

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان برنامه و بودجه کشور

# دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی

ضابطه شماره ۷۷۴

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

<http://minecriteria.mimt.gov.ir>


سازمان برنامه و بودجه کشور  
معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی  
امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

۱۳۹۸





شماره:	۹۸/۴۸۵۵۳۱	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۸/۰۹/۰۲	
موضوع: دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی		
<p>در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، نظام فنی و اجرایی یکپارچه و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۷۷۴ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران؛ با عنوان « <b>دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی</b> » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۹/۰۱/۰۱ الزامی است.</p> <p>ضوابط و معیارها در حدود مشخص شده در این ضابطه، با توجه به شرایط خاص کار مورد نظر تعیین و مبنای عمل می‌باشد. در مورد پروژه‌هایی که از محل سرمایه‌گذاری بخش غیر دولتی تامین اعتبار می‌شوند، لازم است حدود انتخابی معیارهای یادشده در مرحله ارجاع کار تعیین و به تایید سرمایه‌پذیر برسد.</p> <p>امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.</p>		
<p>محمد باقر نوبخت</p> 		







## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: [sama.nezamfanni.ir](http://sama.nezamfanni.ir)
- ۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.
- ۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.
- ۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
- ۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.
- ۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.

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 می شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران.

Email: [nezamfanni@mporg.ir](mailto:nezamfanni@mporg.ir)

web: [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)





نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷، 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 براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران، تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

با توجه به نقش اکتشاف منابع و ذخایر معدنی جدید در توسعه پایدار معدن، استفاده از روش‌های علمی و فنی در مطالعات اکتشافی مهم و ضروری است.

با در نظر گرفتن اهمیت و کاربرد روش‌های اکتشاف ژئوشیمیایی در کشف منابع و ذخایر معدنی جدید و واگذاری انجام پروژه‌های اکتشافات ژئوشیمیایی به شرکت‌های خصوصی و مهندسان مشاور، استفاده از الگوها و دستورالعمل‌های فنی در مراحل مطالعه، طراحی و اجرای پروژه‌های اکتشافی ژئوشیمیایی ضرورت دارد که این نشریه به همین منظور تهیه شده است.

مهم‌ترین اهداف مرحله اکتشاف بزرگ‌مقیاس به روش هیدروژئوشیمیایی به شرح زیر است:

- الف- تشخیص و تعیین زون‌های آنومالی مرتبط با فرآیند کانی‌سازی
- ب- شناسایی و تعیین رابطه آنومالی‌های واقعی با زون‌های احتمالی کانی‌سازی
- پ- تعیین و شناسایی توده‌های احتمالی کانی‌سازی مانند کانسارهای پورفیری و نظایر آنها
- ت- شناسایی و تعیین ارتباط زون‌های آنومالی با اندیس‌ها، رگه‌ها، زون‌های دگرسانی و دیگر پدیده‌های کانی‌سازی و زمین‌شناسی

ث- مشخص کردن زون‌های پتانسیل‌دار برای مراحل بعدی اکتشاف

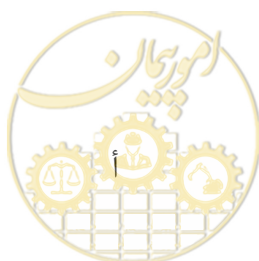
ضابطه حاضر با عنوان "دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی" در قالب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است.

با همه تلاش‌های انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که امید است، کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آنها را فراهم آورد.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

زمستان ۱۳۹۸





## تهیه و کنترل «دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی»

[ نشریه شماره ۷۷۴ ]

### مجری طرح

جعفر سرقینی معاون امور معادن و صنایع معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت

### اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقارمضانعلی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع- سازمان برنامه و بودجه کشور
عباسعلی ایروانی	کارشناس ارشد مدیریت کارآفرینی (کسب و کار) - وزارت صنعت، معدن و تجارت
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
محمد پریزادی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان برنامه و بودجه کشور
عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
علیرضا غیاثوند	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن

### اعضای کارگروه اکتشاف به ترتیب حروف الفبا

علی اصغرزاده	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران
محمد پریزادی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان برنامه و بودجه کشور
نعمت‌الله رشیدنژادعمران	دکترای پترولوژی- دانشگاه تربیت مدرس
بهزاد مهربانی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه خوارزمی

### اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

علی اصغر خدایاری	دکترای مدیریت صنعتی- دانشگاه تهران
علیرضا غیاثوند	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
بهرام رضایی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهزاد مهربانی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه خوارزمی

### اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
مهديه اسکندری	کارشناس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی

پیش‌نویس این نشریه توسط آقای دکتر محسن رضایی تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه

اکتشاف، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - کلیات
۳	۱-۱- تعاریف و مفاهیم
۳	۲-۱- اصول روش هیدروژئوشیمیایی
۴	۳-۱- محدودیت‌های روش
۷	فصل دوم - مبانی اکتشافات هیدروژئوشیمیایی
۹	۱-۲- آشنایی
۹	۲-۲- ژئوشیمی یون‌های اصلی
۱۰	۳-۲- اهداف اکتشافی
۱۱	۴-۲- معرفی شاخص‌های کانه‌زایی (عناصر معروف) در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی
۱۱	۱-۴-۲- کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانی
۱۱	۲-۴-۲- کانسارهای تیپ مس - مولیبدن پورفیری
۱۱	۳-۴-۲- کانسارهای تیپ رسوبی - بیرون‌دمی
۱۲	۴-۴-۲- کانسارهای طلا
۱۲	۵-۴-۲- کانسارهای تیپ نیکل - مس و عناصر گروه پلاتین (Ni-Cu-PGE)
۱۲	۶-۴-۲- کیمبرلیت‌های الماس‌دار
۱۲	۷-۴-۲- اورانیوم
۱۳	۸-۴-۲- کانسارهای تیپ اپی‌ترمال
۱۳	۹-۴-۲- کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی
۱۳	۱۰-۴-۲- کانسارهای تیپ اسکارن
۱۴	۵-۲- درجه اشباع (حلالیت)، گونه‌زایی و تحرک فلزات
۱۴	۶-۲- فرآیند انحلال و تشکیل هاله‌های هیدروژئوشیمیایی
۱۵	فصل سوم - نمونه‌برداری
۱۷	۱-۳- آشنایی
۱۷	۲-۳- محیط نمونه‌برداری
۱۷	۱-۲-۳- آب‌های سطحی
۱۸	۲-۲-۳- آب‌های زیرزمینی
۱۹	۳-۳- زمان نمونه‌برداری
۱۹	۴-۳- شیوه نمونه‌برداری
۲۰	۱-۴-۳- تجهیزات اندازه‌گیری صحرائی
۲۰	۲-۴-۳- مواد شیمیایی مورد نیاز در عملیات صحرائی
۲۱	۳-۴-۳- تعداد و حجم نمونه



۲۳	<b>فصل چهارم - آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها</b>
۲۵	۱-۴- آشنایی
۲۵	۲-۴- آماده‌سازی
۲۵	۱-۲-۴- فیلتر کردن نمونه‌ها
۲۵	۲-۲-۴- نمونه‌های فیلتر نشده
۲۶	۳-۲-۴- کنترل و تضمین کیفیت (QA/QC)
۲۶	۳-۴- تجزیه شیمیایی
۲۶	۱-۳-۴- آنیون‌ها
۲۷	۲-۳-۴- تجزیه کاتیون‌ها
۲۷	۳-۳-۴- اندازه‌گیری قلیابیت
۲۸	۴-۳-۴- تجزیه طلا و گروه پلاتین
۲۹	<b>فصل پنجم - تجزیه و تحلیل داده‌ها و نحوه ارائه نتایج</b>
۳۱	۱-۵- آشنایی
۳۱	۲-۵- نمودارهای تخصصی هیدروژنوشیمی
۳۱	۳-۵- بررسی آماری داده‌ها
۳۱	۴-۵- نقشه‌های هیدروژنوشیمیایی (آنومالی)
۳۱	۵-۵- بررسی نسبت یون‌ها
۳۳	۶-۵- بررسی شاخص‌های اشباع
۳۵	<b>فصل ششم - مراحل مختلف اکتشاف</b>
۳۷	۱-۶- آشنایی
۳۷	۲-۶- شناسایی اولیه
۳۷	۳-۶- گردآوری داده‌ها، گزارش‌ها و انتخاب محدوده مطالعاتی مناسب
۳۷	۴-۶- پردازش و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی
۳۷	۵-۶- مطالعات آب‌زمین‌شناسی
۳۸	۶-۶- تحلیل هیدروژنوشیمیایی اطلاعات موجود
۳۸	۷-۶- طراحی شبکه نمونه‌برداری
۳۹	۸-۶- نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی
۳۹	۹-۶- پردازش داده‌ها
۴۱	<b>فصل هفتم - تهیه گزارش پایانی</b>
۴۳	۱-۷- چکیده
۴۳	۲-۷- مقدمه
۴۳	۳-۷- فهرست
۴۳	۴-۷- فصل اول: مبانی نظری و مرور تحقیقات پیشین



۴۳  
۴۴  
۴۴  
۴۴  
۴۵  
۴۵

۷-۵- فصل دوم: مواد و روش‌ها  
۷-۶- فصل سوم: پردازش داده‌ها  
۷-۷- فصل چهارم: تفسیر نتایج  
۷-۸- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها  
۷-۹- فهرست منابع  
۷-۱۰- پیوست‌ها







# فصل ۱

---

## کلیات





## ۱-۱- تعاریف و مفاهیم

**ژئوشیمی اکتشافی:** بخشی از ژئوشیمی کاربردی که هدف آن یافتن نهشته‌های جدید فلزی، غیرفلزی، ذخایر نفت خام و گاز طبیعی است.

**اکتشافات هیدروژئوشیمیایی:** یکی از روش‌های ژئوشیمی اکتشافی که در آن از ویژگی‌های ژئوشیمیایی آب‌های زیرزمینی و سطحی برای شناسایی هاله‌های ژئوشیمیایی مرتبط با نهشته‌های کانساری استفاده می‌شود.

**هاله هیدروژئوشیمیایی:** پراکنش ژئوشیمیایی که در اطراف کانسارها در اثر واکنش با آب‌های زیرزمینی و سطحی رخ می‌دهد.

**هاله ژئوشیمیایی:** محدوده تغییرات غلظت عناصر در اطراف یک کانسار که تا حد مقدار زمینه است. زمینه: غلظت اولیه یک عنصر در یک محدوده

**آنومالی:** آنومالی تمرکز غیرعادی یک عنصر در پوسته زمین با غلظتی بیش از حد مقدار زمینه. در اکتشافات ژئوشیمیایی، آنومالی زمانی اهمیت دارد که مرتبط با کانی‌سازی باشد و از نظر زمین‌شناسی الگوی پراکنش معنی‌داری را نشان دهد.

**حد آستانه:** حداقل مقدار آنومالی در یک محدوده اکتشافی

**عنصر ردیاب:** عنصر نسبتاً محرکی که در ارتباط نزدیک با عنصر یا عناصر مورد اکتشاف و به آسانی قابل تشخیص است. سهولت تشخیص آن ممکن است هم به علت تشکیل هاله وسیع‌تر و هم به علت روش‌های تجزیه مناسب‌تر باشد. به عنوان مثال از عنصر آرسنیک به عنوان عنصر ردیاب برای اکتشاف طلا استفاده می‌شود.

## ۱-۲- اصول روش هیدروژئوشیمیایی

آب‌های سطحی و زیرزمینی، محیطی مناسب برای اکتشاف بسیاری از انواع کانی‌زایی است. فلزاتی که بیشتر در محیط آبی حمل می‌شوند، در آب آنومالی ایجاد می‌کنند. با مطالعه فاز محلول یا فاز جذب/رسوب داده شده در بار معلق و بار بستری می‌توان کانی‌سازی‌های پنهان را آشکارسازی کرد. در این روش اکتشافی، از اندرکنش بین سامانه آبی و محیط کانی‌سازی استفاده می‌شود. پیشرفت در شناخت فرآیندهای کانه‌ساز، واکنش‌های آب-سنگ، انتقال و رقیق‌شدگی فلزات در محیط ثانویه باعث افزایش کارآمدی روش اکتشافی هیدروژئوشیمیایی شده است. موفقیت در کاربرد این روش مستلزم شناخت ویژگی‌های هاله هیدروژئوشیمیایی عنصر یا عناصر ردیاب است. هاله‌های هیدروژئوشیمیایی جزو هاله‌های ثانویه انتقال‌یافته و رقیق شده به حساب می‌آیند. عواملی مانند خواص فیزیکی و شیمیایی عناصر مهاجر، ترکیب شیمیایی و میزان نفوذپذیری سازند در برگیرنده ماده معدنی، ساختار زمین‌شناسی، آب و هوا، توپوگرافی و جهت جریان آب زیرزمینی در تشکیل هاله هیدروژئوشیمیایی موثراند.



در اکتشاف کانسارها، مطالعات جهت‌دار با دیدگاه تعیین عناصر همراه با هر نوع کانی‌سازی اهمیت بالایی دارد. در روش اکتشاف هیدروژنوشیمیایی، باید به ویژگی‌های آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی توجه شود. روش اکتشاف هیدروژنوشیمیایی زمانی استفاده می‌شود که با روش‌های متداول اکتشافات ژئوشیمیایی نتوان کانسارهای پنهان را پیدا کرد و به آب‌های سطحی و زیرزمینی دسترسی کافی وجود داشته باشد. نفوذ آب‌های زیرزمینی به اعماق و واکنش با نهشته‌های معدنی عمیق و پنهان، منجر به افزایش عمق کاوش در مقایسه با سایر روش‌های ژئوشیمیایی می‌شود. از روش اکتشاف هیدروژنوشیمیایی برای اکتشاف مستقیم عناصری مانند Zn, Pb, Cu, Ni, Co, Mo و اکتشاف غیرمستقیم عناصری مانند Cr, U, Sn, W و Au استفاده می‌شود. عنصر اورانیم همراه با عناصر Rn و He نیز برای اکتشاف کانسارهای عناصر پرتوزا به کار می‌رود. امروزه برای اکتشاف کانسارهایی مانند کانسارهای سولفیدی چند فلزی، مس پورفیری، بورات و کانسارهای دارای کانی‌های سولفات و کلریدی از روش هیدروژنوشیمیایی به صورت موثر استفاده می‌شود.

استفاده از روش هیدروژنوشیمیایی در اکتشاف منابع معدنی در جهان در حال افزایش است و موارد زیادی از کاربرد موفق این روش اکتشافی در دنیا گزارش شده است. فرض اساسی در کاربرد این روش این است که با تجزیه شیمیایی نمونه آب (به ویژه آب‌های زیرزمینی) که از منطقه کانی‌سازی عبور کرده است، غلظت عناصر ردیاب افزایش می‌یابد.

### ۱-۳- محدودیت‌های روش

سه محدودیت مهم این روش شامل میزان کم بارش در بسیاری از مناطق اکتشافی، شوری بالای آب به ویژه آب‌های زیرزمینی و تحرک‌پذیری کم برخی از عناصر مورد اکتشاف است. پراکنش نامناسب بارش در برخی مناطق به گونه‌ای است که در زون‌های رسوبی ساختاری حاوی کانسارهای مهم، بارندگی بسیار کم است و این موضوع تشکیل هاله هیدروژنوشیمیایی مناسب را با محدودیت مواجه می‌کند. در بسیاری از مناطق، آب‌های زیرزمینی، شوری بالایی دارند. در این شرایط بسیاری از نمونه‌ها به رقیق‌سازی قبل از تجزیه نیاز دارند (معمولاً در اندازه‌گیری عناصر با روش معمول چنانچه کل مواد جامد محلول بیشتر از ۰/۲ درصد باشد، نیاز به رقیق‌سازی است). این رقیق‌سازی ممکن است، غلظت عناصر نشانگر را تا زیر حد تشخیص دستگاهی کاهش دهد. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی از چاه‌های موجود انجام می‌گیرد که توزیع آن‌ها در اختیار اکتشاف‌گر نیست و این امر یکی از دیگر محدودیت‌های این روش است.

عناصر فلزی تحرک‌پذیری و قابلیت مهاجرت متفاوتی دارند. معمولاً عناصری مانند Pb, Zn, Mo, Ni, Cu, Cd و Co به صورت سولفیدی برای اکتشاف در این روش مناسب‌اند. عناصری مانند Sn, W, Cr و Au به دلیل قابلیت انحلال و تحرک کمتر، مناسب نیستند. به عنوان مثال عنصر طلا کم‌تحرک است و فاصله زیادی را از کانسار طی نمی‌کند. برعکس عناصری مانند Zn و Cd عناصری متحرک‌اند و قابلیت مهاجرت از محل کانسار را دارند و از آن دور می‌شوند. در محیط اکسیدی، تحرک عنصر کادمیم مانند عنصر سرب است ولی از عنصر روی کمتر است، گو اینکه عنصر کادمیم سریع‌تر از عنصر روی اکسیده می‌شود و سولفات کادمیم قابلیت انحلال بیشتری نسبت به سولفات روی دارد. کانی‌سازی‌های اورانیم



با توجه به همراهی رادیم، رادون و هلیوم نیز با این روش قابل اکتشافاند. از این روش می‌توان برای پی‌جویی عناصری مانند Ga و Ge نیز استفاده کرد. البته امروزه به دلیل وجود دستگاه‌های دقیق در تجزیه شیمیایی آب‌ها، حتی مقادیر بسیار کم محلول عناصری مانند طلا (در حد نانوگرم در لیتر) در آب‌های چشمه‌ها و آب‌های رودخانه‌ها نیز ردیابی می‌شوند که می‌توان برای راهنمای اکتشافی آن را بررسی کرد، هر چند که استفاده از این روش‌ها هنوز متداول نیست. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌ها، بالا بودن غلظت برخی فلزات ناشی از آلودگی‌های زیست‌محیطی است که ارتباطی با کانی‌سازی ندارند.





# فصل ۲

---

## مبانی اکتشافات هیدروژئوشیمیایی







## ۲-۱- آشنایی

برای اینکه یک هاله ژئوشیمیایی آنومال در آب زیرزمینی شکل گیرد، باید آب از درون توده کانسار جریان یابد، از این رو تفسیر مناسب ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی برای اکتشاف مواد معدنی به تفسیر صحیح از آب‌زمین‌شناسی محلی و منطقه‌ای بستگی دارد. تفسیر آب‌زمین‌شناسی در سیستم‌های با جریان آزاد در محیط متخلخل معمولاً ساده است. در حالی که در سیستم‌های محبوس یا سیستم‌هایی که جریان غالب در درزه و شکستگی‌ها اتفاق می‌افتد، پیچیدگی قابل توجهی دارد. در برخی موارد، گسل یا شکستگی که منجر به تمرکز جریان آب زیرزمینی می‌شود، همانند معبری عمل می‌کند که آب را به توده کانه‌دار وارد و از آن خارج می‌کند در حالی که کمترین واکنش بین آب و سنگ رخ می‌دهد. این محدودیت در کانی‌سازی رگچه‌ای را به طور خاص می‌توان برای برخی از انواع کانسارهای مس، نیکل، عناصر گروه پلاتین و نهشته‌های اورانیم نوع دگرشیمی مشاهده کرد. در اکتشاف هیدروژئوشیمیایی کانسارها، باید تمرکز رگچه‌ای کانسار نیز مورد توجه قرار گیرد. در مقایسه با جریان عمومی آب زیرزمینی، جهت رگه معدنی تعیین‌کننده حد واکنش‌های بین آب-سنگ و گسترش هاله آنومالی هیدروژئوشیمیایی است. اکتشافات هیدروژئوشیمیایی به دلایل زیر، یک روش اکتشافی موثر برای کشف کانسارهای پنهان است:

الف- پیشرفت در روش‌های تجزیه شیمیایی آب و کاهش حد سنجش

ب- واکنش‌پذیر بودن بسیاری از انواع کانی‌سازی‌ها با آب به ویژه کانی‌سازی‌های سولفیدی

پ- امکان جریان آب به قسمت‌های دورتر کانی‌سازی و گسترش هاله

ت- مقدار زمینه کم و امکان تطابق آنومالی ساده‌تر

ث- هاله اکتشافی وسیع‌تر نسبت به سایر روش‌های ژئوشیمیایی

ج- آماده‌سازی ساده‌تر نمونه‌ها

## ۲-۲- ژئوشیمی یون‌های اصلی

درک کامل از ژئوشیمی آب‌های زیرزمینی نیاز به تجزیه و تحلیل و تفسیر ترکیب یونی عمده یا غلظت و پراکندگی یون‌های اصلی دارد. برای بیشتر سامانه‌های آبی، یون‌های اصلی شامل کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، کلر، سولفات و کربنات است که بیشتر از ۹۰ درصد کل مواد جامد حل شده را تشکیل می‌دهند. تحلیل این پارامترهای شیمیایی، منجر به تفسیرهای اساسی از جمله طبقه‌بندی، تعیین و تشخیص تیپ و رخساره هیدروژئوشیمیایی آب، اختلاط آب‌ها، تبخیر، واکنش آب و سنگ، نوع تغذیه و جریان می‌شود. با این حال، برخی از مطالعات نیز نشان داده‌اند که ترکیب یونی عمده آب‌های زیرزمینی ممکن است راهنمای مستقیمی در اکتشاف کانی‌سازی به شمار آید، به ویژه اینکه در اثر هوازدگی، هاله آنومالی هیدروژئوشیمیایی بزرگتری در مقایسه با اندازه اولیه کانی‌سازی تشکیل می‌شود. در بررسی هیدروژئوشیمیایی، تفسیر یون‌های اصلی باید در ارتباط با داده‌های غلظت فلزات هدف و ردیاب انجام گیرد. با این حال،



با توجه به پیچیدگی‌های اندرکنش آب-سنگ، واکنش‌های تبادل کاتیونی و تشکیل کانی‌های ثانویه، شیمی عناصر اصلی آب باید با احتیاط به عنوان یک راهنمای اکتشاف استفاده شود. در مواردی که تغییرات در غلظت عناصر اصلی دیده شود، ممکن است به نوع سنگ خاص و یا نوع خاصی از دگرسانی دلالت داشته باشد اما این لزوماً نشان‌دهنده وجود کانی‌سازی نیست. علاوه بر این، Eh و pH تا حد زیادی میزان و نوع اندرکنش آب- ماده معدنی و تحرک و پراکندگی فلزات و شبه‌فلزات مرتبط با کانی‌سازی را تحت تاثیر قرار می‌دهند، بنابراین اگر Eh و pH برای انحلال و یا تبادل عناصر معدنی و انتقال عنصر مورد نظر مساعد نباشد، آنومالی هیدروژنوشیمیایی تشکیل نمی‌شود.

## ۲-۳- اهداف اکتشافی

آب قابلیت حل بخشی از مواد مسیر خود را دارد و در صورت حرکت در اطراف کانسارها، هاله‌های هیدروژنوشیمیایی تشکیل می‌دهد. کانی‌ها با آب به روش‌های متفاوتی واکنش می‌دهند و این باعث می‌شود تا در نمونه آب، عناصر زیادی قابل تشخیص باشد. هر نوع کانسار را می‌توان با عناصر مرتبط با آن مشخص کرد (جدول ۲-۱). در طراحی، اجرا و تجزیه و تحلیل در روش اکتشافات هیدروژنوشیمیایی باید به عناصر اصلی و جزئی مرتبط با هر کانی‌سازی توجه کرد.

جدول ۲-۱- ویژگی‌های هیدروژنوشیمیایی اصلی برخی از انواع کانسارها

تیب کانسار	عناصر اصلی	عناصر جزئی	اجزای متحرک <sup>ا</sup>	اجزای نسبتاً نامتحرک <sup>ب</sup>
سولفید توده آتشفشانی	Fe, S, Cu, Zn, Pb	Cd, Hg, Au, As, Sb, Ba, Bi, In	Fe, S, Zn, Cu, As, Cd, Hg, Sb	Pb, Bi, In, Au, Ag, Ba
مس - مولیبدن پورفیری	Cu, Mo, S	Fe, Ag, Au, Se, Re, As	Cu, Mo, S, Fe, Se, As, Re	Ag, Au
رسوبی - برون دمی	Fe, S, Cu, Zn, Pb	Ag, Au, Ba, Cd	Fe, S, Zn, Cu, Cd	Pb, Ba, Au, Ag
ذخایر طلا	Au, Ag	As, Sb, Se, Te, S, Hg	S, Se, As, Hg, Te, Sb	Au, Ag
ذخایر مس، نیکل و عناصر گروه پلاتین	Ni, Cu, PGE	Cr, Co, S	Cu, S, PEG	Co, Ni, Cr
کیمبرلیت‌های الماس‌دار	Sr, Nb, Ba, Cr, Ni	LILE <sup>۱</sup> , HFSE <sup>۲</sup> , REE <sup>۳</sup>	Sr, LILE	Ba, HFSE, Nb, Cr, Ni REE,
اورانیم دگرشیمی	U	Se, Mo, V, Cu, Pb	U, Se, Cu, Mo	U, Pb, V
ابی‌ترمال	Pb, Zn, Cu, As, Sb	S, Hg, Cd, Ag, Au	Pb, Cu, Zn, S	Au, Ag
نوع دره می‌سی‌سی‌پی <sup>۴</sup>	Sb, Tl, Zn, Sb, Pb	Ba, Cd, Co, Mn	Zn, Sb, Pb	Co, Mn, Cd
ذخایر نوع اسکارن	Fe, Zn, Cu, As, Bi	Co, Te, Au	As, Zn	Au, Bi, Co

A: تحت شرایط اکسیدی و نزدیک خنثی B: تحت شرایط معمولی

- 1- Large ion lithophile elements
- 2- High-field strength elements
- 3- Rare earth elements
- 4- Mississippi valley-type (MVT)



بر اساس خصوصیات سامانه آبی، ممکن است همواره این عناصر تا حد تشخیص در آب تغلیظ نشوند. در این صورت باید عناصر ردیاب و معرف به تفکیک کانه‌زایی در هاله هیدروژئوشیمیایی بررسی شود.

## ۲-۴-۲- معرفی شاخص‌های کانه‌زایی (عناصر معرف) در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی

### ۲-۴-۲-۱- کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانی<sup>۱</sup>

این تیپ کانسارها از نظر نوع سنگ میزبان و ترکیبات سولفیدی متنوع‌اند اما ویژگی بارز آن‌ها غالب بودن سولفیدهای فلزی به ویژه پیریت، پیروتیت، اسفالریت، گالن و کالکوپیریت است. در این کانسارها عناصر Fe, Zn, Pb و Cu غالب‌اند و به صورت فرعی عناصر Cd, Hg, Au, As, Sb, Ba, Bi و In را به همراه دارند (جدول ۲-۱). کانسارهای تیپ VMS به روش‌های هیدروژئوشیمیایی آب‌های سطحی و زیرزمینی در موارد متعددی اکتشاف شده‌اند. بر اساس این مطالعات، بهترین و مناسب‌ترین عنصر معرف برای این نوع کانه‌زایی هم در آب‌های سطحی و هم در آب‌های زیرزمینی، عنصر روی است. در بسیاری موارد، آنومالی دیگر گونه‌های مرتبط با این تیپ از ذخایر مانند Pb, Cu, As, Mo, Sb و سولفات نیز دیده شده است اما برخی از این گونه‌ها تحت شرایط معمول غیرمتحرک‌اند و همواره در آب دیده نمی‌شوند. سولفات اگر چه در آب پایین‌دست این کانسارها به صورت آنومال است ولی با توجه به اینکه یک یون اصلی در غالب آب‌ها است، به عنوان یک شاخص قابل اعتماد کانه‌زایی به شمار نمی‌آید. عنصر روی بهترین شاخص کانه‌زایی سولفید توده‌ای با حد آستانه ۲۰ میکروگرم در لیتر است. در این تیپ از کانسارها غنی‌شدگی نسبت به آهن و منیزیم و تهی‌شدگی نسبت به سدیم و کلسیم مشاهده شده است.

### ۲-۴-۲-۲- کانسارهای تیپ مس-مولیبدن پورفیری

کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری به طور معمول همراه با سنگ‌های آذرین درونی متوسط تا فلسیک‌اند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی کلیدی این کانسارها وجود عناصر Re, As, Mo, Se و Cu به همراه Ag و Au است (جدول ۲-۱). استفاده از روش هیدروژئوشیمیایی در کانسارهای مس-مولیبدن پورفیری بسیار کارآمد است. این نهشته‌ها به صورت معمول حاوی غلظت آنومال از گونه‌های As, Se, Re و Mo هستند که در محیط‌های آکالین و نیمه‌اکسیدی نسبتاً متحرک‌اند. نسبت S/Se در بسیاری از این موارد به عنوان شاخص این کانه‌زایی معرفی شده است.

### ۲-۴-۲-۳- کانسارهای تیپ رسوبی-بیرون‌دمی<sup>۲</sup>

این تیپ کانسارها با آزاد شدن سیالات گرمایی حاوی ماده معدنی به درون یک حوزه (معمولاً اقیانوس) ایجاد و به صورت چینه‌سان<sup>۳</sup> رسوب می‌کنند. این کانسارها مهم‌ترین منبع سرب، روی و باریت و یکی از منابع مهم نقره، مس، طلا،

1- Volcanogenic massive sulfide (VMS)  
2- Sedimentary exhalative deposits (SEDEX)  
3- Stratiform



بیسموت و تنگستن‌اند. آب‌هایی که در معرض این نهشته‌ها قرار می‌گیرند و از آن عبور می‌کنند، معمولاً نزدیک به خنثی تا قلیایی‌اند و غلظت فلزات غیر از روی در آن‌ها پایین است. غلظت کادمیم در حد ده‌ها میکروگرم و در موارد بسیاری غلظت سولفات در حد صدها میلی‌گرم است.

#### ۲-۴-۴- کانسارهای طلا

طلا تیپ‌های مختلف کانساری دارد و در هر یک از آن‌ها عناصر مختلفی به عنوان شاخص هیدروژنوشیمیایی به کار می‌روند. کانسارهای طلای همراه با تیپ‌های پورفیری، اپی‌ترمال، اسکارن و ماسیوسولفیدها به صورت جداگانه بررسی شده‌اند. در این قسمت بیشتر ویژگی‌های هیدروژنوشیمیایی برای کانسارهای طلای تیپ کارلین مورد توجه است. مانع اصلی برای اکتشاف طلا با استفاده از روش هیدروژنوشیمیایی، حلالیت کم طلا در آب با دمای پایین است. مطالعات نشان می‌دهد که مقدار طلا در آب، مناسب‌ترین شاخص برای کانه‌سازی طلا است و همراهی این آنومالی با آنومالی As و یا Sb باعث اعتماد بیشتر به نتایج می‌شود.

#### ۲-۴-۵- کانسارهای تیپ نیکل - مس و عناصر گروه پلاتین (Ni-Cu-PGE)

در مورد اکتشافات هیدروژنوشیمیایی کانه‌زایی ماگمایی نیکل، مس و عناصر گروه پلاتین پتانسیل خوبی وجود دارد، به دلیل فقر سولفید به ویژه پیروتیت، امکان استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی در این تیپ کانسارها کاهش می‌یابد. تحرک‌پذیری عناصر گروه پلاتین در آب متفاوت است و پالادیم تحرک‌پذیری بیشتری دارد. در مواردی که سولفیدهای آهن به مقدار قابل توجهی در این کانسارها وجود داشته باشد، pH آب به صورت غیرعادی کاهش می‌یابد و این کاهش، موجب انحلال مس و نیکل در کنار عناصر گروه پلاتین می‌شود و آنومالی چند عنصری را به عنوان شاخص این نوع کانه‌زایی ایجاد می‌کند (جدول ۲-۲).

#### ۲-۴-۶- کیمبرلیت‌های الماس‌دار

تماس آب با کیمبرلیت (حتی در موارد حاوی الماس)، هیدراته شدن الیومین و کلینوپیروکسن موجب افزایش pH تا حد بالاتر از ۱۲ می‌شود و منیزیم کاهش و پتاسیم در آب افزایش می‌یابد.

#### ۲-۴-۷- اورانیم

علیرغم اینکه اورانیم تحت شرایط احیایی غیرمتحرک است اما این عنصر، بهترین ردیاب معرف کانه‌زایی اورانیم نوع دگرشیمی است. زمانی می‌توان به نتیجه چنین اکتشافی اعتماد کرد که دیگر گونه‌های همراه با این نوع کانه‌زایی همانند Se, V, Mo, Cu نیز آنومالی نشان دهند. وجود مولیبدن و سلنیم به ویژه در آب‌های احیایی فقیر از سولفید نیز مفید واقع می‌شود.



### ۲-۴-۸- کانسارهای تیپ اپی ترمال

آرسنیک و آنتیموان از مهم‌ترین عناصر همراه طلا در کانسارهای اپی ترمال اند که مطالعه نحوه توزیع آن‌ها در مقایسه با طلا، به عنوان عناصر فوق کانساری، از کلیدهای مهم اکتشاف طلا است. بیشترین تغییرپذیری در عمق به کانی‌سازی Ag و Au و پس از آن به Sb و As اختصاص دارد و کانی‌سازی اپی ترمال با تهی‌شدگی آرسنیک و گاه آنتیموان همراه است. در کانسارهای چندفلزی اپی ترمال، سرب، روی و مس و در ادامه کادمیم، نقره و جیوه از ردیاب‌های هیدروژئوشیمیایی محسوب می‌شوند.

### ۲-۴-۹- کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی

ذخایر سرب و روی با سنگ درونگیر کربناتی از مهم‌ترین منابع تولید این فلزات در جهان‌اند. ردیاب‌های هیدروژئوشیمیایی این تیپ کانسارها شامل Pb, Zn و سولفات و pH پایین آب است.

### ۲-۴-۱۰- کانسارهای تیپ اسکارن

کانسارهای تیپ اسکارن طیف گسترده‌ای از عناصر را در برمی‌گیرند. در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی این تیپ کانسارها آنومالی عناصر Ag, S, Bi, Sb, As, Sn, Mo, Mn, Cu, Zn, Pb قابل ثبت است. زون‌بندی عرضی از داخل به خارج کانسار شامل Pb, Cu و Zn است. در ذخایر اسکارن مس، آنومالی مس و گاه طلا و آرسنیک مشاهده شده است. در کانسارهای اسکارن قلع آنومالی عناصر Cs, Rb, Li, Ag, Cu, Pb, Zn, Be در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی اهمیت بالایی دارد.

جدول ۲-۲- ردیاب‌های هیدروژئوشیمیایی مورد استفاده در شناسایی برخی از کانسارها

ردیاب ثانویه	ردیاب اصلی	تیپ کانسار
Pb, SO <sub>4</sub> و pH پایین سیال	Zn	VMS
Zn و Pb	Cu نزدیک به منشأ، Se, Re, Mo, As دور از منشأ	Cu-Mo پورفیری
Ba و Cd, Au, Ag	Zn	SEDEX
Sb و Se, As	Au	ذخایر طلا
As و Cr, Co, S, PGE	Ni و Cu, Pd	Cu-Ni-PGE
Ni و Co, Cr, Co/Mg, Ni/Mg	pH برابر ۱۰، K/Mg بالا، منیزیم پایین	کیمبرلیت (الماس)
Se و Mo, As, V, Cu, Pb	Oxidizing-U, radon Reducing-Se, Mo	اورانیم دگرشیب
Ag و Sb, Au, Ag, Hg	As و Pb, Zn, Cu	اپی ترمال
Mn و Ba, Cr	Sb و Ag, Zn, Cd, Pb, Tl	MVT
Ni و Co, Fe, Te	Zn و Cu, As, Bi, Au	اسکارن

## ۲-۵- درجه اشباع (حلالیت)، گونه‌زایی و تحرک فلزات

شدت آنومالی هاله‌های هیدروژئوشیمیایی با توجه به کانه‌زایی نزدیک به منشا (پروکسیمال) یا دور از منشا (دیستال)، اساساً به میزان حلالیت گونه ردیاب یا معرف، تحت شرایط Eh، pH و شوری حاکم بستگی دارد. در شرایطی که آنومالی همه عناصر هم‌پارازنز در آب ثبت نشود، لازم است دلایل بررسی و از استفاده از عناصر غیرشاخص کانه‌زایی اجتناب شود (جدول‌های ۱-۲ و ۲-۲). علاوه بر این، باید دقت کافی به کار رود تا تفسیر داده‌های هیدروژئوشیمیایی با در نظر گرفتن مبانی تئوری ژئوشیمیایی و محدودیت‌های آزمایشگاهی انجام گیرد. به عنوان مثال، اگر چه میزان تیتانیم در سنگ‌های آذرین مافیک و اولترامافیک نسبت به سنگ‌های آذرین اسیدی و رسوبی بیشتر است اما استفاده از آن در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی به راحتی انجام نمی‌گیرد، زیرا تیتانیم یک آنومالی مشخص در سنگ‌های مافیک و الترامافیک بارور و عقیم نشان نمی‌دهد. تیتانیم به جز در موارد بسیار نادر در آب بی‌تحرک است و در تجزیه شیمیایی، تیتانیم تحت تاثیر چند همپوشانی طیفی در روش ICP-OES است.

## ۲-۶- فرآیند انحلال و تشکیل هاله‌های هیدروژئوشیمیایی

عواملی مانند pH، شدت جریان و مقدار یون  $H^+$  تاثیر مهمی در واکنش‌های شیمیایی آب-سنگ دارند، به ویژه اگر کانسار از نوع سولفیدی باشد. بر اثر این واکنش‌ها کانی‌ها شروع به تجزیه می‌کنند و برخی از عناصر همراه آن‌ها به ترکیباتی تبدیل می‌شوند که به آسانی حل و وارد محیط آب می‌شوند. برای مثال وقتی آب با بخش سولفیدی یک کانسار در تماس قرار می‌گیرد، عناصر فلزی موجود در سولفیدها را حل می‌کند و هاله ژئوشیمیایی در اطراف کانسار تشکیل می‌دهد. حلالیت کانی‌های سولفیدی حاوی عناصر Cu, Pb, Zn, Cd و نظایر آن‌ها، در هنگام کاهش pH محیط افزایش می‌یابد. با دور شدن از محل کانسار، میزان pH آب افزایش می‌یابد و بنابراین میزان حلالیت آن کم می‌شود. به ویژه وقتی که آب‌ها با محیط‌های سنگی کربناته در تماس قرار می‌گیرند، pH به حالت خنثی نزدیک می‌شود. در محیط‌های آبی ممکن است برخی از عناصر مانند هیدروکسیدهای Fe, Al, Mo, Ni, Co و Mn به مقدار کمتری به صورت کلوییدی حمل شوند. میزان انحلال و سپس تمرکز عناصر به فرآیندهایی مانند اکسایش، آبگیری، تجزیه، جذب یونی، رقیق شدن، تبادل‌های یونی در محیط و ته‌نشست‌های هیدرولیکی بستگی دارد.



# فصل ۳

---

## نمونه برداری







### ۳-۱- آشنایی

قبل از نمونه برداری از آب های زیرزمینی و سطحی در منطقه اکتشافی و انتخاب روش مناسب تجزیه، توجه به موارد زیر ضروری است:

- شناسایی واحدهای زمین شناسی منطقه و تاثیر واحدهای زمین شناسی بر روی آب های زیرزمینی و سطحی
- نوع محیط مورد استفاده (آب زیرزمینی یا سطحی)
- بهترین عمق نمونه برداری از آب های زیرزمینی
- میزان آستانه غلظت عناصر در آب های منطقه
- توجه به وجود آلودگی های صنعتی احتمالی در منطقه
- توجه به اثر توپوگرافی و شرایط آب شناسی، آب زمین شناسی، اقلیمی و زمان بارندگی های منطقه
- شرایط آب و هوایی به هنگام نمونه برداری و شش ماه قبل از آن
- توجه به مقدار مواد معلق، میزان آشفستگی و رنگ آب
- بود و یا نبود هیدروکسیدهای آهن و منگنز به دلیل نقش مهم آنها در جذب سطحی عناصر
- وجود گیاهان، مواد زیستی (مانند جلبک ها) و مواد آلی

### ۳-۲- محیط نمونه برداری

با توجه به نوع پروژه ممکن است نمونه برداری از منابع آب سطحی (رودخانه و دریاچه) یا منابع آب زیرزمینی (چشمه، قنات، زهکش، گمانه اکتشافی، چاه دستی، چاه کم عمق و چاه عمیق) یا از هر دوی آنها انجام گیرد.

### ۳-۲-۱- آب های سطحی

آب های سطحی معمولا در تماس مستقیم با خاک و گیاه قرار می گیرند. مقدار تماس آنها کم و سطحی است و معمولا pH خنثی دارند، بنابراین قدرت انحلال کمتری نسبت به آب های زیرزمینی دارند. معمولا مواد به سه شکل بار بستری، معلق و محلول در آب های سطحی حمل می شوند.

الف- بارهای بستری موادی اند که در کف نهر یا رودخانه حرکت می کنند و شامل اجزای سنگین مانند ماسه ها، ذرات آواری و سولفیدی و کانی های سنگین اند.

ب- مواد معلق در آب شامل اجزای رسی، ذرات کلوییدی و مواد آلی اند. گاه میزان جذب کلوییدی عناصر در مواد معلق به قدری زیاد است که قابلیت ایجاد هاله ژئوشیمیایی وسیعی را دارد.



پ- مواد محلول شامل مواد کاملاً حل شده در آب مانند برخی نمک‌های فلزات در آب‌اند. در واقع این مواد اجزای شیمیایی تجزیه شده‌اند که به صورت محلول در آب حرکت می‌کنند و معمولاً در محیط آب به صورت‌های زیر یافت می‌شوند:

- کاتیون‌هایی مانند  $\text{Cu}^{2+}$  و  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$

- آنیون‌هایی مانند  $\text{Cl}^-$  و  $\text{SO}_4^{2-}$

- کمپلکس‌های یونی مانند  $\text{UO}_2^{2-}$  و  $\text{MoO}_4^{2-}$

- کمپلکس‌های آلی- فلزی مانند ترکیبات آلی اورانیم

- مواد معلق تفکیک نشده مانند ژل‌های سیلیسی با ترکیب  $\text{H}_4\text{SiO}_4$

در مورد آب‌های سطحی، نمونه‌برداری از محل تقاطع آبراهه‌های سرشاخه‌ها، آبراهه‌های اصلی و بخش‌های انتهایی آبراهه‌های اصلی و از چشمه‌ها و جویبارهایی که شدت جریانی کمتر از ۲۰ لیتر در ثانیه دارند، توصیه می‌شود. در حالی که نمونه‌برداری از جویبارها نتایج مفیدی را به دنبال دارد، نمونه‌برداری از آب‌های خروشان نتایج ضعیفی به دست می‌دهد زیرا حجم زیاد آب ممکن است منجر به رقیق‌سازی عناصر معرف شود. در صورتی که آب رودخانه یا آبراهه از چشمه تغذیه شود، به هنگام نمونه‌برداری علاوه بر رودخانه و آبراهه باید از محل چشمه نیز نمونه‌برداری شود. دریاچه‌ها به عنوان خروجی سامانه هیدرولوژیکی، به ویژه در حوضه‌های بسته، محل مناسبی برای تغلیظ عناصر ردیاب‌اند، بنابراین نمونه‌برداری از دریاچه‌ها به صورت تکمیلی باید انجام گیرد. با توجه به اینکه معمولاً آب دریاچه‌ها شوری بیشتری دارد، تجزیه شیمیایی آن‌ها باید با دقت بیشتری انجام شود.

### ۳-۲-۲- آب‌های زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی در تماس کامل با سنگ‌ها قرار می‌گیرند و باعث تجزیه کانی‌ها و انحلال عناصر می‌شوند، به ویژه آنکه نسبت حرکت این آب‌ها در مقایسه با آب‌های سطحی آهسته‌تر و یکنواخت‌تر است. چشمه‌ها به عنوان محل تخلیه طبیعی و سرشاخه خروجی جریان آب زیرزمینی، مطلوب‌ترین نقاط برای نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی‌اند. با نمونه‌برداری از چشمه‌های بزرگ در زمان شدت جریان پایه چشمه، می‌توان محدوده وسیع‌تری از منطقه مورد مطالعه را اکتشاف کرد. در مورد اکتشاف هیدروژنوشیمیایی مواد معدنی، برداشت نمونه از چشمه‌های آب گرم به دلیل عمق چرخش بیشتر و pH کمتر نتایج مطلوب‌تری به دنبال دارد، البته توجه به ترکیب شیمیایی اصلی چشمه‌های معدنی ضروری است. نمونه‌برداری از چاه‌ها این مزیت را دارد که ضمن نمونه‌برداری در طول مسیر جریان آب زیرزمینی، می‌توان تغییرات غلظت عناصر ردیاب را نیز اندازه‌گیری کرد. محدودیت نسبی این است که دسترسی به توزیع مکانی مناسبی از چاه‌ها یا گمانه‌ها برای طراحی یک شبکه نمونه‌برداری ایده‌آل، همیشه امکان‌پذیر نیست. محدودیت دیگری که در نمونه‌برداری از چاه وجود دارد، افزایش احتمال آلودگی متقابل نمونه و چاه است. به عنوان مثال عنصری مانند روی در چاه‌ها یا گمانه‌ها افزایش غلظت ثانویه نشان می‌دهد.



عموما فاصله‌های نمونه برداری در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی به طور متوسط حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر است و حداقل ۴ نمونه در هر کیلومتر مربع برای اکتشافات توصیه می‌شود. از مسایل قابل توجه دیگر در نمونه برداری، در نظر گرفتن انتشار هیدرومورفیک عناصر در مناطق شیب دار است. برای مثال در محل‌هایی که گیاهان ریشه کوتاه‌تری دارند، انتشار هیدرومورفیک باعث رسیدن عناصر به این ریشه‌ها حتی از اعماق می‌شود. نمونه برداری از چنین محل‌هایی به اکتشاف کانسارهای عمیق‌تر کمک می‌کند. ضمن آنکه نمونه برداری صحیح از چنین محیط‌هایی به شناسایی آنومالی‌های پخش شده در سطح نیز می‌انجامد.

### ۳-۳- زمان نمونه برداری

قبل از نمونه برداری، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس متناسب با مرحله اکتشاف ضروری است. مرحله بعدی، مطالعات آب‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی محل است. در این مطالعات باید به ویژگی‌های آبخوان، محل چشمه‌ها و مسیر حرکت آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها و یا آبراهه‌ها از سنگ بستر محل توجه شود. زمان نمونه برداری از آن جهت مهم است که معمولا مقدار فلزات در داخل آب‌ها از محلی به محل دیگر فرق می‌کند و میزان انحلال و ته‌نشست آن‌ها در فصل‌های چهارگانه مختلف است. برای مثال نسبت یون‌های  $SO_4^{2-}$  به  $Cl^-$  در نواحی گرم و خشک زیاد است و به ۳ برابر حد معمول نیز می‌رسد، در حالی که مقدار آن در نواحی سرد و مرطوب کاهش می‌یابد. معمولا پس از اولین باران و فاصله آن با باران‌های بعدی، هاله‌های ژئوشیمیایی رقیق‌تر می‌شوند. املاحی که در دوره خشکی در بخش‌های بالایی جمع شده بود، بر اثر باران حل می‌شود. حتی بر اثر این فرآیند، غلظت فلزات غیرآهنی در آب‌های زیرزمینی اطراف کانسارهای سولفیدی افزایش می‌یابد. با افزایش بارندگی از مقدار غلظت فلزات در این آب‌ها کاسته می‌شود. زمان مناسب نمونه برداری هنگامی است که ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی کمترین تغییر را داشته باشد. در چنین زمانی (توقف بارندگی) معمولا آبراهه‌ها از آب‌های زیرزمینی تغذیه می‌کنند و در نتیجه داده‌های حاصل از تجزیه چشمه‌ها و آبراهه‌ها قابل مقایسه‌اند اما در یک مطالعه اکتشافی دقیق آب چشمه‌ها و آبراهه‌ها باید به طور جداگانه نمونه برداری و بررسی شود.

### ۳-۴- شیوه نمونه برداری

- به هنگام برداشت نمونه از آب‌های زیرزمینی یا سطحی رعایت نکات زیر توصیه می‌شود:
- از ظروف پلی‌اتیلنی مناسب با درپوش پلاستیکی استفاده شود.
- ظروف نمونه برداری با کلریدریک اسید رقیق آزمایشگاهی و با آب مقطر شستشو داده شود.
- در محل نمونه برداری قبل از نمونه برداری ظرف نمونه برداری سه بار از آب پر و خالی شود.



- نمونه برداری زمانی انجام شود که آب کمترین تغییر را داشته باشد، مانند مواقعی که بارندگی نیست و یا سرعت آب در حداقل است، چون مقدار انحلال فلزات در آب با توجه به میزان بارندگی تغییر می کند.

- محل نمونه برداری باید دورتر از مکان های آلوده کننده مانند پل ها، لوله های عبوری و فاضلاب های صنعتی باشد.

### ۳-۴-۱- تجهیزات اندازه گیری صحرائی

در موقع نمونه برداری pH و Eh، دما و هدایت الکتریکی (EC) و بسته به نیاز میزان اکسیژن محلول، مقدار غلظت یون CN، میزان قلیائیت، مقدار سولفات، کربنات و بی کربنات را در صحرا (محل نمونه برداری) اندازه گیری می کنند. اگر هدف مطالعات اکتشافی پیدا کردن یک کانسار حاوی عناصر پرتوزا مانند اورانیم باشد، میزان گاز رادون را نیز باید در محل اندازه گیری کرد. همچنین دمای آب و میزان رسوب نیز اندازه گیری می شود. برای این کار، تجهیزات زیر مورد نیاز است:

- دماسنج (اغلب همراه با الکترودهای pH و هدایت الکتریکی)

- pH متر

- هدایت سنج

- پتانسیل اکسیداسیون / احیا ORP متر

در هنگام انتخاب تجهیزات، مهم است که حساسیت مورد نیاز و واحد اندازه گیری در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، برای اندازه گیری هدایت الکتریکی در آب های زیرزمینی بسیار شور لازم است که از هدایت الکتریکی سنج تا ۲۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر استفاده شود، در حالی که مناطق دیگر ممکن است تنها نیاز به یک هدایت الکتریکی سنج با حداکثر اندازه گیری ۲۰۰ میکروموس بر سانتی متر باشد.

### ۳-۴-۲- مواد شیمیایی مورد نیاز در عملیات صحرائی

از استانداردها برای واسنجی تجهیزات اندازه گیری و از مواد شیمیایی آزمایشگاهی برای آماده سازی نمونه ها در محل نمونه برداری استفاده می شود. محلول های واسنجی دستگاه های اندازه گیری pH و EC مورد نیاز است و باید روزانه تامین شود. Eh متر هر دو هفته یکبار و یا پس از یک مرحله عملیات نمونه برداری باید واسنجی شود. بسته به نوع الکتروود مورد استفاده در هر دستگاه، محلول اشباع KCl باید همراه نمونه بردار باشد. آب دیونیزه شده نیز برای شستشوی الکتروود و سایر تجهیزات مورد نیاز است.

در اغلب نمونه برداری ها، فاصله زمانی تا انتقال به آزمایشگاه و تجزیه شیمیایی وجود دارد، در حالی که در موارد بسیاری آماده سازی را می توان در آزمایشگاه انجام داد. آماده سازی نمونه های فلزات گرانبها مانند طلا و عناصر گروه پلاتین باید در محل نمونه برداری انجام گیرد. بدین منظور، حدود ۱۰ گرم NaCl (TBS1) و کربن فعال لازم است. کربن فعال برای جذب عناصری مانند Au، Ag و PGE که غلظت پایین (در حد نانوگرم در لیتر) دارند مناسب است و با



استفاده از آن می توان غلظت آن ها را به حد تشخیص رساند. در مورد اکتشاف عناصر فلزی توصیه می شود که پس از نمونه برداری، با اضافه کردن چند قطره نیتریک اسید آزمایشگاهی خالص pH نمونه را به حدود ۲ رساند که تا زمان تجزیه چیزی از آن در ظرف نمونه برداری رسوب نکند.

### ۳-۴-۳- تعداد و حجم نمونه

اگر چه ظروف نمونه برداری از آب معمولا از نوع پلی اتیلنی با حجم ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی لیتر است اما بسته به هدف اکتشافی و در یک برنامه اکتشاف عمومی پیشنهاد می شود، ۴ بطری از نمونه کاملا پر و برچسب حاوی اطلاعات شماره شناسایی محل و نوع تجزیه شیمیایی مورد نیاز روی درب، شانه و بدنه بطری نمونه چسبانده شود.

بطری های مورد نیاز عبارتند از:

- بطری شماره ۱: تجزیه آنیون ها (حدود ۱۲۵ میلی لیتر)
- بطری شماره ۲: تجزیه قلیائیت (حدود ۱۲۵ میلی لیتر)
- بطری شماره ۳: تجزیه کاتیون ها (حدود ۱۲۵ میلی لیتر)
- بطری شماره ۴: تجزیه طلا و فلزات گرانبها (حدود ۱۰۰۰ میلی لیتر)





# فصل ۴

---

## آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها







#### ۴-۱- آشنایی

در این فصل روش‌های آماده‌سازی و تجزیه شیمیایی نمونه‌ها تشریح می‌شود.

#### ۴-۲- آماده‌سازی

بخش زیادی از مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها در روش اکتشافات هیدروژئوشیمیایی در هنگام نمونه‌برداری و در صحرا باید انجام گیرد. بر همین اساس چهار بطری آب برداشت شده در مرحله نمونه‌برداری در دو گروه زیر آماده‌سازی می‌شوند.

#### ۴-۲-۱- فیلتر کردن نمونه‌ها

قبل از تجزیه هیدروشیمیایی، بخش مواد معلق نمونه‌ها را با صاف کردن، فیلتر کردن و یا ته‌نشست آرام از آب جدا می‌کنند. در چنین حالتی بخش بزرگی از ناهنجاری مرتبط با ذرات معلق از دست می‌رود. از چهار بطری نمونه‌برداری در مرحله قبل، بطری شماره یک (ویژه تجزیه آنیون‌ها) باید با استفاده از صافی ۴۵ میکرومتر فیلتر و بدون افزودنی دیگری برای اندازه‌گیری آنیون‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه منتقل شود. ظرف نمونه قبل از پر کردن باید با نمونه فیلتر شده (حدود ۵ میلی‌لیتر) شسته شود. در زمان نمونه‌برداری به هنگام پر کردن ظروف مقداری از فلزات به رس، سیلت و مواد آلی موجود در آن و یا به دیواره این ظروف پلی‌اتیلنی می‌چسبد، بنابراین باید به گونه‌ای عمل کرد که این حالت چسبندگی در ظرف ایجاد نشود. بطری شماره ۳ نیز (ویژه تجزیه کاتیون‌ها) باید فیلتر و اسیدی شود. پس از نمونه‌برداری چند قطره نیتریک اسید به نمونه اضافه شده و سپس از صافی عبور داده می‌شود تا بخش جامد از آب جدا شود. افزودن چند قطره نیتریک اسید به ظرف حاوی نمونه باعث می‌شود که pH داخل ظرف به ۲ تا ۴ (شرایط اسیدی) برسد و در این صورت فلزات جذب شده به صورت یون آزاد وارد محلول می‌شوند اما عناصر فلزی چسبیده به مواد آلی معمولاً با نیتریک اسید به راحتی آزاد نمی‌شوند، بنابراین از یک ماده شیمیایی دیگری با نام تجاری MIBK (با فرمول  $C_6H_{12}O$ ) استفاده می‌کنند که باعث جدا شدن فلزات از مواد آلی می‌شود. گاه در آزمایشگاه برای جدا کردن دقیق برخی از عناصر، از اسیدهای دیگری نیز استفاده می‌شود. مثلاً برای اندازه‌گیری Sb, Br و  $SiO_2$  از HCl (یک‌دهم درصد) و برای اندازه‌گیری Hg از  $H_2SO_4$  (یک‌دهم درصد) استفاده می‌شود.

#### ۴-۲-۲- نمونه‌های فیلتر نشده

بطری شماره ۲ (برای اندازه‌گیری قلیابیت) باید به صورت کامل پر شود، به گونه‌ای که هیچ گونه تماسی با هوا وجود نداشته باشد برای جلوگیری از هر گونه واکنش با هوا باید سعی شود که هیچ گونه حباب هوایی در نمونه وجود نداشته باشد. برای تجزیه فلزات گرانبها، بطری شماره ۴ باید تا حدود ۲ سانتی‌متری مانده به دهانه ظرف از آب پر شده و



محتوای کیسه حاوی کربن فعال همراه با ۱۰ گرم از NaCl (TBS<sub>1</sub>) به نمونه اضافه شود. برای سادگی و کاهش آلودگی در حین عملیات صحرائی، کربن و نمک را می‌توان از قبل به بطری اضافه کرد.

#### ۴-۲-۳- کنترل و تضمین کیفیت (QA/QC)

پیش‌نیازهای نتایج قابل اطمینان از مطالعه اکتشافی، کنترل کیفیت عملیات نمونه‌برداری، آماده‌سازی، نگهداری، حمل و نقل، عملیات صحرائی و آزمایشگاهی است. در کنار انجام کنترل کیفیت، انتخاب روش درست، تامین منابع مالی کافی، تجهیزات و نیروی انسانی ماهر، منجر به تضمین کیفیت داده‌ها خواهد شد. قبل از هرگونه پردازش داده‌ها لازم است صحت و دقت نتایج آزمایشگاهی ارزیابی شود. محاسبات خطای تجزیه نمونه‌ها (دقت) با استفاده از نتایج نمونه‌های تکراری و محاسبات صحت داده‌ها با استفاده از نمونه‌های مرجع انجام می‌شود.

#### ۴-۳- تجزیه شیمیایی

تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در روش اکتشافات هیدروژنوشیمیایی به طور عمومی مشابه سایر روش‌ها است. روش تجزیه شیمیایی نمونه‌های برداشت شده در ادامه به اختصار بیان می‌شود.

#### ۴-۳-۱- آنیون‌ها

از استانداردهای متداول برای تجزیه آنیون‌ها می‌توان به ASTM432 و EPA300.1 اشاره کرد. از نمونه بطری شماره یک برای تجزیه آنیون‌های اصلی، کربن آلی محلول (DOC) و PO<sub>4</sub> استفاده می‌شود. روش کروماتوگرافی یونی (IC) معمولاً برای اندازه‌گیری آنیون‌های مهم مانند SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, F, Cl, Br به کار می‌رود. همچنین برای اندازه‌گیری ترکیبات NO<sub>3</sub>, F, Cl, Br و حتی عناصری مانند Cu و Pb, Ag از روش الکتروود یون‌گزین<sup>۱</sup> آبی استفاده می‌کنند. روش الکتروود یون‌گزین آبی بیشتر در صحرا کاربرد دارد، ولی دقت بالایی ندارد. در جدول ۴-۱ روش‌های تجزیه شیمیایی آنیون‌ها به صورت خلاصه ارائه شده است.

جدول ۴-۱- روش‌های تجزیه و حد تشخیص آنیون‌های اصلی

حد تشخیص (میلی‌گرم در لیتر)	روش تجزیه	عنصر/ ترکیب
۰٫۱	کروماتوگرافی یونی (IC)	Br
۱۰	کروماتوگرافی یونی (IC)	Cl
۰٫۲	تجزیه‌کننده کربن آلی محلول	DOC
۰٫۰۱	کروماتوگرافی یونی (IC)	F
۱	کروماتوگرافی یونی (IC)	NO <sub>3</sub>
۰٫۰۰۹	تیتراسیون	PO <sub>4</sub>
۳٫۵	کروماتوگرافی یونی (IC)	SO <sub>4</sub>

1- Ion selective electrode



## ۴-۳-۲- تجزیه کاتیون‌ها

از استانداردهای متداول برای تجزیه کاتیون‌ها می‌توان به ASTM 1976&5673 / EPA 200.7 & 200.8 اشاره کرد. بطری شماره ۳ برای تجزیه فلزات اصلی، فرعی و کمیاب از آب پر می‌شود. این فلزات به شرح جدول ۴-۲ با یکی از روش‌های ICP-MS یا ICP-OES تجزیه می‌شوند.

جدول ۴-۲- روش تجزیه و حد تشخیص عناصر فلزی و شبه‌فلزی

عنصر	روش تجزیه	حد تشخیص	واحد
Al	ICP-OES	۰/۰۰۲	میلی‌گرم در لیتر
As	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
B	ICP-OES	۰/۱	میلی‌گرم در لیتر
Ba	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Ca	ICP-OES	۰/۱	میلی‌گرم در لیتر
Cd	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Ce	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Co	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Cr	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Cu	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Fe	ICP-OES	۰/۰۰۴	میلی‌گرم بر لیتر
Ga	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
K	ICP-OES	۰/۰۸	میلی‌گرم در لیتر
La	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Li	ICP-OES	۰/۰۱	میلی‌گرم در لیتر
Mg	ICP-OES	۰/۰۴	میلی‌گرم در لیتر
Mn	ICP-OES	۰/۰۵	میلی‌گرم در لیتر
Mo	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Na	ICP-OES	۰/۰۰۶	میلی‌گرم در لیتر
Nd	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Ni	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Pb	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Rb	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Sb	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Si	ICP-OES	۰/۵	میلی‌گرم در لیتر
Sn	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر
Sr	ICP-OES	۰/۰۰۸	میلی‌گرم در لیتر
U	ICP-MS	۰/۰۱	میکروگرم در لیتر

## ۴-۳-۳- اندازه‌گیری قلیابیت

از استانداردهای متداول برای اندازه‌گیری قلیابیت می‌توان به ASTM 1067 / EPA 310.1 اشاره کرد. میزان کربنات و بی‌کربنات آب‌ها با دما و pH آب رابطه مستقیم دارد. از این رو، برای اندازه‌گیری کربنات و بی‌کربنات باید از رقیق‌سازی



یا حرارت دهی و یا صاف کردن نمونه آب خودداری کرد. از آنجا که آب ممکن است گاز  $CO_2$  را جذب کند باید در ظرف نمونه آب را محکم بست و اندازه‌گیری‌ها در کمترین زمان ممکن پس از برداشت انجام گیرد. معمولا آب‌هایی که pH آن‌ها از ۸٫۲ کمتر باشد فاقد کربنات‌اند و بی‌کربنات‌ها در pH کمتر از ۴٫۵ وجود ندارند. فنل‌فتالین در pH بیشتر از ۸٫۱ قرمز رنگ می‌شود و در کمتر از آن بی‌رنگ است و متیل‌اورانژ نیز در pH بیش از ۴٫۵ زرد رنگ و در کمتر از آن نارنجی رنگ است. از این خاصیت می‌توان برای اندازه‌گیری کربنات و بی‌کربنات استفاده کرد. بدین منظور چند قطره فنیل‌فتالین به ۲۵ میلی‌لیتر از نمونه آب اضافه می‌شود و چنانچه رنگ محلول صورتی پوست پیازی شد، محلول با سولفوریک اسید N/40 تا بی‌رنگ شدن محلول تیترا شود. در این روش حجم اسید مصرفی تا این مرحله معادل غلظت کربنات (میلی‌اکی‌والان در لیتر) است.

پس از اندازه‌گیری میزان کربنات برای اندازه‌گیری میزان بی‌کربنات به محلول بی‌رنگ شده و یا محلول اولی که اصلا صورتی نشده است، یک یا دو قطره متیل‌اورانژ اضافه می‌شود و تیتراسیون ادامه می‌یابد تا رنگ محلول از زرد به قرمز نارنجی تبدیل شود. میزان اسیدی که برای تیتراسیون دوم مصرف شده یادداشت می‌شود. حجم اسید مصرفی در این مرحله برابر با غلظت بی‌کربنات بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر است. بعضی مواقع اتفاق می‌افتد که pH آب کمتر از ۸٫۲ باشد و در اثر اضافه کردن فنل‌فتالین رنگ صورتی خفیفی در محلول ظاهر می‌شود که پس از اضافه کردن اسید، بی‌رنگ شده و مجددا صورتی می‌شود. این رنگ صورتی در اثر وجود گاز  $CO_2$  محلول در آب و مقداری هم به علت وجود سیلیکات‌ها و فسفات‌ها است، بنابراین باید سعی کرد که در ظرف نمونه همیشه بسته باشد و نیز اندازه‌گیری کربنات چنانچه pH کمتر از ۸٫۲ باشد، حذف و فقط بی‌کربنات‌ها اندازه‌گیری شود. حد تشخیص این روش ۲ میلی‌گرم در لیتر است.

#### ۴-۳-۴- تجزیه طلا و گروه پلاتین

بطری شماره ۴ برای شناسایی طلا و عناصر گروه پلاتین، بیسموت و نقره به کار می‌رود. کربن فعالی که در نمونه قرار داده شده باید حداقل به مدت چهار روز درون نمونه یک لیتری قرار گیرد و در این مدت نمونه روی دستگاه لرزاننده یا غلتک دوار قرار گرفته باشد. در جدول ۳-۴ روش تجزیه و حد تشخیص این گروه ارائه شده است.

جدول ۳-۴- روش تجزیه و حد تشخیص طلا، نقره، بیسموت و گروه پلاتین در کربن فعال

عنصر / ترکیب	روش تجزیه	حد تشخیص	واحد
Ag	ICP-MS Carbon	۲۰	میلی‌گرم در لیتر
Au	ICP-MS Carbon	۲	میلی‌گرم در لیتر
Bi	ICP-MS Carbon	۵	نانوگرم در لیتر
Pd	ICP-MS Carbon	۳	نانوگرم در لیتر
Pt	ICP-MS Carbon	۲	نانوگرم در لیتر



# فصل ۵

---

## تجزیه و تحلیل داده‌ها و نحوه ارائه

### نتایج





## ۵-۱- آشنایی

در مطالعات هیدروژئوشیمیایی، دو روش متداول برای تجزیه و تحلیل داده‌ها وجود دارد. روش اول شامل استفاده از روش‌های گرافیکی (نرم‌افزارهای تخصصی هیدروژئوشیمی) و روش دوم شامل روش‌های آماری اعم از آمار توصیفی، آنالیز مولفه‌های اصلی، تحلیل خوشه‌ای و نظایر آن است.

## ۵-۲- نمودارهای تخصصی هیدروژئوشیمی

از نظر وضوح و اهمیت بیشتر از نمودارهای SAR, Schoeller and Stiff, Piper Expanded Durov و Durov استفاده می‌شود. در این نمودارها به طور هم‌زمان هشت متغیر در نظر گرفته می‌شود که مزایای آن‌ها به شرح زیر است:

- الف- ارایه نتایج نمونه‌های متعدد در یک نمودار
- ب- طبقه‌بندی آب با توجه به ویژگی شیمیایی
- پ- شناسایی روند احتمالی

## ۵-۳- بررسی آماری داده‌ها

پس از تجزیه شیمیایی نمونه‌ها غلظت عناصر موجود در آب‌های مورد تجزیه به عنوان داده اولیه به دست می‌آید. ابتدا تحلیل آماری کلاسیک بر روی داده‌ها انجام می‌شود، پس از پردازش آماری داده‌ها، نتایج به صورت نقشه‌های رقمی یا توصیفی رسم و به کمک آن‌ها گزارش تحلیلی داده‌ها ارایه می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه‌های آب را می‌توان مانند سایر روش‌ها به صورت نقشه‌های خطوط تراز هیدروژئوشیمیایی نشان داد.

## ۵-۴- نقشه‌های هیدروژئوشیمیایی (آنومالی)

در مطالعات هیدرولوژیکی گسترده که بر روی نواحی وسیع با داده‌های نمونه‌های آب قابل دسترسی انجام می‌گیرد، مشکلاتی برای نمایش و پردازش داده‌ها وجود دارد. یک راه حل اساسی برای برطرف کردن این مشکلات، تهیه منحنی‌های تراز داده‌های مختلف است. نقشه‌های تراز پارامترهای شیمیایی و فیزیکی اطلاعات با ارزشی در ارتباط با روند تغییرات کمی و علت این تغییرات ارایه می‌دهند. در این نقشه‌ها با فرض یکپارچه بودن آبخوان، ارتباط هیدروژئولوژیکی بین منابع آب و توزیع مناسب و کافی نقاط نمونه‌برداری در محدوده مورد مطالعه رسم و تفسیر می‌شود. از ویژگی‌های آنومالی‌های هیدروژئوشیمیایی آن است که طیف گسترده‌ای از فلزات محلول به صورت بخش‌هایی در اطراف کانسار تشکیل می‌شود. گاه ممکن است مقدار غلظت غیرعادی عناصر مربوط به عواملی مانند آلودگی‌ها و یا عوامل خاص زمین‌ساختی باشد که ارتباطی با منشأ کانسار ندارند. در مطالعات هیدروژئوشیمیایی عناصر را مشابه به روش اکتشافات ژئوشیمیایی محیط‌های سنگی بخش‌بندی می‌کنند.





الف- بخش داخلی شامل عناصر با تحرک کم مانند Co و Cd, Bi, Sb

ب- بخش میانی شامل عناصر نسبتاً متحرک مانند Cu و Pb, As, Sc, Ge

پ- بخش حاشیه‌ای شامل عناصر با تحرک زیاد مانند Zn و Mo, F

آب‌ها به صورت‌های مختلف تحت تاثیر آلودگی‌های طبیعی و یا مصنوعی قرار می‌گیرند. اصولاً عناصر با عمل شستشوی کانسارها و سنگ‌ها وارد آب می‌شوند و اگر این آب‌ها در آبخوان‌های عمیق که خود حاوی عناصر فلزی‌اند چرخش یابند، میزان غلظت این عناصر در آب به صورت غیرواقعی افزایش می‌یابد. همچنین ممکن است آب‌ها از حوضچه‌های تبخیری بگذرند که میزان غلظت عناصر محلول در آن‌ها زیاد است. بر اثر تهاجم آب‌های معدنی، افزایش غیرطبیعی در غلظت اولیه آب ایجاد می‌شود. از عوامل اصلی دیگر ایجاد آنومالی کاذب آلوده‌کننده‌های صنعتی، مانند اضافه شدن فاضلاب‌های صنعتی کارخانه‌ها، زباله‌ها و مواد حاصل از فرآوری صنایع معدنی است.

شکل آنومالی هیدروژئوشیمیایی نیز از مسایل مهم قابل توجه دیگر در تفسیر داده‌ها است. اگر آبخوان‌ها به شکل بادبزی باشند، در این صورت می‌توان از سیستم منحنی تراز برای نمایش داده‌ها استفاده کرد اما اگر سنگ‌های آذرین و متبلور در محیط باشند و در صورت وجود ساختارهای زیرزمینی مانند درزه و شکستگی، هاله‌های هیدروژئوشیمیایی شکل خطی خواهند داشت و از امتداد ساخت‌های زمین‌شناختی تبعیت می‌کنند.

## ۵-۵- بررسی نسبت یون‌ها

از نمودارهای ترکیبی به عنوان ابزاری مناسب برای شناخت منشا عناصر در آب استفاده می‌شود. غلظت یون‌های حل شده در آب‌های زیرزمینی به ترکیب سنگ مسیر، سرعت و مقدار جریان آب زیرزمینی، واکنش‌های ژئوشیمیایی طبیعی، قابلیت انحلال نمک‌ها و فعالیت‌های بشرزاد بستگی دارد. نسبت یون‌های محلول را با توجه به همبستگی تفسیر می‌کنند. به عنوان مثال با توجه به همبستگی مثبت بین کلسیم و منیزیم و همبستگی مثبت کلسیم با بی‌کربنات و سولفات و با توجه به نتایج ظرفیت اشباع، می‌توان منشا ژئوپس و کربنات را برای کلسیم در نظر گرفت. منشا منیزیم به علت همبستگی مثبت با سولفات را می‌توان مرتبط با کانی‌های سولفات منیزیم دانست. با توجه به همبستگی بین نسبت‌های یونی و همچنین غلظت هر یک از عناصر می‌توان منشا آن عنصر را شناسایی کرد و با توجه به عناصر ردیاب یا معرف برای هر یک از تیپ کانسارهای مورد اکتشاف، به اکتشاف هیدروژئوشیمیایی کانسارها پرداخت. نمودارهای ترکیبی نه تنها به عنوان ابزاری مناسب برای شناخت منشا عناصر در آب‌اند، بلکه در تشخیص فرآیندهای هیدروژئوشیمیایی موثر بر ترکیب آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف دنیا نیز کاربرد دارند.



## ۵-۶- بررسی شاخص‌های اشباع

بررسی مقادیر شاخص‌های اشباع ترکیبات مختلف و ارتباط آن‌ها نیز ابزار مفید دیگری است که برای شناسایی عوامل موثر بر هیدروشیمی آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. شاخص اشباع بر اساس مقایسه ثابت تعادل برای قابلیت انحلال کانی‌ها با ضریب فعالیت یون‌ها در محلول تعیین می‌شود (رابطه ۵-۱).

$$SI = \log (IAP/K_{sat}) \quad (۵-۱)$$

که در آن:

$SI$  شاخص اشباع

$K_{sat}$  ثابت تعادل برای انحلال یک جامد که معمولا ضریب انحلال‌پذیری نامیده می‌شود.

$IAP$  ضریب فعالیت یون‌ها در محلول

برای محاسبه شاخص اشباع کانی‌هایی مانند کلسیت، دولومیت و ژپس از نرم‌افزار PHREEQC استفاده می‌شود. اگر شاخص اشباع صفر باشد کانی در حال تعادل است، در صورتی که مثبت باشد محلول فوق اشباع و نشان‌دهنده رسوب کانی در آب زیرزمینی و در صورتی که منفی (محلول تحت اشباع) باشد، بیانگر انحلال کانی در آب زیرزمینی است. به عنوان مثال منفی بودن شاخص اشباع کانی‌های هالیت، ژپس و آنیدریت بیانگر آن است که این کانی‌ها قابلیت انحلال در آب را دارند. مثبت بودن شاخص اشباع کانی‌های کلسیت، دولومیت و آراگونیت نشان می‌دهد که قابلیت رسوب این کانی‌ها در آب وجود دارد.





# فصل ۶

---

## مراحل مختلف اکتشاف





## ۶-۱- آشنایی

مراحل انجام کارها در اکتشافات هیدروژئوشیمیایی به ترتیبی است که در ادامه تشریح شده است.

## ۶-۲- شناسایی اولیه

در این مرحله زون‌های ساختاری- متالورژیکی مستعد کانی‌سازی با استفاده از نقشه‌های پایه موجود زمین‌شناسی، شناسایی و اولویت‌بندی می‌شوند. برای این کار از داده‌های زمین‌شناسی، زمین‌شناسی اقتصادی، دورسنجی، ژئوفیزیک هوابردی و ژئوشیمیایی موجود استفاده می‌شود.

## ۶-۳- گردآوری داده‌ها، گزارش‌ها و انتخاب محدوده مطالعاتی مناسب

اطلاعات زیر باید در این مرحله گردآوری و استفاده شوند:

- الف- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و یا بزرگتر
- ب- اطلاعات مربوط به آخرین آمار منابع آب از قبیل چاه، چشمه و قنات
- پ- اطلاعات مربوط به چاه‌ها و گمانه‌های اکتشافی
- ت- اطلاعات مربوط به چاه‌ها و گمانه‌های مشاهده‌ای و پیرومتری
- ث- اطلاعات مربوط به شبکه‌های اندازه‌گیری کیفی منابع آب
- ج- اطلاعات هیدروگرافی و کیفیت چشمه‌ها
- چ- اطلاعات و گزارش بررسی‌های آب‌زمین‌شناسی

## ۶-۴- پردازش و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

در این مرحله بانک اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تشکیل می‌شود. لایه‌های اطلاعاتی شامل زمین‌شناسی، ژئوفیزیک، ژئوشیمیایی، دورسنجی، آب‌زمین‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی است. نقشه پایه شامل اطلاعات جغرافیایی، زمین‌شناسی، ساختاری و منابع آب سطحی و زیرزمینی است.

## ۶-۵- مطالعات آب‌زمین‌شناسی

این مطالعات شامل بررسی موارد زیر است:

- الف- بررسی وضعیت چاه‌ها و گمانه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها
- ب- پیشنهاد تکمیل شبکه چاه‌ها و گمانه‌های مشاهده‌ای منطقه



- پ- بررسی‌های ژئوفیزیکی، مقاطع زمین‌شناسی و آبدهی ویژه چاه‌ها و گمانه‌های عمیق منطقه و سایر اطلاعات موجود برای شناخت ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان
- ت- تعیین مشخصات ساختاری منابع آب زیرزمینی
- ث- تعیین ارتباط هیدرولیکی آبخوان با سازندهای مجاور
- ج- تعیین ارتباط هیدرولیکی آبخوان با منابع آب سطحی موجود
- چ- تعیین وضعیت آبخوان تحت فشار و چگونگی ارتباط آن با آبخوان آزاد
- ح- بررسی هیدرولیکی منابع آب زیرزمینی
- خ- تعیین منابع تغذیه آبخوان و برآورد میزان آن
- د- تعیین نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان آزاد و هم‌فشار آبخوان‌های تحت فشار برای زمان‌های حداقل و حداکثر
- ذ- بررسی ارتباط هیدرولیکی بین لایه‌های مختلف آبدار و همچنین منابع آب زیرزمینی متفاوت
- ر- بررسی شرایط مرزی منبع آب زیرزمینی
- ز- تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی منطقه برای دوره‌های حداقل و حداکثر
- ژ- تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی و تعیین شیب سطح ایستابی، مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان، ارتباط بین نوسانات سطح ایستابی و تخلیه طبیعی آبخوان با بارش‌های جوی منطقه

## ۶-۶- تحلیل هیدروژئوشیمیایی اطلاعات موجود

- این تحلیل مطابق مراحل زیر انجام می‌گیرد:
- الف- تهیه نقشه‌های تراز یون‌های کلر، هدایت الکتریکی، TDS و نقشه تیپ آب آبخوان
- ب- تهیه نمودار و مقاطع مختلف کیفیت آب زیرزمینی
- پ- بررسی تغییرات کیفیت آب زیرزمینی در فصل‌های مختلف سال و نمایش آن به صورت نمودار
- ت- بررسی عوامل تغییرات کیفیت آب زیرزمینی

## ۶-۷- طراحی شبکه نمونه‌برداری

- برای طراحی شبکه نمونه‌برداری موارد زیر باید در نظر گرفته شود:
- الف- تعیین مقیاس و اهداف اکتشافی (محلی یا منطقه‌ای)
- ب- انتخاب تعداد ایستگاه‌های نمونه‌برداری
- پ- مکان‌یابی ایستگاه‌های نمونه‌برداری
- ت- تعیین عمق نمونه‌برداری



ث- تعیین برنامه زمان بندی نمونه برداری

#### ۶-۸- نمونه برداری، آماده سازی و تجزیه شیمیایی

رعایت الزامات روش استاندارد نمونه برداری، نگهداری، حمل و نقل و تجزیه شیمیایی به روش مناسب ضروری است. همچنین تضمین و کنترل کیفیت در تمامی مراحل باید مد نظر قرار گیرد.

#### ۶-۹- پردازش داده ها

الف- پردازش های آماری (تک متغیره و چندمتغیره)

ب- مطالعات زمین آماری





جدول ۶-۱- چک لیست فهرست خدمات اکتشاف به روش هیدروژئوشیمیایی

رد	بازنگری	تایید	توضیحات	نوع عملیات
			تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و کارهای انجام شده قبلی	جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد بانک اطلاعاتی
			بررسی وضعیت منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی در منطقه اکتشافی	
			آشنایی با تیپ کانسار و یا کانسارهای مورد اکتشاف در منطقه	
			آشنایی با عنصر و یا عناصر ردیاب اصلی و فرعی برای تیپ کانسار اکتشافی	برنامه‌ریزی برای اکتشاف هیدروژئوشیمیایی
			تهیه طرح و شبکه نمونه‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی	
			مشخص کردن فصل یا فصل‌های نمونه‌برداری	
			تعیین منشا و یا منشاهای احتمالی برای آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی	نمونه‌برداری
			مشخص کردن تیم متخصص نمونه‌برداری	
			<b>تهیه اسناد نمونه‌برداری</b>	
			تهیه فرم‌های نمونه‌برداری	نمونه‌برداری
			تهیه طرح نمونه‌برداری و تعیین نوع منبع آب برای نمونه‌برداری (سطحی-زیرزمینی)	
			تهیه دوربین عکاسی و فیلم‌برداری برای مستندسازی	
			تجهیزات نمونه‌برداری	
			بطری‌های نمونه‌برداری به تعداد لازم	
			تهیه استانداردهای لازم برای کیفیت آب و کیت‌های تیتراسیون	
			دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی	
			<b>جمع‌آوری نمونه‌های آب</b>	
			برداشت نمونه به میزان لازم از محل نمونه‌برداری	
			الف- نمونه‌برداری برای آنیون‌ها	
			ب- نمونه‌برداری برای کاتیون‌ها	
			پ- نمونه‌برداری برای ایزوتوپ‌ها	
			ت- نمونه‌برداری برای مواد آلی، غیرآلی و میکروبیولوژی	
			برچسب زدن بر روی بطری نمونه (زمان نمونه‌برداری، شماره‌گذاری و نظایر آن)	
			جعبه حفاظت برای نمونه‌ها بعد از برداشت	
			فیلتر کردن نمونه‌های مورد نیاز	
			تعیین بعضی از داده‌ها در محل نمونه‌برداری	
			آماده‌سازی نمونه‌های برداشت شده برای هر یک از اهداف	آماده‌سازی و تجزیه نمونه‌ها
			تجزیه آنیون‌ها و کاتیون‌ها به روش یاد شده در فصل ۴	
				پردازش داده‌ها
				تعیین آنومالی‌ها و ارایه پیشنهادات



# فصل ۷

---

## تهیه گزارش پایانی





**۷-۱- چکیده**

چکیده باید شامل هدف اصلی و خلاصه‌ای از موقعیت جغرافیایی، زمین‌شناسی، هیدروژئوشیمی، روش‌های اکتشافی و نتایج حاصل، دستاوردها و پیشنهادهای اکتشافی تکمیلی باشد.

**۷-۲- مقدمه****۷-۳- فهرست**

الف- فهرست مطالب

ب- فهرست شکل‌ها

پ- فهرست جدول‌ها

ت- فهرست نمادها

**۷-۴- فصل اول: مبانی نظری و مرور تحقیقات پیشین**

الف- آشنایی

ب- اهداف اکتشافی

پ- معرفی منطقه مورد مطالعه

ت- مطالعات پیشین در موضوع و روش

ث- مطالعات پیشین در منطقه مورد مطالعه

**۷-۵- فصل دوم: مواد و روش‌ها**

الف- آشنایی

ب- تحلیل اطلاعات موجود

پ- طراحی شبکه نمونه‌برداری

ت- روش نمونه‌برداری

ث- روش آماده‌سازی

ج- روش تجزیه شیمیایی



## ۷-۶- فصل سوم: پردازش داده‌ها

- الف- بررسی صحت و دقت داده‌ها و محاسبات خطا
- ب- پردازش آماری (آمار کلاسیک و زمین‌آمار)
- پ- پردازش داده‌ها

## ۷-۷- فصل چهارم: تفسیر نتایج

- الف- آشنایی
- ب- بررسی ژنتیکی زون‌های کانه‌دار (تفسیر همبستگی‌های خوشه‌ای، فاکتوری و نظایر آن)
- پ- بررسی ارتباط آنومالی‌ها با ساختارهای زمین‌شناسی (گسل‌ها، درزه‌ها و چین خوردگی‌ها)
- ت- بررسی ارتباط آنومالی‌ها با زون‌های کانه‌دار در محدوده مورد مطالعه
- ث- بررسی ارتباط آنومالی‌ها با زون‌های دگرسانی در محدوده مورد مطالعه
- ج- بررسی آنومالی‌ها با کنسارها، اندیس‌ها، معادن فعال و متروکه منطقه مورد مطالعه
- چ- ارزیابی و تفکیک زون‌های آنومالی واقعی از آنومالی‌های کاذب
- ح- تعیین شبکه حفاری در صورت امکان
- خ- تعیین ویژگی‌های زون‌های کانی‌ساز
- د- معرفی مناطق امیدبخش و پتانسیل‌دار برای ادامه عملیات اکتشافی

## ۷-۸- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

- الف- نتیجه‌گیری
- نتایج حاصل از کلیه اطلاعات و اکتشاف‌های انجام شده
- تلفیق نتایج و ارزیابی سطح اطمینان
- آرایه نتیجه‌گیری‌های هیدروژنوشیمیایی
- آرایه نتیجه‌گیری اکتشافی
- ب- پیشنهادها
- پیشنهاد در مورد ادامه مطالعات اکتشافی
- آرایه فهرست خدمات مطالعات اکتشافی بعدی



## ۷-۹- فهرست منابع

الف- فارسی

ب- غیرفارسی

## ۷-۱۰- پیوست‌ها

الف- نتایج تجزیه‌های هیدرووشیمیایی (با سربرگ آزمایشگاه معتبر)

ب- نمودارها و جدول‌های آماری

پ- نقشه‌های آنومالی هیدروژئوشیمیایی و مقاطع





## عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف معدنی	۳۲۸	-
۲	مراحل مختلف اکتشاف زغال سنگ	۳۵۱	-
۳	دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی	۳۷۹	-
۴	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی	۴۹۸	۱۳
۵	دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی - اکتشافی بزرگ مقیاس (مقیاس‌های ۱:۲۵,۰۰۰ و ۱:۲۰,۰۰۰ و رقومی کردن آن‌ها)	۵۳۲	۲۰
۶	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سنگ آهن	۵۳۶	۱۷
۷	علایم استاندارد نقشه‌های زمین‌شناسی	۵۳۹	۲۳
۸	دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵,۰۰۰)	۵۴۰	۲۴
۹	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس	۵۴۱	۲۵
۱۰	فهرست خدمات اکتشافی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (باریت، بنتونیت، زئولیت، سلسنتین، سیلیس، فلدسپار، فلورین)	۵۶۶	۳۶
۱۱	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵۶۷	۳۷
۱۲	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سرب و روی	۵۸۱	۴۰
۱۳	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی اکتشافی به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری در اکتشافات معدنی	۵۹۴	۲۸
۱۴	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف آنتیموان	۵۹۵	۳۴
۱۵	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف کانی‌ها و سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی	۵۹۹	۴۳
۱۶	فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی	۶۱۵	۴۵
۱۷	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان	۶۱۷	۴۷
۱۸	فهرست خدمات و دستورالعمل بررسی‌های چاه‌پیمایی	۶۱۸	۴۸
۱۹	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی	۶۴۸	۵۱
۲۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف قلع	۶۴۹	۵۲
۲۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری عناصر در کانسنگ آهن	۶۵۲	۵۴
۲۲	دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر در نمونه‌های اکتشافی	۶۵۵	۵۵
۲۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی محیط‌های سنگی در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰	۶۷۱	۶۲
۲۴	دستورالعمل یکسان‌سازی اسامی مواد معدنی	۲۳۱	۶۵
۲۵	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، الکترومغناطیسی و پتانسیل خودزا در اکتشافات معدنی	۵۳۳	۶۶
۲۶	دستورالعمل تهیه گزارش پایان عملیات اکتشافی	۴۹۵	۷۰
۲۷	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف طلا	۷۰۳	۷۵
۲۸	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات گرانبها (طلا، نقره و گروه پلاتین)	۷۰۴	۷۸
۲۹	دستورالعمل تهیه طرح اکتشاف مواد معدنی	۷۱۳	۸۰
۳۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف گچ و نمک	۷۲۱	۸۱
۳۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات پایه (مس، روی و سرب)	۷۲۷	۸۲
۳۲	فهرست خدمات اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (پرلیت، دیاتومیت و ورمیکولیت)	۷۲۸	۸۳
۳۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی خاک در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰	۷۳۰	۸۵





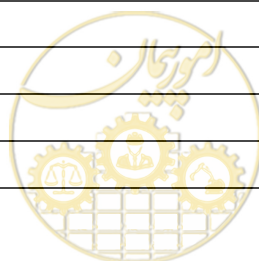
## عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۳۴	راهنمای مطالعات GIS در مقیاس ناحیه‌ای و تعیین نواحی امیدبخش	۷۳۹	۸۷
۳۵	دستورالعمل اکتشاف ناحیه‌ای طلا به روش بلگ	۷۵۱	۹۱
۳۶	دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی	۷۵۵	۹۳
۳۷	دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی	۷۷۴	۱۰۱
۳۸	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی به روش‌های بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی		در دست تدوین
۳۹	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف شوره‌ها		در دست تدوین
۴۰	فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (نسوزها): خاک نسوز، منیزیت- هونتیت، بوکسیت، نسوزهای آلومینو سیلیکاته (کیانیت، سیلیمانیت و آندالوزیت)، گرافیت و دولومیت		در دست تدوین



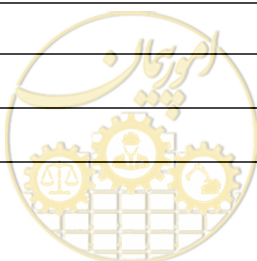
## عناوین پروژه‌های کمیته استخراج بر نامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	عنوان پروژه	ردیف
-	۳۴۰	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه استخراج معدنی	۱
-	۳۵۰	مقررات تهیه در معادن	۲
-	۴۱۰	مقررات فنی مواد منفجره و آتشباری در معادن	۳
۸	۴۴۲	دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن	۴
۹	۴۴۳	راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی	۵
۱۰	۴۸۹	دستورالعمل فنی روشنایی در معادن	۶
۱۸	۴۸۸	دستورالعمل امداد و نجات در معادن	۷
۱۱	۴۹۶	راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن	۸
۱۴	۵۰۶	دستورالعمل ترابری در معادن	۹
۱۹	۵۳۱	دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن	۱۰
۲۱	۵۳۷	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم‌های نگهداری تونل‌های معدنی	۱۱
۲۲	۵۳۸	دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدارسازی شیب‌ها در معادن روباز	۱۲
۲۶	۵۴۲	راهنمای محاسبه قیمت تمام شده در فعالیت‌های استخراج مواد معدنی	۱۳
۲۹	۵۵۳	دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج	۱۴
۳۷	۵۶۷	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۱۵
۳۸	۵۷۳	راهنمای آبکشی در معادن	۱۶
۴۱	۵۷۹	دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفاریات زیرزمینی	۱۷
۴۴	۶۱۱	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی	۱۸
۴۶	۶۱۶	راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن سطحی	۱۹
۴۹	۶۲۳	راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی	۲۰
۵۰	۶۲۵	دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی	۲۱
۵۶	۶۵۶	راهنمای کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معدن	۲۲
۶۰	۶۶۹	راهنمای ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن	۲۳
۶۴	۵۵۸	راهنمای امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی	۲۴
۶۹	۲۸۳	دستورالعمل پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی	۲۵
۷۱	۳۰۴	راهنمای برآورد بار و توزیع برق در معادن	۲۶
۷۶	۷۰۹	راهنمای گاززدایی در معادن زغال‌سنگ	۲۷
۸۴	۷۲۵	راهنمای ابزاربندی و رفتارنگاری در معادن روباز	۲۸
۸۶	۷۲۶	دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری در حفاریات معدنی	۲۹
۸۹	۷۴۶	راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی معدن	۳۰
۹۲	۷۴۸	دستورالعمل مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ساختمان تونل‌ها	۳۱
۹۴	۷۵۶	راهنمای مکان‌یابی و جانمایی تاسیسات و تجهیزات در معادن روباز	۳۲
۹۶	۷۵۸	راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن	۳۳
۹۸	۷۷۰	راهنمای مطالعه مخاطرات طبیعی در ساختمان تونل‌ها	۳۴
۱۰۰	۷۷۵	دستورالعمل ایمنی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ	۳۵
۱۰۲	۷۷۶	دستورالعمل طراحی استخراج معادن سنگ‌های تزئینی و نما	۳۶
در دست تدوین		دستورالعمل کنترل رقیق‌شدگی در معادن	۳۷
در دست تدوین		دستورالعمل تهیه طرح بهره‌برداری	۳۸
در دست تدوین		علائم استاندارد نقشه‌های استخراجی معدن	۳۹



## عناوین پروژه‌های فرآوری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزئینی و نما	۳۷۸	-
۲	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه فرآوری مواد معدنی	۴۴۱	۷
۳	فهرست خدمات مرحله طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی	۴۹۷	۱۲
۴	علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۱۵
۵	راهنمای نرم‌افزاری علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۲۷
۶	ضوابط مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۱۵	۱۶
۷	ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ	۵۴۴	۳۱
۸	راهنمای انتخاب و محاسبه ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه کانه‌آرایی	۵۴۵	۳۲
۹	راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۵۹	۳۳
۱۰	راهنمای سنگ‌جوری مواد معدنی به روش‌های دستی یا خودکار	۵۵۴	۳۰
۱۱	راهنمای حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای کانه‌آرایی	۵۶۴	۳۹
۱۲	شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی	۵۶۵	۳۵
۱۳	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵۶۷	۳۷
۱۴	معیارهای فنی انتخاب آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۵۸۰	۴۲
۱۵	دستورالعمل کنترل و خنثی‌سازی آرسنیک، سولفید و سیانید در آزمایشگاه‌های فرآوری	۶۵۱	۵۳
۱۶	دستورالعمل نمونه‌برداری در کانه‌آرایی	۶۶۰	۵۷
۱۷	دستورالعمل تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف	۶۶۱	۵۸
۱۸	راهنمای آزمایش‌های جدایش ثقلی در مقیاس آزمایشگاهی	۶۶۲	۵۹
۱۹	راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی	۶۷۰	۶۱
۲۰	راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی	۶۷۲	۶۳
۲۱	راهنمای آزمایش‌های خشک‌کردن، تشویه و تکلیر در مقیاس آزمایشگاهی	۳۷۲	۶۷
۲۲	راهنمای پذیرش و نگهداری نمونه‌های معدنی در آزمایشگاه کانه‌آرایی	۶۸۰	۶۸
۲۳	راهنمای پوشش و تجهیزات حفاظتی کارکنان در واحدهای کانه‌آرایی	۵۱۴	۷۲
۲۴	راهنمای مخلوط‌سازی بار ورودی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی	۵۷۲	۷۳
۲۵	فهرست کنترل کیفی بار ورودی، مواد در گردش و محصولات واحدهای کانه‌آرایی	۷۰۸	۷۷
۲۶	دستورالعمل دانه‌بندی مواد معدنی	۷۱۰	۷۹
۲۷	راهنمای نرم‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی	۷۳۸	۸۸
۲۸	راهنمای آماده‌سازی نمونه در آزمایشگاه کانه‌آرایی	۷۴۹	۹۰
۲۹	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های کانه‌آرایی	۷۵۷	۹۵
۳۰	راهنمای آزمایش‌های هیدرومتالورژی در مقیاس آزمایشگاهی	۷۵۹	۹۷
۳۱	راهنمای فرآوری کانسنگ‌های پلاستی آهن	۷۷۲	۹۹
۳۲	فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۳	راهنمای محاسبات در آزمایش‌های کانه‌آرایی	در دست تدوین	





## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی 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 فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی [nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir) قابل دستیابی می باشد.





**Islamic Republic Of Iran  
Plan and Budget Organization**

# **Instruction for Hydrogeochemical Exploration**

**No.774**

Deputy of Technical, Infrastructure and  
Production Affairs

Department of Technical and Executive  
Affairs

Consultants and Contractors

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

Ministry of Industry, Mine and Trade  
Deputy of Mine Affairs and Mineral  
Industries

Office for Mining Supervision Affairs

<http://www.minecriteria.mimt.gov.ir>

**2019**



## در این نشریه

روش اکتشاف هیدروژئوشیمیایی برای اکتشاف منابع و ذخایر معدنی پنهان ارایه و روش تعیین غلظت فلزات گرانبها و عناصر هم‌پاراژنز آن همراه با مراحل نمونه‌برداری، آماده‌سازی و تجزیه و تحلیل نتایج، شرح داده شده است.

