌های گرانیتی و سینیتی و نفلین‌سینیتی یافت می‌شود. | - |

1- Titanite- Sphe
2- Zircon



ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|--------------------------|---|-------------|--|--|--|
| تورتویتیت ^۱ | (Sc, Y)Si ₂ O ₇ | مونوکلینیک | سیلیکات اسکاندیم که مقداری از آن به شکل ایزومورف با Y جانشین می‌شود. گاه حاوی مقداری HREEs است و گاه تا حدود ۱۷ درصد (Y+RE) ₂ O ₃ دارد. گاه حاوی مقدار زیادی Yb است. | در گرانیت پگماتیت اغلب به همراه روتیل، مونازیت، بریل و بیوتیت یافت می‌شود. | - |
| گروه آپاتیت ^۲ | A ₅ (XO ₄) ₃ (F, OH, Cl) | هگزاگونال | به جای A عناصر Ca, Be, Ce, Pb و به جای X عناصر P و As قرار می‌گیرد. فراوان‌ترین کانی این گروه فلوئوروآپاتیت (Ca ₅ (PO ₄) ₃ F) است. آپاتیت یک کانی جزئی عمومی در خیلی از سنگ‌ها و معمولاً فراوان‌ترین کانی فسفردار است. مقدار REEs فلوئوروآپاتیت در سنگ‌های آذرین آلکان در حد چند دهم درصد و ممکن است به ۱۲ درصد وزنی نیز برسد. | آپاتیت در سنگ‌های آذرین اولترابازیک، بازیک و آلکان یافت می‌شود. در این سنگ‌ها بیشتر عناصر نادر خاکی گروه سریم وجود دارد، در صورتی که در سنگ‌های گرانیتی و گرانیت پگماتیت محدوده وسیعی از عناصر نادر خاکی وجود دارد. در آپاتیت یا فسفریت‌های رسوبی مقدار Ce کاهش و مقدار Nd یا La افزایش نشان می‌دهد. | در بعضی از آپاتیت‌هایی که در شرایط ماگمایی متاسوماتیک تشکیل می‌شوند ممکن است کلروآپاتیت نیز تشکیل شود. |



1- Thortveitite
2- Apatite

ادامه جدول پ-۱- مشخصه‌های مهم تعدادی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی

| نام کانی | ترکیب شیمیایی | سیستم بلوری | ترکیب عناصر نادر خاکی REEs | شرایط تشکیل | اختصاصات ویژه |
|----------------------|------------------------|---|--|--|---|
| مونازیت ^۱ | (Ce,La)PO ₄ | مونوکلینیک | ارتوفسفات‌های La, Ce, Pr, Nd, Sm و Eu ساختار نوع مونازیت و ارتوفسفات‌های عناصر Ho Y, Er, Tm, Yb, Lu ساختار تتراگونال زینتیم دارند. ساختار مونازیت، عناصر نادر خاکی که شعاع یونی آن‌ها بین La و Eu قرار دارند را می‌پذیرد. Th معمولاً در مونازیت وجود دارد و به صورت جانشینی به جای عناصر نادر خاکی قرار می‌گیرد و تا ۱۳ درصد وزنی می‌گیرد و تا ۱۳ درصد وزنی دارد. ThO ₂ دارد. | مونازیت بسیار پراکنده است و عمدتاً به صورت کانسارهای پلاسری و ماسه‌های ساحلی و در پگماتیت‌های گرانیتی، سینیتی و سنگ‌های دگرگونی و کانسارهای رگه‌ای یافت می‌شود. ممکن است به مقدار جزئی در گرانیت و سنگ‌های آلكالی و کربناتیت نیز یافت شود. | مونازیت سنگ‌های آلكالن و کربناتیت‌ها، مشخصاً غنی‌تر از (La+Ce+Pr) در مقایسه با سنگ‌های گرانیتی و گرانیت پگماتیت‌ها هستند. |
| زینوتیم ^۲ | YPO ₄ | تتراگونال دارای ساختار بلورین مشابه زیرکن | فراوان‌ترین کانی از سیستم YPO ₄ -YASO ₄ (چرنوویت ^۳) و YVO ₄ (واکه‌فیلدیت ^۴) است. یک کانی نسبتاً فراوان با گسترش زیاد و یکی از کانی‌های مهم عناصر نادر خاکی است. زینوتیم‌های گرانیتی مقادیر بیشینه‌ای از Dy و زینوتیم‌های پگماتیتی مقادیر بیشینه‌ای از Yb دارند. | به مقدار کم در سنگ‌های اسیدی و آلكالن آذرین، پگماتیت‌ها، سنگ‌های دگرگونی، رگه‌های آلپینی و گاه پلاسری یافت می‌شود. | زینوتیم کاملاً ترکیب منطقه‌ای REEs نشان می‌دهد. عناصر نادر خاکی سبک به صورت لایه‌ای در حاشیه دانه‌ها تجمع پیدا می‌کنند در صورتی که در بخش داخلی بلور آن مقدار عناصر نادر خاکی سبک کاهش پیدا می‌کند. |

- 1- Monazite
- 2- Xenotime
- 3- Chernovite
- 4- Vakefieldite



پیوست ۲

مقدار انتشار عناصر نادر خاکی

در کانی‌های اصلی حاوی عناصر نادر خاکی



جدول پ-۲- مقدار انتشار عناصر نادر خاکی در کانی‌های اصلی حاوی عناصر نادر خاکی

| موناژیت ^a | باستنیت ^b | زینوتیم ^c | آپاتیت ^d | کانه |
|--------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------|
| REO(%) (RE, Th, Y)PO ₂ | REO(%) RE(CO ₂)F | REO(%) (Y, RE)PO ₂ | REO(%) (Ca, RE) ₂ {(P, Si)O ₂ }(O, F) | ترکیبات شیمیایی |
| ۲۳٫۷ | ۳۳٫۲ | ۰٫۵ | ۲۵٫۱ | La ₂ O ₃ |
| ۴۵٫۶ | ۴۹٫۱ | ۵ | ۴۵٫۰۴ | CeO ₂ |
| ۵ | ۴٫۳ | ۰٫۷ | ۳٫۹ | Pr ₄ O ₁₁ |
| ۱۷٫۲ | ۱۲ | ۲٫۲ | ۱۴ | Nd ₂ O ₃ |
| ۲٫۵ | ۰٫۷۸ | ۱٫۹ | ۱٫۶ | Sm ₂ O ₃ |
| ۰٫۰۵ | ۰٫۱۱ | ۰٫۲ | ۰٫۵ | Eu ₂ O ₃ |
| ۹۴٫۰۵ | ۹۹٫۴۹ | ۱۰٫۵ | ۹۰٫۱ | Light REO total |
| ۱٫۵ | ۰٫۱۷ | ۴ | ۱٫۵ | Gd ₂ O ₃ |
| ۰٫۰۴ | ۰٫۰۱۶ | ۱ | ۰٫۱ | Tb ₄ O ₇ |
| ۰٫۶۸ | ۰٫۰۳۱ | ۸٫۷ | ۱ | Dy ₂ O ₃ |
| ۰٫۰۵ | ۵۰ (ppm) | ۲٫۱ | ۰٫۱ | Ho ₂ O ₃ |
| ۰٫۲۱ | ۳۵ (ppm) | ۵٫۴ | ۰٫۱۵ | Er ₂ O ₃ |
| ۰٫۰۲ | ۸ (ppm) | ۰٫۹ | ۰٫۰۲ | Tm ₂ O ₃ |
| ۰٫۱۲ | ۱۳ (ppm) | ۶٫۲ | ۰٫۰۸ | Yb ₂ O ₃ |
| ۰٫۰۴ | ۱ (ppm) | ۰٫۴ | - | Lu ₂ O ₃ |
| ۲٫۴ | ۰٫۰۹ | ۶۰٫۸ | ۴٫۳ | Y ₂ O ₃ |
| ۰٫۰۶ | ۰٫۳۱۸ | ۸۹٫۶ | ۷٫۲۵ | Heavy REO total |
| %۵۵-۶۰ | %۶۰-۷۰ | %۴۲-۵۱ | <%۱ | Total REO در کنسانتره تجاری |

منابع: a: یوکانیا موناژیت، کاپ وسترن - استرالیا-b: کنسانتره باستانزیت، مونتاژ پاس - c: زینوتیم - مالزی-d: آپاتیت - شبه جزیره کولا



خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان ضابطه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی nezamfanni.ir قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی



Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

List of Services for Rare Earth Elements (REEs) Exploration

No. 648

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral
Industries
Office for Mining Supervision and
Exploitation

<http://mimt.gov.ir>



omoorepeyman.ir

این ضابطه

معیارها و فهرست خدمات مورد نیاز برای شناخت و اکتشاف عناصر نادر خاکی را بر حسب مراحل چهارگانه اکتشافی با هدف ارایه دستورالعمل جامع و یکسان و کاهش ریسک عملیات اکتشافی بیان می‌کند.

ساختار و عناوین مورد نیاز برای تهیه گزارش‌های پایان مراحل چهارگانه مطالعات اکتشاف عناصر نادر خاکی از دیگر موارد مندرج در این ضابطه است.

