

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور

دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در

مطالعات کارست و سازندهای سخت

نشریه شماره ۵۴۶

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

<http://seso.moe.org.ir>

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۰۳۹۱۴	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۸۹/۱۲/۱۴	
موضوع: دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت		

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی - مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویبنامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۴۶ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، با ارسال نسخه‌ای از آن به دفتر نظام فنی اجرایی رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

ابراهیم عزیزی

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، 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 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- 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 دفتر 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 صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

[Email:tsb.dta@mporg.ir](mailto:tsb.dta@mporg.ir)

[web: http://tec.mporg.ir/](http://tec.mporg.ir/)

بسمه تعالی

پیشگفتار

امروزه ردیابی آب‌های زیرزمینی در مقایسه با گذشته کاربرد بسیار گسترده‌تر یافته است. به‌ویژه در جوامع توسعه‌یافته، گذشته از بررسی ارتباط هیدرولیکی و ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان، ارزیابی منشا و گسترش آلودگی از مهم‌ترین کاربردهای این روش است. در کشور ما نیز همگام با فرآیند توسعه و با رشد فزاینده صنعت سدسازی و مطالعات منابع آب در حوضه‌های گوناگون، روش ردیابی آب‌های زیرزمینی نیز افزایش چشمگیری در کاربرد داشته است. برای مثال می‌توان به کاربرد فزاینده این روش در ارزیابی تراوایی تکیه‌گاه‌های سدهای در دست ساخت در کشور اشاره نمود. البته آشکار است که جایگاه زمانی استفاده از این روش در یک برنامه سدسازی در فاز مطالعات و بعد از به انجام رسیدن مطالعات ژئوفیزیک و هیدروژئولوژی و همچنین پس از انجام حفاری‌های ژئوتکنیک خواهد بود. در مورد کاربرد این روش در محیط‌های آبرفتی نیز بی‌شک پیش‌نیاز یک برنامه ردیابی آب زیرزمینی، مطالعات کلاسیک هیدروژئولوژی بوده تا به‌این ترتیب از یافته‌های بررسی مزبور در طراحی عملیات ردیابی آب زیرزمینی بهره مناسبی برده شود.

با توجه به فراوانی روش‌ها، دستگاه‌ها و ردیاب‌های مورد استفاده در کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته جهان، امروزه نیاز به تهیه یک راهنمای مطالعاتی همخوان با نیازهای فنی کنونی کشور بیش‌تر احساس می‌شود.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه نشریه «دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت» را با هماهنگی دفتر نظام فنی اجرایی معاونت نظارت راهبردی رییس جمهور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی اجرایی کشور به معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (دفتر نظام فنی اجرایی) ارسال نمود که پس از بررسی، بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران و طبق نظام فنی اجرایی کشور (مصوب شماره ۳۳۴۹۷/ت/۴۲۳۳۹-هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردید.

بدین وسیله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور از تلاش و جدیت سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان محترم دفتر نظام فنی اجرایی و نماینده محترم مجری طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد حاج رسولیها و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزد منان توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران را آرزومند می‌باشد.

امید است متخصصان و کارشناسان با ابراز نظرات خود درخصوص این نشریه ما را در اصلاحات بعدی یاری فرمایند.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۹

ترکیب اعضای تهیه کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این دستورالعمل با هماهنگی دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور توسط **موسسه تحقیقات آب با مسوولیت آقای مهندس حمیدرضا جهانی** و کارشناسان زیر تهیه شده است. اسامی این افراد به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر می باشد:

آقای فرهاد اسفندیاری	کارشناس آزاد	فوق لیسانس مهندسی زمین شناسی
آقای عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
آقای علیرضا افتخاری	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	دکترای آب های زیرزمینی
آقای حمیدرضا جهانی	موسسه تحقیقات آب	فوق لیسانس مهندسی آب های زیرزمینی
آقای منوچهر سپاسی	کارشناس آزاد	دکترای زمین شناسی آب
آقای عباس هنرمند	کارشناس آزاد	فوق لیسانس فیزیک و فوق لیسانس مهندسی آب شناسی

گروه نظارت که مسوولیت نظارت تخصصی بر تدوین این دستورالعمل را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای احمد افراسیابیان	مرکز ملی مطالعات و تحقیقات سازندهای سخت	دکترای آب شناسی (هیدروژئولوژی کارست)
خانم فیروزه امامی	کارشناس آزاد	لیسانس زمین شناسی
آقای مرتضی پاکزاد	کارشناس آزاد	دکترای مکانیک خاک
آقای مهراپروز مدنژاد	سازمان انرژی اتمی کشور	دکترای شیمی

اعضای کمیته تخصصی مدیریت منابع آب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و تایید دستورالعمل حاضر را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

آقای احمد ابریشمچی	دانشگاه صنعتی شریف	دکترای منابع آب
آقای عبدالوحید آغاسی	دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی	دکترای منابع آب
خانم مریم رحیمی فراهانی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو	فوق لیسانس عمران آب
خانم صدیقه ترابی پلت کله	وزارت نیرو	دکترای منابع آب
آقای بهرام ثقفیان	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	دکترای منابع آب
آقای فضلعلی جعفریان	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس زمین شناسی
آقای عباسقلی جهانی	کارشناس آزاد	فوق لیسانس مهندسی هیدرولوژی
آقای پیمان دانش کارآراسته	دانشگاه بین المللی امام خمینی	دکترای علوم و مهندسی آبیاری
آقای چنگیز فولادی	شرکت پیماب	دکترای هیدرولیک
آقای جمشید موسوی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای منابع آب

گروه هدایت و کنترل پروژه:

آقای علیرضا دولتشاهی دفتر نظام فنی اجرایی

خانم فرزانه آقارمضانعلی دفتر نظام فنی اجرایی

خانم ساناز سرافراز دفتر نظام فنی اجرایی

لیسانس مهندسی کشاورزی

فوق لیسانس مهندسی صنایع

فوق لیسانس مهندسی منابع آب

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۵	فصل اول - کلیات
۷	۱-۱- کلیات و بررسی‌های مقدماتی
۷	۱-۱-۱- گردآوری گزارش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه
۷	۱-۱-۲- بررسی‌های اولیه صحرایی بازدید هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی (محدوده مورد مطالعه)
۷	۱-۱-۳- بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی و سازندهای سخت
۱۳	فصل دوم - تعریف و طبقه‌بندی انواع ردیاب‌ها
۱۵	۱-۲- کلیات
۱۵	۲-۲- ویژگی‌های ردیاب‌ها
۱۵	۳-۲- انواع ردیاب‌های متداول
۱۹	فصل سوم - تنظیم برنامه زمانی مطالعات و گروه مطالعاتی
۲۱	۱-۳- کلیات
۲۱	۲-۳- سرفصل‌های برنامه زمانی ردیابی ایزوتوپی محیطی
۲۱	۳-۳- سرفصل‌های برنامه زمانی ردیابی رنگی و شیمیایی (نمک‌های معدنی)
۲۲	۴-۳- تخصص‌های لازم در تیم مطالعاتی
۲۲	۳-۴-۱- گروه مطالعاتی ردیابی غیر ایزوتوپی
۲۲	۳-۴-۲- گروه مطالعاتی ردیابی ایزوتوپی
۲۵	فصل چهارم - تعیین ضوابط انتخاب ردیاب مناسب و تعیین محدودیت‌ها و ضوابط اجرای کار از نظر زیست محیطی
۲۷	۱-۴- ضوابط انتخاب ردیاب مناسب
۲۸	۲-۴- محدودیت‌ها و ضوابط اجرای کار از نظر زیست محیطی
۲۹	فصل پنجم - تعیین ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای تزریق و نمونه‌برداری
۳۱	۱-۵- کلیات
۳۱	۲-۵- ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای تزریق
۳۲	۳-۵- ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای نمونه‌برداری
۳۲	۳-۵-۱- نقاط نمونه‌برداری ایزوتوپ‌های محیطی
۳۲	۳-۵-۲- نقاط نمونه‌برداری ردیاب‌های مصنوعی
۳۵	فصل ششم - تزریق ردیاب و ضوابط مربوط به آن
۳۷	۱-۶- تشریح روش‌های تزریق

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۳۷	۶-۱-۱- ماده رنگی
۳۹	۶-۱-۲- نمک‌های معدنی
۳۹	۶-۱-۳- مواد دودی و گازی
۳۹	۶-۱-۴- مواد رادیوایزوتوپ
۴۰	۶-۱-۵- مواد جامد
۴۰	۶-۲- ضوابط انتخاب روش مناسب تزریق
۴۰	۶-۳- مقدار مناسب ردیاب‌های مصنوعی
۴۱	۶-۴- ضوابط انتخاب زمان تزریق
۴۳	فصل هفتم- نمونه‌برداری و ضوابط مربوط به آن
۴۵	۷-۱- تشریح روش‌های نمونه‌برداری
۴۶	۷-۱-۱- مراحل نمونه‌برداری ایزوتوپی
۴۸	۷-۱-۲- نمونه‌برداری یون‌ها و نمک‌های معدنی
۴۹	۷-۱-۳- نمونه‌برداری مواد رنگی
۴۹	۷-۲- ضوابط انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه‌برداری
۵۰	۷-۲-۱- نمونه‌برداری ایزوتوپ‌های محیطی
۵۰	۷-۲-۲- نمونه‌برداری رنگی و یون‌ها و نمک‌های معدنی
۵۱	فصل هشتم- تشریح دستگاه‌ها و تجهیزات لازم در عملیات تزریق، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صحرائی
۵۳	۸-۱- دستگاه‌ها و تجهیزات عملیات تزریق (ردیاب‌های رنگی)
۵۳	۸-۲- دستگاه‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری (ردیاب‌های رنگی)
۵۴	۸-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری صحرائی
۵۵	فصل نهم- تشریح روش‌های آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها و سامانه‌های لازم برای سنجش‌های آزمایشگاهی
۵۷	۹-۱- نمونه‌های ماده رنگی، یون‌ها و نمک‌های معدنی
۵۷	۹-۲- نمونه‌های کربن-۱۴
۵۷	۹-۳- عملیات صحرائی تکمیلی
۵۷	۹-۴- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای سنجش ایزوتوپ‌های رادیو اکتیو
۵۷	۹-۴-۱- سامانه اندازه‌گیری کربن-۱۴
۵۸	۹-۴-۲- سامانه اندازه‌گیری تریتیوم
۵۹	۹-۵- تجهیزات و دستگاه‌های لازم در سنجش ایزوتوپ‌های پایدار (کربن ۱۳، اکسیژن ۱۸، دوتریوم)

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۶۰	۹-۶- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای تجزیه کامل شیمیایی
۶۰	۹-۷- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای اندازه‌گیری ردیاب‌های مصنوعی
۶۰	۹-۷-۱- رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی
۶۰	۹-۷-۲- ردیاب‌های رنگی
۶۳	فصل دهم- تشریح روش‌های سنجش و اندازه‌گیری آزمایشگاهی، محاسبات و تهیه نمودارهای لازم
۶۵	۱۰-۱- روش‌های سنجش و اندازه‌گیری آزمایشگاهی
۶۵	۱۰-۱-۱- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو
۶۶	۱۰-۱-۲- ایزوتوپ‌های پایدار
۶۷	۱۰-۱-۳- یون‌ها و نمک‌های معدنی
۶۷	۱۰-۱-۴- ردیاب‌های رنگی
۶۸	۱۰-۲- محاسبات
۶۸	۱۰-۲-۱- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو
۶۹	۱۰-۲-۲- ایزوتوپ‌های پایدار (اکسیژن-۱۸، دوتریوم)
۷۰	۱۰-۲-۳- محاسبات مربوط به آزمایش شیمیایی
۷۰	۱۰-۲-۴- محاسبات مربوط به مواد رنگی
۷۰	۱۰-۳- تهیه دیاگرام‌ها و گراف‌ها
۷۰	۱۰-۳-۱- تهیه دیاگرام‌ها و گراف‌های مربوط به ایزوتوپ‌های رادیواکتیو
۷۱	۱۰-۳-۲- تهیه دیاگرام‌ها و گراف‌های مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار
۷۱	۱۰-۳-۳- کردارهای مربوط به تجزیه کامل شیمیایی
۷۲	۱۰-۳-۴- دیاگرام‌ها و گراف‌ها و محاسبات مربوط به مواد رنگی
۷۵	فصل یازدهم- تشریح ارزیابی و تفسیر نتایج و نتیجه‌گیری نهایی در مسیر اهداف مورد نظر
۷۷	۱۱-۱- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو
۷۷	۱۱-۱-۱- کربن-۱۴
۷۷	۱۱-۱-۲- تریتیوم
۷۸	۱۱-۲- ایزوتوپ‌های پایدار
۸۰	۱۱-۳- شیمیایی
۸۰	۱۱-۴- ردیاب‌های رنگی
۸۱	فصل دوازدهم- تهیه گزارش
۸۵	منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

عنوان

صفحه

۱۱	نمودار ۱-۱- نوسانات تریتیوم در جو نسبت به زمان
۴۷	شکل ۱-۷- نمونه‌برداری کربن-۱۴ به روش رسوب
۴۸	شکل ۲-۷- نمونه‌برداری کربن-۱۴ به روش گازی
۵۹	شکل ۱-۹- نمای شماتیک شمارنده گازی
۵۹	شکل ۲-۹- نمایی از بیناب سنج جرمی (IRMS) گازی، با هر دو ورودی جریان پیوسته و دوگانه
۶۱	شکل ۳-۹- نمایی از یک دستگاه اسپکتروفلوئوریمتر
۷۱	شکل ۱-۱۰- رابطه اکسیژن- ۱۸ و دوتریوم
۷۳	شکل ۲-۱۰- کردارهای زمان - غلظت در حالت‌های مختلف ضریب پخشیدگی آبخوان
۷۹	شکل ۱-۱۱- رابطه کربن-۱۴ و کربن-۱۳

فهرست جدول‌ها

عنوان

صفحه

۱۶	جدول ۱-۲- گزیده‌ای از ویژگی‌های برخی از ردیاب‌های رنگی فلئورسنت
۵۰	جدول ۲-۷- فواصل زمانی نمونه‌برداری با توجه به فاصله بین نقاط تزریق و نمونه‌برداری برای ردیاب‌های مصنوعی
۶۷	جدول ۱-۱۰- جدول فروپاشی تریتیوم نسبت به زمان

مقدمه

نخستین آزمایش ردیابی ثبت شده در تاریخ به بیش از ۱۹۰۰ سال پیش باز می‌گردد. در این آزمایش از خرده‌های کاه برای پی بردن به سرچشمه رودخانه‌ای در اردن استفاده شد. از آن پس تاکنون روش‌های گوناگون ردیابی به وسیله بشر به کار گرفته شده است. هم‌اکنون در مطالعات منابع آب زیرزمینی و همچنین شاخه‌های دیگر منابع آب مانند آب‌های سطحی، یخ و برف و دیگر شاخه‌های مهندسی روش‌های ردیابی کارآیی گسترده‌ای دارند.

در گذشته کاربرد عمده ردیاب‌ها در آب‌های زیرزمینی در پی بردن به مواردی همچون جهت، مسیر، سرعت و زمان عبور آب بوده است. امروزه با توجه به روند رو به افزایش آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، علاوه بر موارد فوق مواردی همچون پخشیدگی و انتقال آلاینده‌ها نیز مورد توجه می‌باشد. به منظور شناخت و حفاظت کیفی منابع آب داشتن دانشی دقیق از رفتار مواد آلاینده در درون این سیستم ضروری است که به کمک روش‌های ردیابی می‌توان این رفتار را تا حدود زیادی شبیه‌سازی نمود.

مطالعات ردیابی آب‌های زیرزمینی همیشه بعد از انجام مطالعات کلاسیک هیدروژئولوژی و انجام بررسی‌های ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی معمول انجام می‌پذیرد. همچنین به کارگیری ردیاب‌ها در منابع آب‌های زیرزمینی براساس ویژگی‌های آبخوان و خصوصیات ردیاب صورت می‌گیرد. گاهی اوقات خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان محدودیت‌هایی را برای استفاده از برخی ردیاب‌ها به وجود می‌آورد. علاوه بر ویژگی‌های فوق عوامل دیگری مانند اثرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نیز ممکن است بر نتایج ردیابی تاثیرگذار باشد.

ردیابی یکی از روش‌های کاربردی است که در مطالعات منابع آب و ژئوتکنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در یک برنامه سیستماتیک، مطالعات ردیابی هنگامی در پهنه‌های کارستی و سازندهای سخت انجام می‌شود که قبلاً مطالعات زمین‌شناسی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمی، هیدرولوژی، ژئوفیزیک، حفاری و چاه‌نگاری در منطقه مورد نظر انجام گرفته باشد و با وجود انجام آنها برای روشن شدن بعضی از ابهامات نیاز به بررسی‌های ردیابی باشد. به عبارت دیگر چنانچه از بررسی‌های مزبور پاسخ کامل به دست نیامده و هنوز ابهاماتی به جای مانده باشد، از ردیابی استفاده می‌شود و به این ترتیب در وقت و هزینه صرفه جویی خواهد شد. به همین جهت ردیابی از جمله روش‌های تکمیلی است که در مراحل پایانی مطالعات سیستماتیک منابع آب و ژئوتکنیک به کار می‌رود. در مطالعات ردیابی با توجه به گسترش منطقه مورد مطالعه از ایزوتوپ‌های محیطی و ردیاب‌های مصنوعی (شیمیایی، رنگی...) استفاده می‌شود. باید توجه داشت اگر عملیات ردیابی طبق دستورالعمل و با رعایت احتیاط‌های لازم انجام نگیرد، نه تنها مفید نمی‌باشد، بلکه نتایج گمراه‌کننده‌ای را نیز بدنبال خواهد داشت.

با توجه به لزوم توجه بیشتر به روش‌های کاربردی، در این نشریه روش‌هایی که در آنها از ردیاب‌هایی همچون هاگ، گرده، صوت، دود و... استفاده می‌شود (با توجه به این که مورد قابل توجهی از استفاده آنها در کشور یافت نشده) پوشش داده نشده است. در عوض توجه ویژه به روش‌های ردیابی رنگی، شیمیایی و ایزوتوپی محیطی معطوف شده است.

با توجه به این که بخش‌هایی از این نشریه به شرح روش‌های آزمایشگاهی و محاسبات مربوط اختصاص یافته است، توجه به این نکته مهم ضروری است که برای هر یک از روش‌های مزبور باید اقدام به تهیه دستورالعمل جداگانه شود. در این نشریه ضمن اشاره به سرفصل‌های اصلی روش‌های مزبور، در هر مورد به دستورالعمل آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، یا انتشارات داخلی ارجاع داده شده است.

هدف -

هدف از «دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت» ارائه مجموعه‌ای از راهنمایی‌ها به کارشناس و پژوهش‌گر است تا بر پایه آنها بتواند با کم‌ترین هزینه و خطای ممکن، آزمایش ردیابی را انجام و نتایج به دست آمده را تحلیل نماید. این راهنمایی‌ها حاصل تجربه نویسندگان بوده و کارشناس یا پژوهش‌گر باید در تحلیل نتایج به دست آمده، خود را محدود به شیوه‌های ارائه شده نماید و از قضاوت مهندسی خود نیز کمک گیرد.

از جمله مهم‌ترین هدف‌های مطالعات ردیابی آب‌های زیرزمینی، می‌توان موارد زیر را نام برد:

الف - اهداف کیفی

اهداف عمده کیفی عبارتند از:

- تعیین منشأ آب
- نحوه ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی و سازندهای سخت با یکدیگر
- نحوه ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌های کارستی و غیر کارستی
- نحوه ارتباط هیدرولیکی حوضه‌های آبریز
- تعیین گستره حوضه آبریز چشمه‌ها
- تعیین مناطق تغذیه آبخوان
- تعیین مناطق تخلیه آبخوان
- نحوه ارتباط هیدرولیکی بین جریان‌های آب‌های زیرزمینی وسط‌حی و بالعکس
- تعیین نوع تغذیه آبخوان
- تعیین گستره آبخوان
- تعیین مسیر آب زیرزمینی
- تعیین نوع جریان (افشان، مجرای، ورقه‌ای، متلاطم)
- تعیین عوامل تکتونیک در هدایت جریان
- بررسی سرحد آب‌های شور و شیرین
- تعیین منشأ آلاینده‌های آبخوان
- تعیین نحوه پراکندگی آلاینده
- تشخیص درجه کارستی شدن
- تعیین محل تراوش^۱ و نشست آب^۲
- تشخیص وجود غار و فضاهای فراخ در مسیر جریان آب زیرزمینی
- تعیین سطوح اصلی فرسایش محلی و منطقه‌ای

ب- اهداف کمی

اهداف عمده کمی عبارتند از تعیین:

- سن آب‌های زیرزمینی
- مقدار تغذیه آبخوان
- مقدار تخلیه آبخوان
- میزان اختلاط آبخوان
- سهم آب ورودی‌ها در حجم آب خروجی (خروجی‌ها)
- ارتفاع منطقه تغذیه
- سرعت جریان آب زیرزمینی
- حجم دینامیکی آبخوان
- ضریب پخشیدگی آلاینده‌ها
- متوسط زمان تاخیر

- دامنه کاربرد

در این راهنما روش‌های گوناگون ردیابی آب‌های زیرزمینی در محیط‌های کارستی و سازندهای سخت مورد اشاره قرار گرفته است. با این وجود، با هدف تمرکز بیش‌تر بر روش‌های کاربردی، به روش‌هایی که در آنها از ردیاب‌های همچون هاگ، گرده، صوت، دود و... استفاده می‌شود (با توجه به این که مورد قابل توجهی از استفاده آنها در کشور یافت نشده) پرداخته نشده است. در عوض به روش‌های ردیابی رنگی فلئورسنت، شیمیایی و ایزوتوپی محیطی توجه ویژه‌ای شده است. همچنین با وجودی که بخش‌هایی از این نشریه به شرح روش‌های آزمایشگاهی و محاسبات مربوط اختصاص یافته است، روش‌های سنجش آزمایشگاهی به تفصیل مورد توجه قرار نگرفته‌اند و ضروری است که برای هر یک از روش‌های مزبور اقدام به تهیه راهنما یا دستورالعمل جداگانه شود.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- کلیات و بررسی‌های مقدماتی

۱-۱-۱- گردآوری گزارش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه

- الف - گردآوری و بررسی و ارزیابی گزارشات و اسناد و نقشه‌های موجود از منطقه در رابطه با ردیابی شامل: زمین‌شناسی، زمین‌شناسی ساختمانی، توپوگرافی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمی، ژئوتکنیک، هیدرولوژی، ژئوفیزیک سطحی و زیر سطحی، کردار^۱ چاه‌ها، زمین ریخت‌شناسی، و غیره
- ب - بررسی و ارزیابی گزارش‌های ردیابی قبلی منطقه در صورت وجود
- ج - پیشنهاد تکمیل مدارک موجود

۱-۱-۲- بررسی‌های اولیه صحرایی بازدید هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی (محدوده مورد مطالعه)

- الف - بازدید محلی از کلیه منابع آبی محدوده مورد مطالعه نظیر چاه‌ها، قنات، چشمه‌ها، رودخانه‌ها، مسیل‌ها، برکه‌ها و غیره و کسب اطلاعات محلی لازم از افراد بومی در مورد تغییرات کمی و کیفی آنها.
- ب - بازدید محلی از سازندهای تشکیل‌دهنده منطقه، گسل‌ها، درزه‌ها، شکاف‌های عمده و سیماهای کارستی و غیره.
- ج - تعیین محدوده مطالعاتی و منابع آب انتخابی با توجه به گزارشات موجود، بررسی‌های اولیه صحرایی، هدف پروژه و تهیه برنامه عملیات صحرایی برای تکمیل داده‌های مورد نیاز.
- د- ابلاغ آن بخش از عملیات صحرایی تکمیلی که به عهده کارفرماست به کارفرما از قبیل آماده‌سازی راه‌های دسترسی به منابع آبی، نقشه‌برداری مورد نیاز، اندازه‌گیری بده منابع آبی انتخابی مشاور، حفر گمانه‌های جدید در صورت نیاز و تجهیز و نگهداری آنها در طول مطالعات با توجه به دستور العمل موسسه انجام دهنده ردیابی.
- ه - اجرای عملیات صحرایی تکمیلی توسط موسسه انجام دهنده ردیابی شامل:
- نمونه‌برداری از منابع آب انتخابی برای تجزیه کامل شیمیایی و ایزوتوپی و نمونه‌برداری از آب باران برای تجزیه ایزوتوپی.
 - اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی شامل دمای آب، pH و EC آب در منابع آب انتخابی.

۱-۱-۳- بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های کارستی و سازندهای سخت

۱-۱-۳-۱- مفاهیم

واژه کارست بیانگر سیمای خاص ریخت‌شناسی و هیدرولوژیکی در سنگ‌های انحلال‌پذیر نظیر سنگ‌های کربناته و تبخیری است که می‌تواند منجر به تشکیل آبخوان شود [۱].

کلیه سازندهایی که تحت تاثیر فرآیندهای مختلف بجز فرآیند انحلال‌پذیری حاوی درز و شکاف شده و شرایط تشکیل آبخوان را فراهم می‌آورند، سازند سخت نامیده می‌شود.

۱-۱-۳-۲- ویژگی‌های عمده آبخوان‌های کارستی

الف - ویژگی‌های ریخت‌شناسی

آبخوان‌های کارستی دارای سیمایها و نهشته‌های خاصی هستند که عبارتند از سیمایهای انحلالی نظیر کارن، دولین، حفره فروک، دره کارست، غا، مغار، پولزه، پانو، چشم، استاول و غیره. همچنین الگوی شبکه زهکشی حوزه‌های کارستی به‌گونه‌ای است که در آن رودخانه‌های گمشده به‌خوبی ملاحظه می‌شوند. از نهشته‌های کارستی می‌توان مروراید غار، آبشار، بند تراورتنی، کفه آهکی، هاوارا، استلاکتیت، استلاگمیت، تراس‌های تراورتنی و نظایر آن را نام برد.

ب - ویژگی‌های هیدرولوژیکی

- جریان‌های سطحی

جریان‌های سطحی داریم در کارست معمولاً اساس میزان فرسایش را تشکیل می‌دهند. جریان‌های سطحی موقت در طول فصل مرطوب جریان دارند، به وفور مشاهده می‌شود. این‌گونه جریان‌های فصلی در کارست در نتیجه برخورد با سیمایهای مختلف کارستی نظیر پانور و ... در طول مسیر خود با کاهش کمی جریان مواجه هستند و گاه باعث ایجاد رودخانه‌های گمشده و دره‌های خشک می‌شوند.

- جریان‌های زیرزمینی

جریان زیرزمینی در این محیطها شامل جریان‌های قائم نزولی (رو به پایین) و جریان‌های جانبی و جریان‌های سیفونی است. حرکت غالب آب زیرزمینی را معمولاً موقعیت سطح فرسایش تعیین می‌کند، ولی عوامل دیگری نظیر ساختارهای زمین‌شناسی و تغییر سنگ‌شناسی^۱ و ... نیز در آن دخالت دارند. از عمده ویژگی‌های جریان آب در کارست چندشاخگی^۲ و آب‌ربایی^۳ است. با تغییر سطح ایستابی، جهت حرکت آب زیرزمینی در کارست نیز ممکن است تغییر یابد، به عبارت دیگر در تراز مشخصی از سطح ایستابی، آب در جهت خاصی جریان دارد و به هنگام افزایش این تراز جهت جریان متعدد می‌شود.

- سرعت جریان

سرعت جریان آب زیرزمینی در کارست از رژیم ورقه‌ای^۴ تا متلاطم^۵ متغیر است.

- سطح ایستابی

سطح ایستابی در این محیطها ناپیوسته است و نوسان شدید سطح ایستابی معمولاً در دوره مرطوب و تغییرات کند آن در دوره خشک روی می‌دهد. این نوسان معمولاً در افق ذخیره دینامیکی صورت می‌گیرد و شیب عمومی این سطوح به‌طرف سطح فرسایش یافته است.

-
- 1- Litology
 - 2- Bifurcation
 - 3- Piracy
 - 4- Laminar
 - 5- Turbulent

ج - ویژگی های هیدرودینامیکی

آبخوان های کارستی منابع آب زیرزمینی ناهمگن و غیریکنواخت هستند. نظر به این که کارستی شدن فرآیند دینامیکی است و سبب توسعه و تکامل آن می شود بنابراین موقعیت و ابعاد هندسی این آبخوان ها پیوسته تغییر می کند. از اهم خصوصیات این آبخوان ها می توان ضریب فروکش^۱، تخلخل موثر، ضریب قابلیت انتقال و ضریب پخشیدگی^۲ را نام برد.

د - آلودگی

پتانسیل آلودگی آبخوان های کارستی شدید و سریع است. با استفاده از فنون ردیابی طبیعی و مصنوعی می توان مسایل آلودگی این آبخوان ها را مورد بررسی قرارداد.

۱-۱-۳-۳-۱-۱- ویژگی های عمده آبخوان های سازندهای سخت

نظر به این که سازندهای سخت از نظر هیدروژئولوژیکی دارای تخلخل اولیه بسیار ناچیزی هستند در اثر عواملی نظیر تکتونیک، هوازدگی، خروج گازها و دارای تخلخل ثانویه مناسب برای تشکیل آبخوان می شوند. این آبخوان ها ریخت شناسی خاصی ندارند. ابعاد هندسی این آبخوان ها نسبتا ثابت و در طول زمان توسعه چندانی نمی یابند. خصوصیات هیدروژئولوژیکی این آبخوان ها شبیه آبخوان های کارستی است با این تفاوت که فرآیند کارست پدیده دینامیکی است.

۱-۱-۳-۴- تشریح اصول مطالعات هیدروژئولوژی ایزوتوپی

برای ۹۲ عنصر در طبیعت بیش از ۱۰۰۰ ایزوتوپ وجود دارد که اغلب ایزوتوپ های محیطی نامیده می شوند. این ایزوتوپ های محیطی به دو گروه ایزوتوپ های پایدار و ایزوتوپ های ناپایدار تقسیم می شوند. اغلب ردیاب های ایزوتوپی پایدار با محیط واکنش نشان نداده و از اهمیت به سزایی در تعیین منشا آب زیرزمینی برخوردار هستند و از این نظر بر آنیون ها و کاتیون های موجود در آب ارجحیت دارند. این نکته به ویژه از آنجا دارای اهمیت است که ویژگی های شیمیایی آب تنها در موارد معدودی می توانند به عنوان ردیاب محیطی موثر باشند. زیرا در بیش تر موارد بین محیط جریان و آب واکنش رخ می دهد و این امر سبب می شود، ماهیت شیمیایی آب تنها به عنوان ابزاری برای شناخت منشا و مسیر جریان به کار آید و کمکی به شناخت هیدرولیک جریان ننماید. حال آن که ترکیب ایزوتوپ های پایدار آب تا حد زیادی مستقل از محیط است. ایزوتوپ های ناپایدار معمولا در تعیین سن آب زیرزمینی بسیار مهم هستند.

الف - ایزوتوپ های پایدار

ایزوتوپ های پایدار را می توان نوعی ردیاب طبیعی در نظر گرفت که با سرعت میانگین جریان آب زیرزمینی حرکت کرده و کاربرد ویژه ای در تعیین مناطق تغذیه و تعیین درجه اختلاط آب های با منشا گوناگون دارند. رایج ترین ایزوتوپ های پایدار مورد استفاده در مطالعات ردیابی اکسیژن - ۱۸ و دوتریوم است.

1- Recession Coefficient
2- Dispersion Coefficient

محتوای ایزوتوپ‌های پایدار نمونه‌ها را با دلتا (δ) نشان می‌دهند که برای هر ایزوتوپ عبارت است از نسبت در هزار اختلاف نسبت ایزوتوپی نمونه و استاندارد بر استاندارد که مثلاً برای اکسیژن $18-18$ به ترتیب زیر نشان داده می‌شود:

$$\delta O^{18} = \left[\frac{(O^{18} / O^{16})_{\text{sample}} - (O^{18} / O^{16})_{\text{standard}}}{(O^{18} / O^{16})_{\text{standard}}} \right] (1000) \quad (1-1)$$

برای بارندگی هر منطقه خاص، رابطه بین δO^{18} و δO^{16} تقریباً خطی است و می‌توان آن را به طور تجربی به صورت یک خط آب جوی^۱ نشان داد.

جدایش ایزوتوپی^۲ اکسیژن- 18 و دوتریوم که فرآیندی وابسته به دما و جرم است، در حین تغییرات فازی منجر به غنی شدن^۳ محتوای ایزوتوپی می‌شود. آبی که در معرض تبخیر قرار گرفته به دلیل سنگین تر بودن اکسیژن- 18 در مقایسه با دوتریوم، نسبت به این ایزوتوپ غنی تر خواهد شد.

با توجه به تاثیر پدیده جدایش ایزوتوپی از دما بارش‌های زمستانی از نظر محتوای اکسیژن- 18 و دوتریوم در مقایسه با بارش‌های تابستانی تهی تر^۴ است (اثر دما). همین‌طور با توجه به جدایش ایزوتوپ‌های سنگین تر در فاز بخار، بارش‌های ابتدای هر بارندگی از نظر محتوای ایزوتوپ‌های پایدار غنی تر از بارش‌های پایان آن بارندگی هستند (اثر جرم). این پدیده‌ها سبب می‌شوند که بتوان از ایزوتوپ‌های پایدار به عنوان ردیاب طبیعی استفاده کرد. بنابراین می‌توان به منشا آب‌های مختلف و الگوی اختلاط بین آب‌های مختلف پی برد.

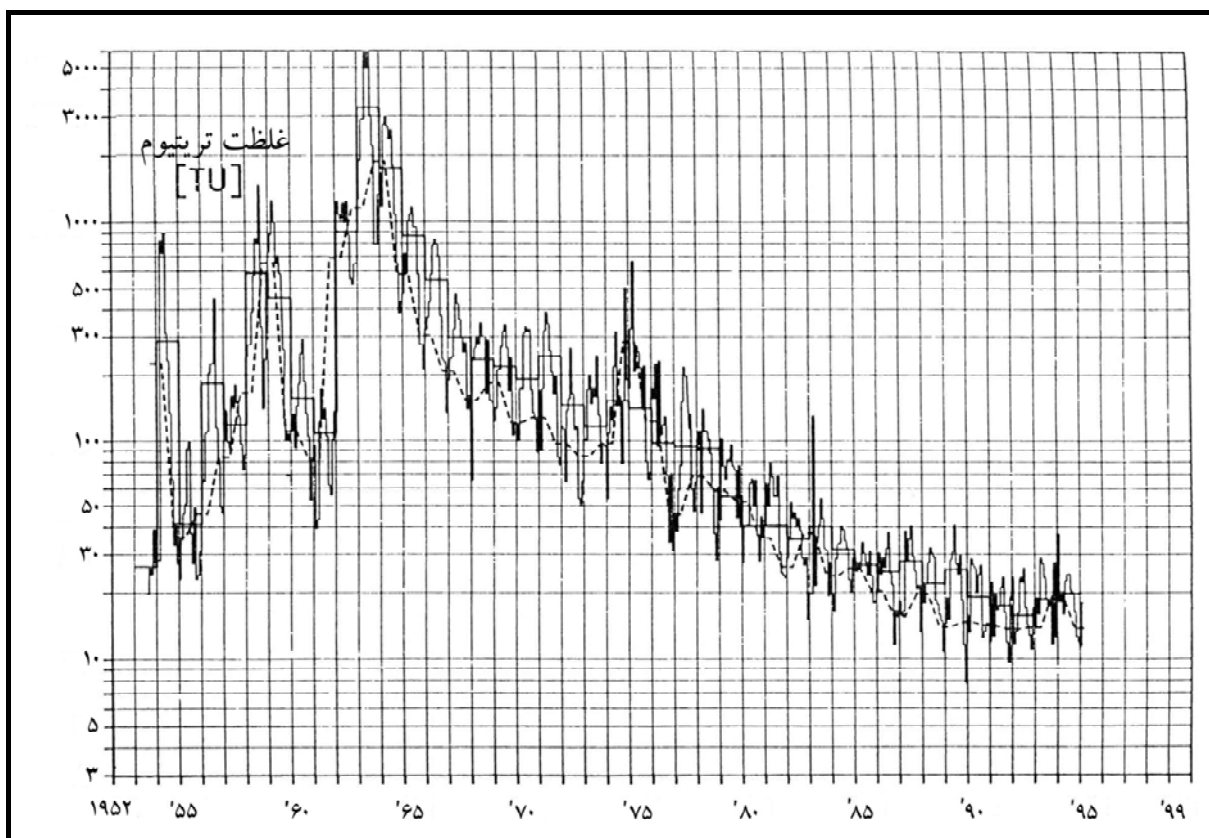
ب- ایزوتوپ‌های ناپایدار

اهمیت ویژه ایزوتوپ‌های ناپایدار در تعیین سن آب است. رایج ترین ایزوتوپ‌های ناپایدار در هیدرولوژی ایزوتوپی تریتیوم و کربن- 14 ^۵ هستند. از کلر- 36 ^۶ نیز می‌توان در تعیین سن آب‌های زیرزمینی خیلی قدیمی استفاده کرد. تریتیوم با نیمه عمر $12/43$ سال در مقادیر جزئی در طبیعت تولید می‌شود. آزمایش‌های هسته‌ای سال‌های 1952 تا 1963 منجر به افزایش تریتیوم بارندگی از 5 تا 10 TU^۷ در دهه 1940 ، به 100 تا 5000 TU در دهه 1960 شد. غلظت حداکثر تریتیوم در سال 1963 رخ داده است (نمودار ۱-۱) هم اکنون غلظت تریتیوم در بارندگی حدود 10 تا 30 TU است. تریتیوم در آب زیرزمینی هیچ‌گونه واکنش شیمیایی با آب و محیط ندارد. عمده کاربرد تریتیوم شامل موارد زیر است:

- تشخیص آب‌های ورودی به آبخوان پیش از 1952 و پس از آن

- تخمین سرعت جریان آب زیرزمینی

- 1- Meteoric Water Line
- 2- Isotopic Fractionation
- 3- Enrichment
- 4- Depleted
- 5- Radio Carbon
- 6- Radio Chloride
- 7- Tritium Unit



نمودار ۱-۱- نوسانات تریتیوم در جو نسبت به زمان [۲۰]

کربن-۱۴ نیمه عمری برابر ۵۷۳۰ سال دارد. مانند تریتیوم مقادیر اندک کربن-۱۴ در جو تولید می‌شود و نیز مانند تریتیوم پس از آزمایش‌های هسته‌ای مقادیر زیادی از این ایزوتوپ وارد جو شده است. به دلیل نیمه عمر طولانی آن، می‌توان از این ایزوتوپ برای تعیین سن آب‌های زیرزمینی جوان‌تر از ۳۰۰۰۰ سال استفاده کرد. رژیم هیدروژئولوژیک همخوان با چنین زمان ماندگاری را می‌توان در حوضه‌های آبریز بزرگ مقیاس و نیز آبخوان‌هایی با ضخامت زیاد و تراوایی پایین یافت. به کمک اندازه‌گیری کربن-۱۴ و برخی پارامترهای دیگر می‌توان در حوضه‌های آبریز بزرگ درباره مواردی همچون اختلاف سن منابع آب، مناطق تغذیه و سرعت‌های جریان اظهار نظر کرد. استفاده از کربن-۱۴ با پیچیدگی‌هایی نیز همراه است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- انحلال کانی‌های کربناته یا اکسیداسیون موادآلی ممکن است منجر به افزوده شدن کربن «مرده»^۱ به آب و جایگزینی آن با کربن-۱۴ شده و در تعیین سن خطا ایجاد کند که روش‌های گوناگونی برای اصلاح این خطا وجود دارد که در فصل‌های بعد به آن اشاره خواهد شد.
- اختلاط آب‌های گوناگون: مقادیر کم کربن-۱۴ می‌تواند هم نشان دهنده آب قدیمی و هم مخلوطی از آب جوان و آب خیلی قدیمی باشد. بنابراین تنها در مواردی می‌توان مقادیر اندک کربن-۱۴ را تفسیر کرد که اختلاط آب قابل ملاحظه نباشد.

کلر-۳۶ دارای نیمه عمری برابر با ۳۰۰۰۰۰ سال است. این ایزوتوپ ناشی از واکنش تابش‌های کیهانی با جو است و برای تعیین سن آب‌های بسیار قدیمی با سنی حدود یک میلیون سال مورد استفاده قرار می‌گیرد. از نکات منفی استفاده از این ایزوتوپ فراوانی بسیار اندک آن و پیچیدگی و گرانیقیمت بودن هزینه‌های اندازه‌گیری آن است.

فصل ۲

تعریف و طبقه‌بندی انواع رديابها

۱-۲- کلیات

ردیاب‌ها انواعی از ماده یا انرژی هستند که به منظور تعیین توزیع زمانی و مکانی آب و مواد آلاینده آن در منابع آب به کار می‌روند [۱].

۲-۲- ویژگی‌های ردیاب‌ها

از جمله ویژگی‌های عمده ردیاب‌ها عبارتند از [۱۹، ۲۵]:

- پایداری ردیاب در طول مدت عملیات ردیابی
 - بی خطر بودن برای محیط زیست حتی در غلظت کم
 - امکان استفاده توأم از ردیاب‌های مختلف
 - امکان آشکارسازی با دقت بالا در غلظت کم
 - انحلال‌پذیری در آب
 - قابلیت جدایش از محیط زیست
- ضوابط انتخاب ردیاب مناسب در بند ۴-۱ ارائه خواهد شد.

۲-۳- انواع ردیاب‌های متداول

انواع ردیاب‌های متداول در مطالعات آب‌های زیرزمینی به شرح زیر هستند [۲۵].

الف- ردیاب‌های طبیعی (محیطی)

- ایزوتوپ‌های محیطی پایدار نظیر اکسیژن-۱۸، دوتریوم و کربن-۱۳
 - ایزوتوپ‌های محیطی پرتوزا (ناپایدار) نظیر کربن-۱۴ و تریتیوم
- از بین ردیاب‌های فوق اکسیژن-۱۸، دوتریوم و تریتیوم بخشی از مولکول آب هستند.
- ردیاب‌های میکروارگانیک نظیر باکتری‌های دی سولفوویبریو و ویروس‌های حیوانی و باکتریایی
 - یون‌های موجود در آب
 - گازهای کمیاب موجود در آب نظیر کریپتون، هلیوم و آرگون
 - دمای آب
 - پالس‌ها (ضربان)

ب- ردیاب‌های مصنوعی (افزودنی)

- ردیاب‌های رنگی
- ردیاب‌های رنگی فلئورسنت

چون بیش‌ترین ردیاب‌های رنگی تحت نام‌های تجاری مختلف در دسترس هستند لذا داشتن شاخص رنگ^۱ یا نام ژنریک آنها برای جلوگیری از سردرگمی ضروری است (جدول ۱-۲).

جدول ۱-۲- گزیده‌ای از ویژگی‌های برخی از ردیاب‌های رنگی فلئورسنت [۲۳]

نام ماده رنگی فلئورسنت	نام عمومی (شاخص رنگ)	ماکزیمم طول موج برانگیختگی (nm)	ماکزیمم طول موج انتشاری (nm)	حداقل غلظت قابل تشخیص	اثر pH بر شدت	کاهش ماده رنگی ناشی از پدیده جذب	نرخ تجزیه فتوشیمیایی	حساسیت نسبت به دما	اثر سمی بر روی موجودات	قابل استفاده برای ردیابی به صورت	
										کیفی	کمی
اورانین (فلئورسین سدیم)	ACID YELLOW (CI 45350)	۴۹۲	۵۱۳	۰/۰۰۱ در pH > ۹	در محیط اسیدی به سمت صفر	کم	زیاد	کم و معکوس	کم	بلی	بلی
پیرانین	SOLVENT GREEN 7 (CI 59040)	۴۰۵ و ۴۶۵	۵۱۲	۰/۰۰۸ در pH > ۱۰	در محیط اسیدی ماکزیمم	کم	خیلی زیاد	کم و معکوس	کم	بلی	خیر
ائوزین	ACID RED 87 (CI 45380)	۵۱۵	۵۳۵	۰/۰۱ در pH > ۹	در PH کم‌تر از ۵/۵ به سمت صفر	کم	-	-	کم	بلی	بلی
سولفو رودامین جی	ACID RED 50 (CI 45220)	۵۳۵	۵۵۵	۰/۰۰۵	بدون اثر	-	-	کم	-	بلی	-

مواد رنگی تولیدی توسط کارخانجات مختلف ممکن است در طول موج برانگیختگی و طول موج انتشاری به اندازه ± 5 نانومتر متفاوت باشد. حداقل غلظت قابل تشخیص مندرج در جدول در آب مقطر است. استفاده از رودامین بی در مناطق نزدیک به منابع آب آشامیدنی به هیچ وجه مجاز نیست.

از ردیاب‌های رنگی می‌توان مواد زیر را ذکر کرد:

- فلئور سئین سدیم یا اورانین که محلول آن سبز رنگ است. ($C_{20}H_{10}O_5Na_2$)
- پیرانین که محلول آن به رنگ سبز متمایل به زرد است. ($C_{16}H_7O_{10}S_3Na_3$)
- ائوسین که محلول آن به رنگ نارنجی است. ($C_{20}H_6Br_4O_5Na_2$)
- سولفورودامین جی که محلول آن به رنگ قرمز است. ($C_{25}H_{25}O_7N_2S_2Na$)
- رودامین بی که محلول آن به رنگ قرمز متمایل به آبی است. ($C_{28}H_{31}ClN_2O_3$)
- رودامین WT که محلول آن به رنگ قرمز است. ($C_{29}H_{29}N_2O_5Na_2$)

مقادیر جذب ماده رنگی در محیط‌های ریزدانه رسی برای رودامین WT 2٪ و برای رودامین بی ۹۶٪ و برای سولفورودامین-بی ۶۵٪ گزارش شده است.

- ردیاب‌های رنگی غیرفلئورسنت نظیر:
پرمنگنات پتاسیم
اریتروزین (قرمز کنگو)
متیلن آبی

- ردیاب‌های ایزوتوپی پرتوزا نظیر:
کبالت -۶۰ (Co)
کبالت -۵۸ (Co)
کرم -۵۱ (Cr)

همچنین مواد پرتوزای گاما نیز قسمتی از این گروه هستند.

ایزوتوپ‌های قابل فعال شدن نظیر:
برم -۸۰ (Br)
لاتانیوم (La)
ایندیوم -۱۱۶ (In)
ید -۱۳۰ (I)

- ردیاب‌های جامد (نامحلول) نظیر:
پودریونولیت
باکتری‌ها
خاک اره
گرده‌های گیاهی
کاه
مخمرها

- نمک‌های معدنی نظیر:
نمک طعام (NaCl)
کلرور کلسیم (CaCl_۲)
کلرور پتاسیم (KCl)
کلرور لیتیم (LiCl)

- ردیاب‌های دودی و گازی

این نوع ردیاب‌ها به منظور تعیین خصوصیات افق تهویه (ناحیه غیراشباع) پهنه‌های کارست به کار می‌رود.

- پاک‌کننده‌ها (شوینده‌ها)

- هالوکربنها

- اسیدهای آلی فلئوری شده

دو مورد آخر ردیاب‌هایی هستند که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار می‌گیرند. نظر به این که از بین ردیاب‌های فوق روش‌های ایزوتوپی، رنگی و شیمیایی متداول‌تر است، لذا تمام مراحل کاری برای سه روش مذکور ارائه خواهد شد.

فصل ۳

تنظیم برنامه زمانی مطالعات و گروه

مطالعاتی

۱-۳- کلیات

در تنظیم برنامه زمانی مطالعات لازم است، موارد زیر مد نظر قرار گیرد و برای هر یک از موارد با توجه به گسترش منطقه، هدف و حجم پروژه زمان متناسب تنظیم شود.

- بازدید صحرایی اولیه از منطقه مورد مطالعه
- جمع‌آوری و بررسی کلیه مدارک و گزارشات موجود مربوط
- بررسی‌های اولیه صحرایی شامل بررسی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه بر اساس بندهای فوق پس از انتخاب نوع ردیابی ادامه برنامه به شرح زیر است.

۲-۳- سرفصل‌های برنامه زمانی ردیابی ایزوتوپی محیطی

- شناسایی و انتخاب منابع آبی و تهیه نقشه موقعیت آنها
- نمونه‌برداری آب و انجام عملیات صحرایی
- ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه
- انجام آزمایش‌های ایزوتوپی نمونه‌ها
- انجام تجزیه کامل شیمیایی نمونه‌ها
- محاسبات مربوط و رسم نمودارها و نقشه‌ها و ...
- تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده
- ارائه گزارش

۳-۳- سرفصل‌های برنامه زمانی ردیابی رنگی و شیمیایی (نمک‌های معدنی)

- شناسایی و انتخاب منابع آبی و تهیه نقشه و موقعیت آنها
- تعیین نقاط تزریق و نمونه‌برداری
- انجام نمونه‌برداری‌های زمینه^۱
- انجام عملیات صحرایی
- عملیات تجهیز کارگاه، آماده‌سازی ردیاب و تزریق
- نمونه‌برداری و انجام سایر عملیات صحرایی مورد لزوم
- ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه
- انجام تجزیه‌های (آنالیزهای) آشکارسازی و فیزیکو شیمیایی نمونه‌ها
- محاسبات مربوط و رسم نمودارها و نقشه‌ها و ...

- تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده
- ارائه گزارش

۳-۴- تخصص‌های لازم در تیم مطالعاتی

نظر به این‌که کار ردیاب‌های ایزوتوپی و غیر ایزوتوپی به تخصص‌های متفاوتی نیازمند است، حداقل گروه مطالعاتی و تخصص‌های لازم در هر یک به شرح زیر است.

۳-۴-۱- گروه مطالعاتی ردیابی غیر ایزوتوپی

این گروه متشکل از دو گروه برای عملیات صحرائی و آزمایشگاهی است.

الف - گروه عملیات صحرائی و تحلیل نتایج

- یک نفر با مدرک حداقل کارشناسی ارشد در رشته‌های هیدروژئولوژی و یا مهندسی آب‌های زیرزمینی با ۵ سال سابقه کار در مطالعات ردیابی غیر ایزوتوپی در محیط‌های کارستی به عنوان سرپرست پروژه
- دونفر با مدرک کارشناسی در رشته‌های زمین‌شناسی یا مهندسی محیط زیست یا مهندسی عمران آب با حداقل ۵ سال سابقه کار در زمینه آب‌های زیرزمینی
- دو نفر با مدرک کاردانی آب با ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب
- دو نفر با مدرک دیپلم با ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب
- چهار نفر کارگر ساده
- دو نفر راننده برای دو وسیله نقلیه مجزا

ب - گروه عملیات آزمایشگاهی

- دو نفر کارشناس شیمی با ۵ سال سابقه کار در زمینه تجزیه‌های شیمیایی و شیمی دستگاهی
- یک نفر دیپلم با ۵ سال سابقه کار در آزمایشگاه شیمی

۳-۴-۲- گروه مطالعاتی ردیابی ایزوتوپی

تخصص‌های لازم برای عملیات صحرائی و آزمایشگاهی به شرح زیر است.

الف - عملیات صحرائی و تحلیل نتایج

- یک نفر با مدرک حداقل کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی یا مهندسی آب‌های زیرزمینی با ۱۰ سال سابقه کار در مطالعات ردیابی ایزوتوپی در محیط‌های کارستی به عنوان سرپرست پروژه
- یک نفر با مدرک کارشناس زمین‌شناسی یا مهندسی محیط زیست یا مهندسی عمران آب با ۵ سال سابقه کار در زمینه آب‌های زیرزمینی

- یک نفر با مدرک کاردانی با ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب
- یک نفر با مدرک دیپلم با ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب
- دو نفر کارگر ساده
- یک نفر راننده برای یک وسیله نقلیه

ب- عملیات آزمایشگاهی

- یک نفر کارشناس ارشد فیزیک یا شیمی با سابقه ۱۰ سال کار در زمینه تجزیه‌های (آنالیزهای) ایزوتوپی به عنوان سرپرست عملیات آزمایشگاهی
- یک نفر کارشناس شیمی یا فیزیک با ۵ سال سابقه کار در زمینه سنجش‌های ایزوتوپ‌های پایدار (اکسیژن-۱۸، دوتریوم و کربن-۱۳)
- یک نفر کارشناس شیمی یا فیزیک با ۵ سال سابقه کار در زمینه سنجش کربن-۱۴
- یک نفر کارشناس شیمی یا فیزیک با ۵ سال سابقه کار در زمینه سنجش تریتیوم

فصل ۴

تعیین ضوابط انتخاب ردیاب مناسب و

تعیین محدودیت‌ها و ضوابط اجرای

کار از نظر زیست محیطی

۴-۱- ضوابط انتخاب ردیاب مناسب

با توجه به ویژگی‌های مذکور (در فصل ۲) در انتخاب ردیاب‌های مناسب باید موارد زیر نیز مورد توجه قرار گیرد:

- هدف از اجرای پروژه
 - ابعاد پروژه
 - خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه
 - عدم واکنش ردیاب با آب و یا سازند
 - عدم رسوب ردیاب در طول مسیر جریان
 - عدم تاثیر روی خصوصیات فیزیکوشیمیایی آب
 - امکان تشخیص سریع ردیاب با غلظت کم در آب و در محل به منظور اعمال تغییرات لازم در برنامه کاری
 - قیمت ردیاب و وجود آن در بازار و دسترسی آسان به آن
 - سهولت دسترسی و عدم پیچیدگی وسایل مورد نیاز برای تشخیص ردیاب
 - غلظت زمینه
 - کمیت آب زیرزمینی
 - سهولت انحلال در آب (در مورد مواد رنگی و شیمیایی)
 - سهولت انجام عملیات صحرائی (عملیات تزریق و نمونه برداری) و آزمایشگاهی
- در به کارگیری برخی از ردیاب‌ها توجه به نکات زیر ضروری است:
- نظر به تغییرات دما در محیط‌های گرمایی (هیدرو ترمال) استفاده از ماده رودامین- بی در این محیط‌ها توصیه نمی‌شود، زیرا این ماده در دمای بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد تجزیه نمی‌شود.
 - استفاده از مواد رنگی کاتیونی بازیک (نظیر رودامین- بی) در محیط‌هایی که حاوی مواد دانه‌ریز (رس - خاک سرخ - Terra Rossa) می‌باشند، توصیه نمی‌شود.
 - از مواد رنگی غیر فلئورسنت فقط در محیط‌هایی که طول مسیر جریان آب کوتاه و همچنین زمان تماس ردیاب با محیط و آب کم باشد، می‌توان استفاده کرد.
 - در صورتی که پروژه نیاز به استفاده هم‌زمان از ردیاب‌های رنگی مختلف داشته باشد، لازم است مواد رنگی به گونه‌ای انتخاب شود که تداخل طول موجی نداشته و امکان جدایش طیفی آنها به راحتی میسر باشد.
- در صورت استفاده از نمک‌های معدنی به عنوان ردیاب توجه به نکات زیر ضروری است:
- عواملی نظیر گسترش عدسی‌های رسی، pH آب، غلظت زمینه یون در آب زیرزمینی و محدودیت روش‌های اندازه‌گیری از محدودیت‌های استفاده از این نوع ردیاب‌ها به شمار می‌آیند. ردیاب‌های آنیونی معمولاً نه تنها تمایلی به جذب ندارند، بلکه به تبادل یونی نیز تمایل نشان نمی‌دهند ولی با حضور کانی‌های رسی و در pH پایین تبادل یونی صورت می‌گیرد.
 - ردیاب‌های کاتیونی به شکل فراوان تری با کانی‌های رسی از طریق فرایند تبادل کاتیونی واکنش خواهند داشت به خصوص در آبخوان‌های با قابلیت تراوایی و نرخ جریان کم [۲۷].

موضوع مهم دیگر در کاربرد ردیاب‌های یونی به غلظت زمینه بالای ردیاب در آب زیرزمینی است که تحت چنین شرایطی نیاز به تزریق ردیاب با غلظت بالا است که ممکن است منجر به جدایش چگالی در طول آزمایش ردیابی و در نتیجه تغییر الگوی جریان، تغییر درجه تبادل یونی و رسوب شیمیایی ثانوی (تغییر قابلیت تراوایی آبخوان) شود. بنابراین از محدودیت‌های دیگر استفاده از این نوع ردیاب نیاز به حجم بالای ردیاب و کاربرد آن در مسیرهای کوتاه جریان را ذکر کرد.

۴-۲- محدودیت‌ها و ضوابط اجرای کار از نظر زیست محیطی

نظر به اثرات زیان‌بار زیست محیطی ردیاب‌های ایزوتوپی پرتوزا استفاده از هر نوع آنها باید با کسب مجوز از آژانس بین‌المللی انرژی اتمی از طریق سازمان انرژی اتمی ایران صورت پذیرد. ردیاب باید:

- برای موجودات زنده و محیط زیست از هر نظر بی‌خطر باشد (استفاده از رودامین بی در مناطق نزدیک به منابع آب آشامیدنی به هیچ وجه مجاز نیست).
- آلوده کننده نباشد که منجر به غیر قابل استفاده شدن آب شود.
- روی طعم و بوی آب اثر نگذارد، به خصوص اگر آب برای مقاصد حساسی به کار می‌رود.
- سمی و خطرناک نباشد.
- از تجزیه شیمیایی آن مواد خطرناک به وجود نیاید که برای محیط زیست زیان‌بار باشد.

به طور کلی در استفاده از هرگونه ردیاب (به ویژه ردیاب‌های رنگی فلئورسنت) باید به برگه‌های استاندارد ایمنی مربوط یا برگه‌های MSDS^۱ مراجعه کرده و مشخصات مربوط را گزارش کرد. برگه‌های مزبور را در کارخانه تولید کننده، ارائه می‌کند. برای اطلاع از جزییات بیش‌تر به دستورالعمل‌های زیست محیطی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور مراجعه شود.

فصل ۵

**تعیین ضوابط انتخاب منابع آب
مناسب برای تزریق و نمونه برداری**

۱-۵- کلیات

انتخاب منابع آب بر اساس هدف مطالعه، خصوصیات هیدروژئولوژیکی، سیمایهای زمین ریخت‌شناسی، تجربیات آزمایش قبلی (در صورت انجام شدن) و اظهارات افراد بومی صورت می‌گیرد.

به طور کلی موارد زیر باید در مورد نقاط تزریق و نمونه برداری مورد نظر قرار بگیرند:

- امکان دسترسی به نقاط تزریق و نمونه برداری
- امکان اجرای عملیات تزریق و نمونه برداری

۲-۵- ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای تزریق

معمولا کیفیت نتایج به دست آمده در یک ردیاب مصنوعی تا حد زیادی بستگی به انتخاب نقطه تزریق دارد، به همین دلیل انجام این کار مستلزم صرف دقت و مطالعات زیادی است. در این انتخاب که تا حد زیادی بستگی به هدف طرح و نتایج مطالعات قدیمی (کلاسیک) دارد، باید به نکات زیر توجه شود. در صورت عدم وجود نقاط تزریق مناسب یا عدم دسترسی به آنها، کارفرما باید با هماهنگی مشاور و رعایت استانداردهای موجود، اقدام به حفر چاه یا گمانه مناسب برای تسهیل دسترسی به آن و تزریق نماید.

- وجود ارتباط هیدرولیکی بین نقاط انتخابی تزریق با آبخوان
- بالا بودن رقوم سطح آب در منبع تزریق نسبت به منابع آب نمونه برداری
- امکان بهره برداری حداکثر از عملیات تزریق
- تناسب تعداد نقاط تزریق با توجه به هدف طرح
- امکان دسترسی به آب برای آماده سازی مواد ردیاب و سپس عملیات تکمیلی نظیر (شستشوی منبع تزریق)
- عدم استفاده همزمان از یک نقطه برای تزریق ردیاب‌های مختلف
- آماده سازی پانورهای مستغرق موجود در پلژه های سیلابی برای تزریق و دریافت ردیاب
- منابع تزریق می‌تواند طبیعی و مصنوعی بوده که منابع تزریق طبیعی شامل سیمایهای کارستی است که عمده آنها عبارتند از:
 - پانورها
 - استاولها (این سیمای فقط در دوره‌ای به عنوان نقطه تزریق به کار می‌رود که نقش یک حفره بلعنده را ایفا کند).
 - حفره‌های بلعنده
 - حفره‌های فروکش

منابع تزریق مصنوعی عبارتند از چاه‌ها و گمانه‌ها. در این صورت باید چاه‌هایی با آبدهی بالا انتخاب شود و در مورد گمانه‌ها، تزریق در افق‌های با تراوایی بالاتر صورت گیرد.

۳-۵- ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای نمونه‌برداری

در انتخاب نقاط نمونه‌برداری نیز هدف طرح و نتایج مطالعات قدیمی (کلاسیک) باید در نظر گرفته شود. این انتخاب باید به گونه‌ای باشد که نمونه‌های برداشت شده معرف آب آبخوان بوده و از توزیع مکانی مناسبی در منطقه برخوردار باشند. در صورت عدم وجود نقاط نمونه‌برداری مناسب یا عدم دسترسی به آنها، کارفرما باید با هماهنگی مشاور و رعایت استانداردهای موجود اقدام به حفر گمانه یا چاه مناسب یا تسهیل دسترسی به آن برای نمونه‌برداری کند.

۱-۳-۵- نقاط نمونه‌برداری ایزوتوپ‌های محیطی

نظر به این که در مطالعات ردیابی ایزوتوپ‌های محیطی لازم است از کلیه منابع آب منطقه شامل جوی، سطحی، زیرسطحی و زیرزمینی نمونه برداشت شود و با عنایت به این که در انتخاب نقاط نمونه‌برداری این نوع ردیاب‌ها، توزیع ارتفاع نقاط نیز باید مد نظر قرار گیرد لذا منابع آبی زیر می‌تواند به عنوان نقاط نمونه‌برداری انتخاب شود:

- چشمه‌ها (دایم و موقت)
- ایستگاه‌های برف سنجی و باران سنجی
- گمانه‌ها
- چاه‌هایی که شستشو و توسعه آن پایان یافته و ترجیحاً داراینگار (لوگ) زمین‌شناسی باشد، اعم از چاه‌های عمیق، نیمه عمیق، آرتزین و دستی
- مادر چاه قنات و در صورت عدم دسترسی به مادر چاه، مظهر قنات
- چشمه‌های زیر دریایی
- استاول‌ها، در صورتی که این سیما به صورت چشمه عمل کند
- محل آب‌های فرورو نظیر حفره‌های فروکش و شفت‌ها (میله چاه)
- زهکش‌ها
- نقاط بالادست و پایین‌دست جریان‌های سطحی (رودخانه‌ها)
- داخل گودال‌ها
- داخل غارها

به منظور نمونه‌برداری از آب‌های جوی لازم است از ایستگاه‌های باران سنجی و برف سنجی منطقه به عنوان نقاط نمونه‌برداری استفاده شود، در صورت عدم وجود این ایستگاه‌ها نقاطی به عنوان محل نمونه‌برداری آب‌های جوی باید در نظر گرفته شود. در مورد چشمه‌های انتخابی دایم که به عنوان منابع شاخص منطقه است و همچنین چشمه‌های موقت، ترجیحاً نمونه‌برداری باید از مظهر و یا نزدیک‌ترین نقطه به مظهر صورت گیرد. در ضمن باید دقت شود که از منبع و یا محل تجمع آب نمونه‌برداری نشود.

۲-۳-۵- نقاط نمونه‌برداری ردیاب‌های مصنوعی

کلیه منابعی که در بند ۲-۵ معرفی شد، می‌تواند برای این نوع ردیابی هم به کار رود. به استثنا محل‌های نمونه‌برداری که برای آب‌های جوی و نیز آب‌های فرورو ذکر شده است که در این گونه ردیاب‌ها مطرح نیست. همچنین در مورد نمونه‌برداری برای ردیابی

شیمیایی نباید از مظهر قنات نمونه برداری نمود، زیرا به دلیل جریان آب در بخش خشک کار قنات، آب در مظهر قنات معرف نمونه واقعی آب زیرزمینی نیست.

همچنین در انتخاب نقاط نمونه برداری باید ضوابط زیر رعایت شود:

- پایین بودن رقوم سطح آب نقاط نمونه برداری نسبت به منبع تزریق
- آلوده نبودن منابع نمونه برداری با هیدروکربورها و مواد ارگانیکی و نظایر آن
- تناسب تعداد منابع نمونه برداری با توجه به هدف طرح

فصل ٦

تذریق ردیاب و ضوابط مربوط به آن

۶-۱- تشریح روش‌های تزریق

بسته به نوع نقاط تزریق در کارست (سیماهای طبیعی کارستی یا چاه و گمانه) می‌توان از دو شیوه تزریق ثقلی و تزریق تحت فشار استفاده کرد. برای سیماهای کارستی و نیز چاه و گمانه از روش تزریق ثقلی استفاده می‌شود که به دو صورت لحظه‌ای و پیوسته با آبدهی ثابت صورت می‌گیرد.

در مواردی مانند آبخوان‌های تحت فشار و یا برای پی بردن به ارتباط هیدرولیکی بین دو یا چند نقطه می‌توان از روش تزریق تحت فشار استفاده کرد. به این منظور از تجهیزات حفاری با روش مسدودکننده منفرد یا مسدودکننده مضاعف نیز می‌توان برای تزریق ردیاب به داخل آبخوان استفاده کرد.

برای انتخاب هر یک از صور فوق می‌توان به عواملی نظیر قدرت بلع و فروکشی ردیاب توسط منبع تزریق اشاره کرد، همچنین در صورتی که مواد رادیواکتیو (در صورت داشتن مجوز از سازمان انرژی اتمی ایران) به کار رود از روش لحظه‌ای باید استفاده کرد. در صورت نیاز به انجام تزریق آزمایشی باید طبق روش‌های موجود در منابع [۲۶] عمل شود.

در صورت استفاده از چاه یا گمانه به عنوان نقاط تزریق می‌توان روش‌های تزریق را به دو نوع تک چاهی و چند چاهی تقسیم کرد که البته در سازندهای کارستی با توجه به نا همگنی محیط از روش تک چاهی استفاده نمی‌شود. در زیر به تشریح روش‌های انجام تزریق ردیاب‌های مختلف پرداخته می‌شود:

۶-۱-۱- ماده رنگی

عملیات تزریق ماده رنگی توسط گروه تزریق متشکل از حداقل یک نفر کارشناس هیدروژئولوژی و یک نفر تکنسین با تجربه و دو نفر کارگر انجام می‌شود.

الف - مرحله قبل از تزریق

- انتخاب و آماده‌سازی محل تزریق

نقاط تزریق لازم است قبل از اجرای عملیات تزریق آماده‌سازی شود. بر اساس ضوابط بند ۵-۱ نقاط تزریق می‌تواند گمانه / چاه یا پانور / استاول و نظایر آن باشد:

• گمانه / چاه

در این نقاط (ضمن این که باید براساس دستورالعمل‌های موجود حفر شده باشند) لازم است، عملیات شستشو و توسعه انجام گیرد تا اطمینان حاصل شود که در دیواره و کف آنها هیچ‌گونه مواد رسی وجود نداشته باشد و سپس در چاه‌های قائم نصب شیلنگ پلاستیکی با قطر حداقل ۲ اینچ تا افق تزریق و در چاه‌های مایل نصب لوله فلزی از سر چاه تا حداقل عمق مورد نظر تزریق ضروری است. همچنین به منظور تسریع در انجام تزریق باید سکویی با ارتفاع مناسب (حداقل یک متر) در مجاورت گمانه یا چاه ایجاد شود.

• پانور / استاول

که باید در طول فصل خشک و یا در یک دوره مناسب از نظر هیدرولوژیکی آماده شود تا بتواند محلول رنگی را به خوبی در خود جای داده و به داخل زمین نفوذ دهد. در صورتی که پانور تحت فشار پس‌زدگی قرار گیرد لازم است این پانورها به لوله‌ای به قطر ۲ اینچ مجهز شود و انتهای تحتانی این لوله‌ها طوری در پانور مستقر شود که آب به راحتی بتواند از لوله خارج شده و در زیرزمین جریان یابد. توصیه می‌شود انتهای تحتانی این لوله مشبک باشد. همچنین انتهای فوقانی لوله بالاتر از سطح زمین و حتی بالای حد اکثر سطح آب، در پانورهای مستغرق قرار گیرد. گاهی اوقات ساختن برج‌ها در پانورهای اخیر ضروری است. پانورهایی که در بستر جریان‌های موقت قرار دارند لازم است در فصل خشک تمیز شوند و در آنها لوله‌ای تا بالای تراز سیلاب حداکثر رودخانه کار گذاشته شود.

– حمل مواد رنگی، تجهیزات و مواد افزودنی به محل تزریق

مقتضی است بسته‌های دست نخورده مواد رنگی و مواد افزودنی (نظیر الکل) و تجهیزات لازم با گروه تزریق به محل تزریق حمل شود. لازم است که گروه تزریق و وسیله نقلیه‌ای که برای حمل مواد فوق به کار می‌رود به هیچ وجه در عملیات نمونه‌برداری دخالت نداشته و حتی در نقاط نمونه‌برداری حضور نیابند.

تجهیزات مورد نیاز شامل موارد زیر است:

- به ازای هر ۵ کیلوگرم ماده رنگی گالنی ۱۲۰-۸۰ لیتری مجهز به درپوش و شیر ۲/۵ اینچی (شیرگازی برای تهیه محلول)
- پوشاک حفاظتی شامل (لباس کار - دستکش پلاستیکی - ماسک - کفش)
- همزن پلاستیکی یا چوبی
- قیف
- آب
- مواد افزودنی شامل آب، الکل اتیلیک و هیدروکسید سدیم

نظر به این که برای تهیه محلول ماده رنگی و همچنین شستشوی نقاط تزریق، شستشو پس از عملیات تزریق، آب با حجم زیاد (چند مترمکعب) نیاز است لذا ضروری است تمهیدات لازم برای انتقال این حجم آب به محل تزریق در نظر گرفته شود.

– تهیه محلول تزریقی

عملیات آماده‌سازی محلول باید قبل از عملیات تزریق در محل تزریق صورت گیرد بنحوی که عاری از مواد کلوخه و ذرات جامد باشد. به منظور انحلال پذیری بیش‌تر و جلوگیری از وجود کلوخه و ذرات جامد تجربه نشان می‌دهد که از مواد افزودنی به شرح زیر استفاده شود:

- به ازای هر یک کیلوگرم ماده اورانین دوکیلوگرم هیدروکسید سدیم جامد
- به ازای هر یک کیلوگرم رودامین - بی دو لیتر الکل اتیلیک

بعد از تهیه، محلول باید در بشکه‌های در بسته برای زمان تزریق نگهداری شود. به ازای هر پنج کیلوگرم ماده رنگی یک عدد بشکه ضروری است. نسبت تقریبی غلظت محلول ردیاب در آب برابر ۵ در صد است (معادل یک کیلوگرم ردیاب در ده لیتر آب).

ب- عملیات تزریق

لحظه‌ای قبل از انجام عملیات تزریق ماده رنگی، لازم است مقدار کافی آب (ترجیحا از آب همان منبع) به نقطه تزریق وارد شود تا ضمن تخمین وضعیت نفوذپذیری محل تزریق، نقطه تزریق شستشو داده شود. توصیه می‌شود، محلول ماده رنگی باید قبل از تزریق مجدداً به هم زده شود.

در صورتی که نقاط تزریق قدرت بلع کافی محلول را داشته باشد، لازم است عملیات تزریق به روش لحظه‌ای صورت گیرد در غیراین صورت باید محلول را با روش پیوسته با آبدهی حد اکثر و ثابت تزریق کرد. پس از تزریق محلول ماده رنگی باید محل تزریق با آب کافی (چند مترمکعب) شستشو داده شود.

ج- عملیات پس از تزریق (عملیات حفاظتی)

کلیه لوازم و تجهیزاتی که در عملیات تزریق به کار رفته و همچنین پوشاک حفاظتی گروه تزریق باید در محل سوزانده و معدوم شود و سپس افراد گروه تزریق و وسایل نقلیه مربوط، منطقه عملیاتی را ترک کنند و هیچ‌گونه تماسی با گروه نمونه‌بردار نداشته باشند. به منظور جلوگیری از آلودگی محیط به ماده رنگی ضروری است، محل تزریق حفاظت شود.

۶-۱-۲- نمک‌های معدنی

طرز عمل، مشابه با روش تزریق ماده رنگی است ولی با پیچیدگی و احتمال آلودگی کم‌تر و با سهولت بیش‌تر که در این مورد نیازی به انجام عملیات حفاظتی بند (ج) فوق‌الذکر نیست.

۶-۱-۳- مواد دودی و گازی

دود و گاز معمولاً برای شناسایی محل ورودی و خروجی غارها و مغاره‌ها در افق تهویه به کار می‌رود، ولی نمی‌توان آن را روش واقع بینانه با مفهوم کلاسیک ردیابی تصور کرد. روش کار به این ترتیب است که مقداری مواد دودزا، نظیر لاستیک و یا فضولات حیوانی در مدخل غار یا مغاره و یا در افق تهویه سوزانده می‌شود و دود با گردش طبیعی و یا مصنوعی هوا با جریان هوا داخل آنها شده و چون این دود سبک‌تر از هوا است به سطح زمین راه یافته و ترتیب مجاری و خروجی‌ها مشخص می‌شوند.

۶-۱-۴- مواد رادیوایزوتوپ

این‌گونه ردیاب‌ها غالباً برای مطالعات موضعی و محلی نظیر بررسی نشست آب در معادن و مخازن سدها استفاده می‌شود و تمام عملیات تزریق این‌گونه ردیاب‌ها باید براساس دستورالعمل‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی صرفاً تحت نظر سازمان انرژی اتمی ایران و با رعایت ضوابط و مقررات سازمان مذکور انجام گیرد. این ردیاب‌ها در آب‌های زیرزمینی کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد و نظر به آلوده سازی آب‌های زیرزمینی توسط این‌گونه ردیاب‌ها لازم است، از موادی استفاده شود که نیمه عمر فروپاشی کوتاه داشته و در کوتاه‌ترین زمان آلودگی آن مرتفع شود. به این

منظور از ردیاب‌هایی استفاده می‌شود که پرتو گاما منتشر می‌نمایند، زیرا توانایی نفوذ پرتو گاما از مزیت استفاده از این مواد است که معمولاً در ایران از سزیم (^{137}Cs) که امکان تهیه آن فراهم است، استفاده می‌شود.

۶-۱-۵- مواد جامد

این ردیاب‌ها معمولاً به لحاظ سبک بودنشان در روی آب به صورت معلق قرار می‌گیرند و به همین دلیل برای مشخص کردن منطقه فرار آب از دریاچه سدها و یا مخازن به کار می‌روند. به این ترتیب که مقداری از مواد فوق‌الذکر را در سطح مخزن یا دریاچه می‌ریزند و پس از مدتی این مواد به طرف منطقه فرار آب می‌روند و یا از نقاط ورودی عبور کرده و در نقاط خروجی ظاهر می‌شوند. به این ترتیب محل ورودی، مسیر و محل خروجی آب مشخص می‌شود.

۶-۲- ضوابط انتخاب روش مناسب تزریق

همان‌طور که در بند ۶-۱-۱- ب بیان شد تزریق می‌تواند به صورت لحظه‌ای یا به طور پیوسته با آبدهی ثابت صورت گیرد و انتخاب یکی از این دو روش بستگی به بلع نقاط تزریق دارد.

۶-۳- مقدار مناسب ردیاب‌های مصنوعی

موفقیت آزمایش ردیابی در اکثر مواقع به مقدار ردیاب به کار رفته بستگی دارد. عوامل متعددی که در تعیین کمیت ردیاب نقش دارد عبارتند از:

- حجم کل آبی که ردیابی در آن صورت می‌گیرد
- ظرفیت بلع نقاط تزریق
- انشعاب و وضعیت پیچ و خم مجاری مسیر جریان
- سرعت جریان
- طول مسیر جریان
- آبدهی خروجی محل نمونه‌برداری
- فاصله مستقیم بین نقطه تزریق و محل نمونه‌برداری
- قیمت ردیاب
- پایداری ردیاب

اکثر این عوامل غالباً برای متخصصین ناشناخته بوده و در نتیجه ارائه یک رابطه دقیق برای تعیین کمیت ردیاب تاکنون امکان‌پذیر نبوده است. ولی معادلات تجربی متعددی توسط متخصصین برای ردیاب‌های رنگی ارائه شده است.

در زیر به رابطه تجربی که یونسکو ارائه داده است، اشاره می‌شود.

$$M = L \cdot K [\text{Kg}] \quad (۶-۱)$$

که در آن K ضریبی است که برای محیط‌های کارستی و درز و شکافدار ۰/۲-۲ است. L فاصله بین دو نقطه تزریق و نمونه‌برداری بر حسب کیلومتر و M مقدار ردیاب بر حسب کیلوگرم است. رابطه اخیر برای تعیین مقدار اورانین پیشنهاد شده است. (برای اطلاع از روابط دیگر می‌توان به مراجع ۳ و ۱ مراجعه کرد.) باید توجه داشت که گذشته از معادلات مزبور، ارزشمندترین عامل در تعیین مقدار ماده رنگی تجربه کارشناسی است. تجربه نشان داده است که برای فاصله ۵ کیلومتر بین محل تزریق و نمونه‌برداری و آبدهی چند مترمکعب بر ثانیه، ماده رنگی مورد لزوم برای هر محل تزریق حدود ۱۰ کیلوگرم مورد نیاز است.

نظر به این که استفاده از ردیاب‌های رنگی باید با توجه به آستانه مجاز هر ماده رنگی (از نظر سمی کردن) و نیز با توجه به نوع مصرف منبع آبی باشد لذا با اطلاعات موجود باید سعی شود، کمیت ماده رنگی طوری بر آورد شود که باعث آلودگی منابع آبی منطقه نشود. به عنوان مثال استفاده از رودامین - بی باید طوری باشد که حداکثر غلظت رودامین بی در محل‌های نمونه‌برداری کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم بر مترمکعب باشد، زیرا غلظت بیش از این حد سرطان‌زا است.

مقدار تزریق رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی با توجه به حداکثر غلظت مجاز^۱ ماده ردیاب رادیوآکتیو در محیط، باید طوری در نظر گرفته شود که بر اساس دستورالعمل‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی غلظت آن در نقاط نمونه‌برداری از مقدار فوق کم‌تر باشد.

۶-۴- ضوابط انتخاب زمان تزریق

نظر به این که تغییرات شرایط هیدرولوژیکی تاثیر به سزایی در نتایج آزمایش ردیابی دارد، بنابراین بهترین زمان برای انجام عملیات تزریق، دوره مرطوب است ولی چنانچه نیاز به ردیابی در دوره خشک باشد در این صورت لازم است که به نکات زیر توجه شود:

- محلول ردیاب باید در محیط اشباع آبخوان تزریق شود.
- چون امکان نگهداشتن محلول ردیاب در داخل آبخوان در طول فصل خشک وجود دارد که ممکن است پس از اولین بارندگی (که احتمالاً ماه‌ها بعد از عملیات تزریق رخ دهد) در نقاط نمونه‌برداری ظاهر شود لذا باید در این مورد طول مدت نمونه‌برداری افزایش یابد.
- به منظور استفاده بهینه از طول روز برای کنترل نمونه‌برداری بهتر است، عملیات تزریق در ساعات اولیه روز انجام گیرد.
- عملیات تزریق نباید در روزهای بارانی و باد شدید انجام گیرد.

فصل ۷

نمونه برداری و ضوابط مربوط به آن

۷-۱- تشریح روش های نمونه برداری

برای کلیه ردیابها قبل از نمونه برداری باید به نکات زیر توجه شود:

- تعیین نقاط نمونه برداری بر روی نقشه بر اساس ضوابط مذکور در فصل پنجم
- آماده سازی محل نمونه برداری ها به منظور اندازه گیری آبدهی چشمه ها و سطح آب چاه ها و گمانه ها
- انتخاب گروه نمونه بردار شامل حداقل یک نفر کارشناس هیدروژئولوژی، یک نفر تکنسین باتجربه و دو نفر کارگر
- فراهم کردن وسیله نقلیه

همچنین نسبت به تهیه تجهیزات زیر اقدام لازم صورت پذیرد:

- جعبه با ابعاد مناسب به منظور حمل نمونه ها
- سیم گردان
- نمونه بردار مکانیکی نقطه ای (برای برداشت نمونه از عمق معین)^۱
- نمونه بردار مکانیکی ضربه ای (برای برداشت نمونه از عمق معین)
- نمونه بردار مکانیکی معمولی (برای برداشت نمونه میانگین از اعماق مختلف منبع)^۲
- نمونه بردار اتوماتیک (برای نمونه برداری از نقاط صعب العبور و نمونه برداری در شب)
- پمپ نمونه بردار
- ظروف نمونه برداری مناسب و برچسب
- ارتفاع سنج
- کلیه ظروف باید قبل از نمونه برداری با آب منبع مربوط شسته شود و نیز ظروف نمونه برداری باید از آب لبریز و مجهز به درپوش عایق باشد و برچسبها باید حاوی اطلاعات زیر باشد:

- کد پروژه
- کد نمونه
- تاریخ و ساعت نمونه برداری
- محل نمونه برداری و ارتفاع آن
- نوع منبع آب
- نوع تجزیه (آنالیز)
- نمونه صاف شده یا نشده
- دمای آب
- pH آب

۱- عبارت است از یک لوله فلزی با قطر حدود ۲ سانتی متر و طول حدود ۴۰ سانتی متر که از دو سو بسته بوده و در بالا دارای دو سوراخ برای ورود تدریجی آب و خروج هوا می باشد و با حلقه ای به طناب وصل می شود. این نمونه بردار باید از وزن مناسب برخوردار باشد به گونه ای که در آب شناور نشود.

۲- عبارت است از یک لوله فلزی با قطر حدود ۲ سانتی متر و طول حدود ۴۰ سانتی متر که از پایین بسته بوده و از بالا با حلقه ای به طناب وصل می شود.

علاوه بر درج اطلاعات فوق بر روی برچسب نمونه‌ها لازم است اطلاعات دیگری نظیر نوع منبع (چاه، پیزومتر و...)، ارتفاع محل نمونه‌برداری، عمق نمونه‌برداری، روش نمونه‌برداری، آماده‌سازی محیط (مدت پمپاژ قبل از نمونه‌برداری)، اطلاعاتی در مورد وضعیت محل نمونه‌برداری (پیزومتر تازه حفر شده و...)، شرایط محیطی (بارندگی، دما و...) در دفترچه مخصوص ثبت شود.

۷-۱-۱- مراحل نمونه‌برداری ایزوتوپی

الف- مرحله قبل از نمونه‌برداری

نکاتی که باید پیش از نمونه‌برداری ایزوتوپ‌های محیطی در نظر داشت به شرح زیر است [۱۳]:

- ایزوتوپ‌های پایدار محیطی (O^{18}, C^{13}, H^2)

برای نمونه‌برداری از اکسیژن-۱۸ و دوتریوم لازم است ظروف شیشه‌ای تیره یا از جنس پلی اتیلن با حجم بین ۱۰ تا ۱۰۰ سی‌سی به تعداد کافی آماده شود. برای کربن-۱۳ از نمونه برداشت شده کربن-۱۴ که در زیر به آن اشاره خواهد شد، استفاده می‌شود. بر روی ظروف نمونه‌برداری این ردیاب‌ها علاوه بر مطالب فوق باید قلبیبت هدایت الکتریکی نمونه، نوع ماده شیمیایی افزودنی و قلبیبت نمونه در صحرا درج شود.

- ایزوتوپ‌های محیطی رادیو اکتیو (C^{14}, H^3)

برای نمونه‌برداری از تریتیوم ظروفی از جنس پلی اتیلن با حجم یک لیتر ضروری است. در مورد کربن-۱۴ برحسب روش ارزیابی تجهیزات لازم به شرح زیر است:

چنانچه روش ارزیابی صعود تدریجی گاز باشد:

- ظروف نمونه‌بردار از جنس پلی اتیلن با حجم ۶۰ لیتر

- ظروف کوچک با حجم ۵۰۰ cc از جنس پلی اتیلن برای جمع‌آوری بی‌کربنات نمونه‌ها

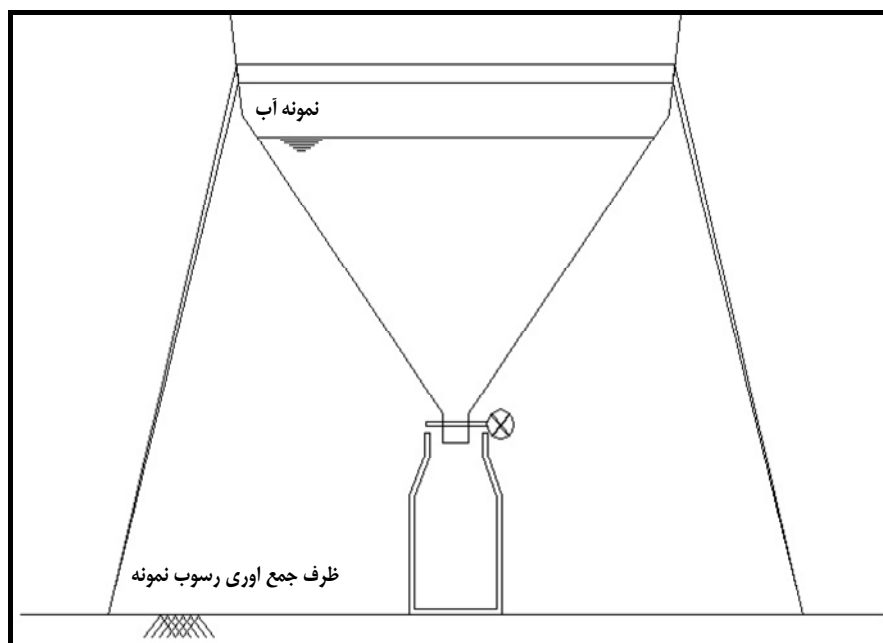
- پمپ آکواریوم و اتصالات مربوط

- اسید کلریدریک ۳۷٪ به مقدار ۱۰۰ cc به ازای هر نمونه

- هیدروکسید سدیم به مقدار ۴۰ گرم برای هر نمونه

چنانچه روش رسوب کربنات باریم مد نظر باشد علاوه بر تجهیزات فوق سه پایه مخصوص و ظرف جمع‌آوری رسوب نمونه و

کلور باریم به مقدار کافی نیاز است (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱ - نمونه برداری کربن-۱۴ به روش رسوب [۱۴]

لازم به یادآوری است پیش از نمونه برداری صحرائی باید با آزمایشگاه‌های سنجش ایزوتوپی هماهنگی لازم به عمل آید تا از تطبیق استانداردهای نمونه برداری با آنچه مورد نظر آزمایشگاه است اطمینان حاصل شود.

ب - مرحله نمونه برداری [۱۳]

نمونه برداری برای تریتیوم، اکسیژن ۱۸ و دوتریوم ساده بوده و به صورت مستقیم از منبع آبی صورت می‌گیرد. چنانچه مطالعات شیمیایی به طور هم‌زمان با مطالعات ایزوتوپی صورت نگیرد لازم است حجم نمونه‌ها طوری در نظر گرفته شود که برای ارسال به آزمایشگاه شیمی به منظور تعیین آنیون‌ها کافی باشد.

نمونه برداری از آب باران با حجم ۵۰۰ سی سی ترجیحا باید از ایستگاه باران‌سنجی و برف‌سنجی منطقه مورد مطالعه به عمل آید و در صورت عدم وجود ایستگاه در منطقه مورد مطالعه از ایستگاه‌های مناطق مجاور استفاده شود. در این ایستگاه‌ها باید با ریختن مقداری پارافین در ظرف باران‌سنجی از تبخیر آب جمع‌آوری شده جلوگیری کرد. نمونه‌های برداشت شده در محل مناسبی جمع‌آوری شده و سپس نمونه‌های مربوط به هر ماه با هم مخلوط شده و یک نمونه معرف آن ماه برای تجزیه به آزمایشگاه ارسال می‌شود. در صورت وجود بارندگی به صورت رخدادهای پراکنده، از هر رخداد به صورت جداگانه نمونه برداری و تاریخ‌گذاری می‌شود.

در صورتی که منبع نمونه برداری چاه باشد، ترجیحا باید چاه قبل از نمونه برداری به مدت کافی پمپاژ شود.

در صورتی که منبع نمونه برداری چشمه باشد، نمونه برداری باید از مظهر چشمه و یا نزدیک‌ترین نقطه به آن صورت گیرد.

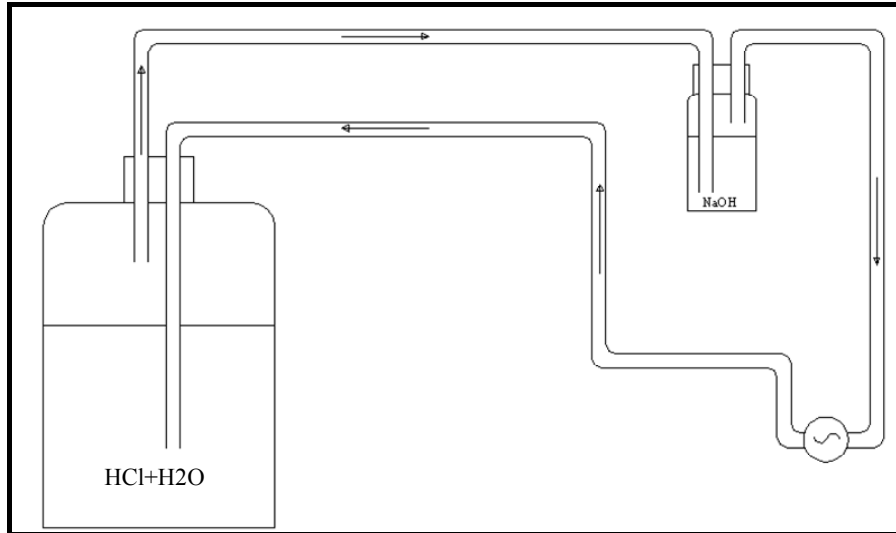
در صورتی که منبع نمونه برداری قنات باشد، در صورت امکان از مادر چاه و در صورت عدم امکان نمونه برداری از مادر چاه، از

مظهر قنات استفاده شود.

در نمونه برداری از کربن-۱۴ در روش گازی باید حدود ۶۰-۵۰ لیتر از آب منبع مورد نظر را با اضافه کردن مقدار کافی اسید

کلریدریک اسیدی کرده و گاز کربنیک حاصل از تجزیه بی‌کربنات را در محیط قلبیایی کوچکی (حدود نیم لیتر محلول سود با غلظت

کافی) جذب کرد. این عمل به کمک یک پمپ آکواریوم که جریان هوای بسته‌ای بین نمونه حجیم و نمونه کوچک ایجاد می‌کند، انجام می‌گیرد. در خاتمه کار باید دقت شود که نمونه حجیم کاملاً اسیدی باشد (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- نمونه برداری کربن-۱۴ به روش گازی [۱۴]

در روش رسوب ابتدا مقداری سود عاری از بی‌کربنات به ظرف نمونه اضافه کرده تا pH نمونه در حدود ۹ تثبیت شود. با اضافه کردن کلرور باریم به نمونه و هم‌زدن آن کربنات باریم در ته ظرف رسوب می‌کند. این نمونه کربنات باریم برای آزمایش از نمونه جدا می‌شود.

ج- مرحله بعد از نمونه برداری

نمونه‌های برداشت شده در جعبه‌های مخصوص حمل نمونه قرار گرفته و به آزمایشگاه برای تجزیه ارسال می‌شود.

۷-۱-۲- نمونه برداری یون‌ها و نمک‌های معدنی

برای نمونه برداری یون‌ها و نمک‌های معدنی لازم است از دستورالعمل رفتارسنجی کیفی آب‌های زیرزمینی، (نشریه شماره ۱۸۷ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۷۸) استفاده شود. ضمناً تجهیزات مورد لزوم برای این نمونه برداری عبارتند از:

- ظروف شیشه‌ای تیره یا پلی اتیلن با حجم ۵۰۰ سی سی که این حجم بستگی به نوع عوامل شیمیایی مورد اندازه‌گیری دارد.

- کنداکتیو متر صحرایی

- فیلتر ۰/۴۵ میکرون برای صاف کردن نمونه (مواد جامد و باکتری) در صحرا

قبل از عملیات تزریق لازم است از محل‌های نمونه برداری تعیین شده، نمونه زمینه در فواصل زمانی معین برداشت شود. نمونه‌های برداشت شده باید در جعبه‌های مخصوص به آزمایشگاه برای تجزیه ارسال شود.

در صورتی که هدایت الکتریکی (EC) به عنوان پارامتر ردیابی انتخاب شود، نیاز به نمونه برداری نیست و تغییرات هدایت الکتریکی

در محل با کنداکتیو متر صحرایی اندازه‌گیری می‌شود و حتی می‌توان کردار تغییرات هدایت الکتریکی را بر حسب زمان رسم کرد.

۷-۱-۳- نمونه برداری مواد رنگی

الف - تجهیزات مورد نیاز عبارتند از

- ظروف شیشه ای تیره به حجم ۵۰ سی سی
- کیسه ها و زغال فعال
- کیسه های حاوی زغال فعال را معمولا برای نقاطی که صعب العبور است و یا برای تشخیص افق های مختلف در اعماق گوناگون چاه یا گمانه به کار می برند. این کیسه ها باید از جنس نایلون سفید رنگ به ابعاد 10×40 cm و مشبک با شبکه های $1/5$ میلی متر با نخ سفید تهیه شود و در هر یک از کیسه ها حدود ۵ گرم زغال فعال با دانه بندی بین ۲-۳ میلی متر ریخته شود.

ب- مرحله نمونه برداری

در این مرحله باید به موارد زیر توجه کرد [۲۴]:

- استفاده از گروه مجزا برای نمونه برداری که هیچ دخالتی در عملیات تزریق نداشته اند.
- استفاده از ابزار و وسایل و وسیله نقلیه ای که هیچ گونه دخالتی در عملیات تزریق نداشته اند.
- استفاده از نمونه گیرهای مجزا برای هر چاه یا گمانه
- نصب و برداشت کیسه های زغال فعال شده در نقاط نمونه برداری مورد نیاز با فواصل زمانی معین. کیسه های حاوی زغال فعال باید به گونه ای در آب غوطه ور شود که کاملا در تماس با جریان آب باشد. کیسه ها در شاخه اصلی جریان و در نواحی از این شاخه که سرعت جریان کم است، قرار داده شود.
- نقاط نمونه برداری هرگز نباید به عنوان نقطه تزریق به کار رود مگر در روش تک چاهی
- قبل از عمل تزریق لازم است از محل های نمونه برداری تعیین شده، نمونه زمینه در فواصل زمانی معین برداشت شود.

ج- مرحله بعد از نمونه برداری

نمونه ها باید در جعبه های مخصوص قرار داده شود و برچسب لازم که حاوی مشخصات مورد نیاز است، بر روی آنها چسبانده شود و حداکثر تا یک هفته بعد مورد آزمایش قرار گیرد.

۷-۲- ضوابط انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه برداری

در انتخاب زمان و فواصل نمونه برداری لازم است اهداف پروژه و شرایط محیطی منطقه مد نظر قرار گیرد. از آنجا که انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه برداری نا مناسب منجر به نتایج گمراه کننده ای می شود، لذا عملیات نمونه برداری باید با توجه به ضوابط زیر صورت پذیرد.

۷-۲-۱- نمونه‌برداری ایزوتوپ‌های محیطی

انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه‌برداری به طور کلی به فراوانی ماه‌های مرطوب در طول سال و واکنش آبخوان نسبت به بارندگی بستگی دارد ولی به طور معمول نمونه‌برداری به طور دوره‌ای، حداقل ۲ مرتبه در سال (دوره‌های خشک و مرطوب) از منابع آب و به طور ماهانه از آب بارندگی در دوره مرطوب و در دوره خشک (در صورت وقوع بارش) باید صورت گیرد.

۷-۲-۲- نمونه‌برداری رنگی و یونها و نمک‌های معدنی

لازم است قبل از انجام تزریق، نمونه‌برداری زمینه از منابع آب به عمل آید.

- نمونه‌برداری زمینه یونها

در صورتی که قبلاً در مطالعات هیدروشیمی منطقه نمونه‌برداری به صورت ماهانه برای عامل مورد نظر انجام نگرفته باشد باید انجام گیرد. ترجیحاً این اندازه‌گیری باید دوره‌های مرطوب و خشک را پوشش دهد.

- نمونه‌برداری زمینه رنگی

لازم است ۳ روز قبل از عمل تزریق به طور روزانه از منابع آب نمونه‌برداری شود. زمان نمونه‌برداری و فواصل آن با توجه به ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و فاصله مکانی بین نقاط تزریق و نقاط نمونه‌برداری و بر اساس تجربیاتی که در این زمینه در کشور به دست آمده به شرح جدول ۷-۲ تعیین می‌شود.

جدول ۷-۲- فواصل زمانی نمونه‌برداری با توجه به فاصله بین نقاط تزریق و نمونه‌برداری برای ردیاب‌های مصنوعی

بیش‌تر از ۱۰ کیلومتر	۱ تا ۱۰ کیلومتر	کم‌تر از یک کیلومتر	فاصله
			زمان پس از تزریق
۱۲ ساعت یک نمونه	۴ تا ۶ ساعت یک نمونه	* ۲ ساعت یک نمونه	تا ۲ روز
۲۴ ساعت یک نمونه	* ۲ ساعت یک نمونه	۴ ساعت یک نمونه	از ۲ تا ۷ روز
	۶ ساعت یک نمونه		
* ۶ ساعت یک نمونه	* ۴-۶ ساعت یک نمونه	۱۲ ساعت یک نمونه	از ۷ تا ۳۰ روز
۲۴ ساعت یک نمونه	۱۲ ساعت یک نمونه		
* ۱۲ ساعت یک نمونه	هر دو روز یک نمونه	_____	از یک ماه تا دو ماه
۲ روز یک نمونه			
* ۲۴ ساعت یک نمونه	_____	_____	از دو تا سه ماه
هفته‌ای یک نمونه			

* در صورت ظهور ردیاب

- نمونه‌برداری سایر ردیاب‌ها

در صورت استفاده از سایر ردیاب‌ها، روش‌های نمونه‌برداری مناسب را می‌توان طبق دستورالعمل‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی به کار گرفت [۲۵].

فصل ۸

تشریح دستگاه‌ها و تجهیزات لازم

در عملیات تزریق، نمونه‌برداری و

اندازه‌گیری صحرائی

۸-۱ - دستگاهها و تجهیزات عملیات تزریق (ردیابهای رنگی)

دستگاهها و تجهیزات لازم برای عملیات تزریق ثقیلی به روش لحظه‌ای به شرح زیر است:

- به ازای هر ۵ کیلوگرم ماده رنگی یک عدد بشکه ۱۲۰-۸۰ لیتری مجهز به شیر گازی ۲/۵ اینچی برای رقیق کردن ماده رنگی
- لوله پلاستیکی به قطر ۲ اینچ و به طول کافی برای تزریق ماده رنگی، متناسب با عمق محل تزریق
- پوشاک حفاظتی (لباس کار، دستکش پلاستیکی، ماسک، کفش و ...)
- همزن پلاستیکی یا چوبی
- کیف بزرگ
- یک دستگاه وسیله نقلیه منحصرا برای عملیات تزریق
- برای عملیات تزریق به روش پیوسته با آبدهی ثابت باید تجهیزات لازم نظیر پمپ و بشکه‌های شیردار برای ثابت نگه داشتن آبدهی تزریق در نظر گرفته شود.
- برای عملیات تزریق تحت فشار می‌توان از تجهیزات حفاری (مسدود کننده منفرد یا مضاعف) نیز استفاده نمود.

۸-۲ - دستگاهها و تجهیزات نمونه برداری (ردیابهای رنگی)

دستگاهها و تجهیزات نمونه برداری به شرح زیر است:

- وسیله نقلیه، منحصرا برای نمونه برداری
- جعبه های مناسب برای حمل نمونه‌ها
- سیم گردان
- نمونه بردار مکانیکی نقطه‌ای (برای برداشت نمونه از اعماق مشخص) برای هر منبع یک عدد
- نمونه بردار مکانیکی ضربه‌ای (برای برداشت نمونه از عمق معین)
- نمونه بردار مکانیکی تدریجی (برای برداشت نمونه میانگین از اعماق مختلف) برای هر منبع یک عدد
- نمونه بردار اتوماتیک (برای نمونه برداری در شب و در نقاط صعب العبور)
- ظروف نمونه برداری مناسب و بر چسب
- دستگاه تغلیظ کننده نمونه آب برای کربن-۱۴
- کیسه‌های کربن فعال
- استوانه‌های فلزی مشبک برای قرار دادن کیسه‌های زغال فعال در اعماق مختلف چاه یا گمانه
- مازیک ضد آب

۸-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری صحرایی

- pH متر
- کندانکتیو متر
- دماسنج (صفر تا صد درجه سانتی‌گراد)
- دستگاه آشکار ساز فلئوریمتر صحرایی
- لوله آزمایش
- الکل اتیلیک و پتاس برای تشخیص مواد رنگی در کیسه‌های زغال فعال شده در صحرا
- وسیله اندازه‌گیری سرعت و آبدهی جریان
- وسیله اندازه‌گیری عمق سطح آب زیرزمینی
- دستگاه اشعه فرا بنفش صحرایی برای تشخیص کیفی ماده رنگی در نمونه
- سیستم نمونه‌گیری گاز کربنیک شامل ظروف نمونه‌بردار با حجم ۶۰ لیتر، ظروف کوچک با حجم ۵۰۰ سی‌سی برای جمع‌آوری بی‌کربنات، پمپ آکواریوم و اتصالات مربوطه برای اتصال ظروف و مبدل برق اتومبیل به برق شهر DC/AC
- کیت صحرایی و مواد لازم برای سنجش کلر و گاز کربنیک آزاد و قلیابیت نمونه‌ها
- شمارنده گایگر برای سنجش پرتوگاما در عملیات ردیابی با رادیو ایزوتوپ‌های مصنوعی

فصل ۹

تشریح روش‌های آماده‌سازی اولیه

نمونه‌ها و سامانه‌های لازم برای

سنجش‌های آزمایشگاهی

۹-۱- نمونه‌های ماده رنگی، یونها و نمک‌های معدنی

نمونه‌ها پس از برداشت در جعبه‌های مخصوص قرار داده شده و طوری به آزمایشگاه ارسال شود که حداکثر یک هفته بعد از نمونه‌برداری مورد آزمایش قرار گیرد. کیسه‌های زغال فعال پس از برداشت از محل نمونه‌برداری در کیسه‌های نایلونی مجزا قرار داده شود و با ذکر مشخصات لازم همراه با نمونه‌های آب در جعبه‌های مخصوص به آزمایشگاه ارسال شود.

۹-۲- نمونه‌های کربن-۱۴

در اینجا در مورد نمونه کربن-۱۴ توضیح داده می‌شود. برای آزمایش کربن-۱۴ عملیات تغلیظ بی‌کربنات نمونه‌ها عمدتاً در محل انجام شده و نمونه‌های تغلیظ شده در جعبه‌های مخصوص قرار داده شود و برای آزمایش‌های بعدی به آزمایشگاه ارسال شود. عمل تغلیظ بی‌کربنات در محل آزمایشگاه نیز قابل انجام است در این صورت نمونه آب برداشت شده مستقیماً به آزمایشگاه برده می‌شود. کلیه نمونه‌های ارسالی باید به همراه لیست حاوی زمان نمونه‌برداری، شماره نمونه‌ها، تاریخ ارسال و سایر مشخصات ضروری در جعبه‌های مطمئن به آزمایشگاه ارسال شود.

۹-۳- عملیات صحرائی تکمیلی

عملیات صحرائی تکمیلی با توجه به نتایج تجزیه اولین نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه انجام می‌شود و حسب مورد می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- تغییر نقاط تزریق پیش‌بینی شده
 - انتخاب نقاط تزریق اضافی و تکمیلی با توجه به نقاط پیش‌بینی شده
 - تغییر محل‌های نمونه‌برداری پیش‌بینی شده
 - انتخاب محل‌های نمونه‌برداری اضافی و تکمیلی با توجه به محل‌های نمونه‌برداری پیش‌بینی شده
- عملیات مزبور ممکن است منجر به تغییر برنامه زمان‌بندی نمونه‌برداری شود.

۹-۴- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای سنجش ایزوتوپ‌های رادیو اکتیو

۹-۴-۱- سامانه اندازه‌گیری کربن-۱۴

الف - روش گازی

- ظرف استخراج گاز کربنیک از نمونه تغلیظ شده
- گیره و پایه و اتصالات مورد نیاز
- همزن مغناطیسی
- پمپ تخلیه

- سامانه تخلیص گاز کربنیک شامل: تله‌ها، بالن‌ها و ستون زغال فعال
- بالن‌های انباره برای ذخیره نمونه گاز
- محفظه نمونه
- محافظ فولادی
- تقویت کننده (آمپلی فایر)
- شمارنده گازی برای سنجش کربن-۱۴ که نوع بتالوژیک آن متداول تر است (شکل شماره ۹-۱).
- اتوکلاو

ب - روش سنتیلاسیون مایع^۱

- پمپ تخلیه
- ظرف استخراج گاز کربنیک از نمونه تغلیظ شده
- سامانه تهیه بنزن
- گیره و پایه و اتصالات مورد نیاز
- همزن مغناطیسی
- کوره الکتریکی برای تهیه لیتیم کاربرد
- شمارش‌گر سنتیلاسیون مایع برای سنجش کربن - ۱۴ و تریتیوم

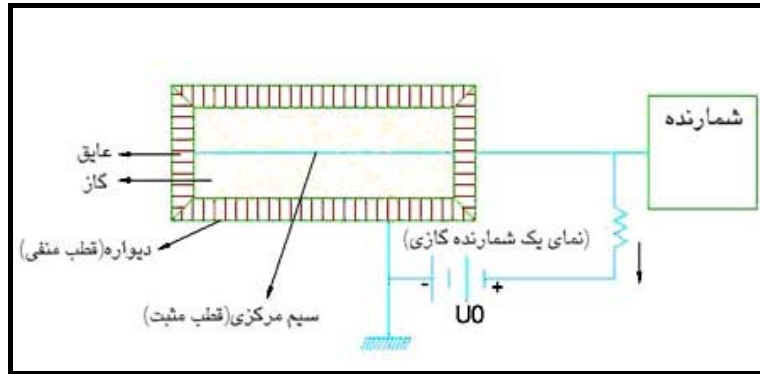
۹-۴-۲- سامانه اندازه‌گیری تریتیوم

الف - روش سنتیلاسیون مایع

- لوازم تقطیر اولیه نمونه‌ها
- سل‌های الکترولیز با حجم ۲۵۰ سی سی برای تغلیظ نمونه‌های آب
- منبع تغذیه الکتریکی با کنتور مربوط برای تهیه جریان یک‌سو برای عمل الکترولیز
- لوازم تقطیر ثانویه (تقطیر در خلاء، تقطیر معمولی، نمونه‌های حاصل از الکترولیز)
- شمارش‌گر سنتیلاسیون مایع برای سنجش تریتیوم و کربن - ۱۴
- بالن ژوژه به حجم ۲۵۰ سی سی و به تعداد لازم
- یخچال مربوط برای سل‌های الکترولیز
- اتوکلاو
- ترازو

ب - روش گازی

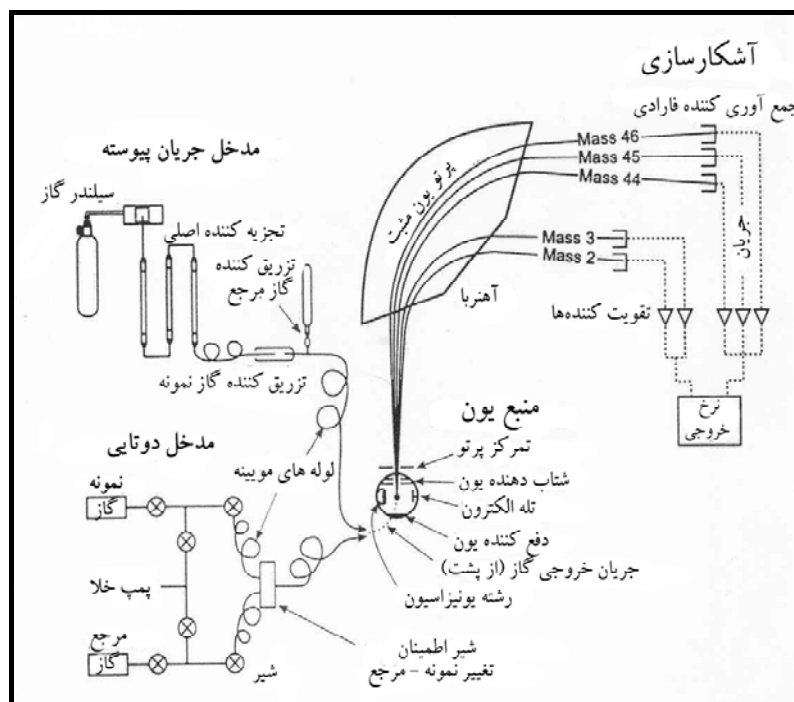
این روش برای اندازه‌گیری تریتیوم در ایران متداول نیست.



شکل ۹-۱- نمای شماتیک شمارنده گازی

۹-۵- تجهیزات و دستگاه‌های لازم در سنجش ایزوتوپ‌های پایدار (کربن ۱۳، اکسیژن ۱۸، دوتریوم) [۷]

- سامانه اسپکترومتر (بیناب سنج) جرمی (شکل شماره ۹-۲) با پمپ‌ها و اتصالات و ملحقات آن برای سنجش محتوای کربن ۱۳ - نمونه‌ها
- دستگاه لرزاننده برای تهیه گاز کربنیک متعادل شده با آب نمونه برای سنجش اکسیژن ۱۸
- کپسول‌های کوچک شیشه‌ای با حجم ۲ سی سی برای تهیه هیدروژن از نمونه آب برای سنجش دوتریوم



شکل ۹-۲- نمای از بیناب سنج جرمی (IRMS) گازی، با هر دو ورودی جریان پیوسته و دوگانه [۱۸]

۹-۶- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای تجزیه کامل شیمیایی

- Flame photometer برای سنجش سدیم و پتاسیم
- Atomic absorption برای سنجش فلزات
- اسپکتروفتومتر برای تشخیص نیترات و نیتريت
- کنداکتیومتر برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب
- کوره الکتریکی با حداکثر ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد
- سامانه تیتراسیون برای اندازه‌گیری کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها و کلر که شامل: بورت اتوماتیک و پی‌پت‌های حباب‌دار است.
- حمام بخار (بن ماری) برای اندازه‌گیری سولفات
- اتوکلاو
- pH متر
- ترازو

۹-۷- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای اندازه‌گیری ردیاب‌های مصنوعی

۹-۷-۱- رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی

تریتیوم: تجهیزات مشابه بند ۹-۴-۲ است.

۹-۷-۲- ردیاب‌های رنگی

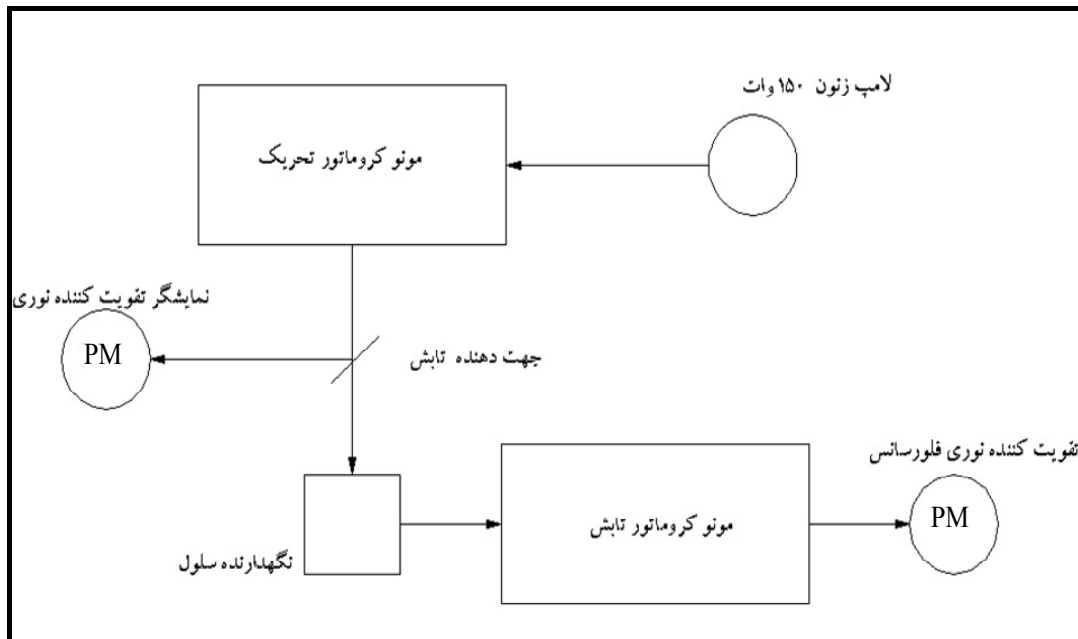
به‌طور کلی برای انجام این کار سه نوع فلئوریمتر موجود است.

الف - فلئوریمتر دو فیلتری

ب - فلئوریمتر یک فیلتری یک مونوکروماتوری

ج - فلئوریمتر دو مونوکروماتوری (اسپکتروفلئوروفتومتر)

در این دستگاه اتم‌های ماده فلئورسنت آب در برابر نور تحریک شده و فلئورسانس حاصله اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۹-۳).



شکل ۹-۳- نمایی از یک دستگاه اسپکتروفلوئوریمتر

با توجه به دقت بسیار بالای فلئوریمترهای دومونوکروماتوری لازم است به منظور انجام مطالعات کمی از این گونه دستگاه‌ها استفاده شود.

دستگاه‌ها باید قابلیت‌های زیر را دارا باشند [۱۷]:

- الف - دامنه طول موج برای تجزیه نمونه‌های حاوی مواد رنگی بین 400nm تا 700nm باشد.
- ب - قابلیت جستجو^۱: دستگاه باید قابلیت جستجوی هم‌زمان دو مونوکروماتور را با یک اختلاف طول موج ثابت دارا باشد.
- ج - Stray light-دستگاه باید قابلیت حذف تشعشعات اضافه را دارا باشد.
- د - نسبت Signal به noise: نسبت Signal به noise دستگاه مورد نظر باید بالاتر از ۷۰ باشد.
- ه - لامپ: دستگاه باید مجهز به لامپ پر فشار گزنون باشد که توانایی ایجاد طیف پیوسته با شدت بالا را در دامنه طیف ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm دارا باشد.

فصل ۱۰

تشریح روش‌های سنجش و

اندازه‌گیری آزمایشگاهی، محاسبات

و تهیه نمودارهای لازم

۱-۱۰- روش‌های سنجش و اندازه‌گیری آزمایشگاهی

توصیه می‌شود بخشی از هر یک از نمونه‌ها مورد آزمایش قرار گیرد و بخش دیگر آن در محل مخصوص نگهداری شود تا در صورت نیاز به تایید نتایج به دست آمده، مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۱-۱۰- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو

الف - کربن-۱۴ [۱۴، ۱۵، ۲۸، ۲۹]

- سنجش به روش گازی

برای سنجش کربن - ۱۴ بروش گازی مراحل زیر انجام می‌شود:

- خنثی کردن نمونه بی‌کربنات تغلیظ شده و جمع‌آوری گاز کربنیک حاصل
 - تخلیص نمونه و واسنجی کردن آن (گاز کاملاً خشک و خالص باشد).
 - برداشتن مقدار ۱۵ تا ۲۰ سی سی گاز برای آزمایش کربن - ۱۳ در آمپول‌های مخصوص
 - سنجش کربن - ۱۴ نمونه‌ها، حد اقل یک هفته بعد از تهیه نمونه در دو فاصله زمانی (به فاصله یک هفته از یکدیگر، برای اجتناب از آلودگی حاصل از رادون جوی)
 - سنجش زمینه و بهره‌شمارنده (نمونه‌هایی با اکتیویته صفر و استاندارد)
 - تعیین مقدار کربن - ۱۴ نمونه بر حسب درصد، نسبت به کربن - ۱۳ مدرن (اکتیویته نسبی)
- حداکثر دقت به دست آمده حدود $pmc \pm 0.05$ (در صد کربن - ۱۳ مدرن) است.

- سنجش به روش سنتیلاسیون مایع

در روش سنجش به طریق مایع و به دست آوردن بنزن مراحل زیر انجام می‌شود:

- خنثی کردن نمونه بی‌کربنات تغلیظ شده و جمع‌آوری گاز کربنیک حاصل
 - برداشت مقدار ۱۵ تا ۲۰ سی سی از گاز نمونه برای سنجش کربن - ۱۳
 - وارد کردن تدریجی گاز کربنیک در کوره حاوی لیتیم و تبدیل آن به لیتیم کاربید
 - هیدرولیز لیتیم کاربید و تبدیل آن به استیلن
 - پلیمریزاسیون استیلن و تبدیل آن به بنزن
 - انتخاب مقداری از بنزن و اضافه کردن محلول سنتیلاتور مناسب به آن برای شمارش در دستگاه سنتیلاسیون مایع
 - سنجش مقدار زمینه و بهره‌شمارنده سنتیلاتور مایع با نمونه‌های صفر و استاندارد
 - تعیین محتوای کربن - ۱۴ نمونه بر حسب کربن - ۱۳ مدرن
- حداکثر دقت $0.01 \pm$ تا $0.02 \pm$ % کربن - ۱۳ مدرن باشد.

ب - تریتیوم [۲۹]

- روش سنتیلاسیون مایع

- تقطیر اولیه نمونه‌ها
 - الکترولیز نمونه‌ها
 - تقطیر ثانویه نمونه‌ها
 - تعیین ضریب کاهش حجم و بهره سل‌های الکترولیز و ضریب تغلیظ
 - انتخاب مقدار مناسبی از نمونه الکترولیز شده و اختلاط آن با محلول سنتیلاتور برای سنجش تریتیوم در شمارنده سنتیلاسیون مایع
 - تعیین مقادیر زمینه و بهره شمارنده با نمونه‌های صفر و استاندارد در هر دور الکترولیز باید حداقل یک سل برای آب مقطر و حداقل دو سل برای آب تریتیوم دار استاندارد برای تعیین و محاسبه ضریب تغلیظ سل‌ها منظور شود که بعد از هر الکترولیز سل‌های این نمونه‌ها را تغییر داده و به این ترتیب کلیه سل‌ها کنترل می‌شود.
 - تعیین اکتیویته تریتیوم نمونه‌ها بر حسب واحد تریتیوم (TU) حداکثر دقت در کم‌تر شدن تماس نمونه‌ها با هوای آزاد باید رعایت شود.
- در صورتی که بین زمان نمونه‌برداری و زمان آزمایش نمونه فاصله زمانی وجود داشته باشد و با توجه به کاهش حدود ۵/۵ در صد از اکتیویته تریتیوم به ازای هر سال فاصله زمانی، تریتیوم اندازه‌گیری شده باید نسبت به زمان نمونه‌برداری اصلاح شود این تصحیح با استفاده از رابطه نمایی فروپاشی رادیواکتیویته و یا جدول (۱۰-۱) انجام می‌شود.

- روش گازی

این روش برای اندازه‌گیری تریتیوم در ایران متداول نیست.

۱۰-۱-۲- ایزوتوپ‌های پایدار [۷، ۱۸]

الف - اکسیژن-۱۸: (سنجش بر مبنای تعادل ایزوتوپی بین گاز کربنیک و نمونه‌های آب)

- تهیه نمونه‌های متعادل شده با گاز کربنیک در ظرف‌های شیشه‌ای مخصوص
- ورود نمونه‌های گاز متعادل شده همراه با نمونه استاندارد به داخل دستگاه اسپکترومتر جرمی
- تعیین محتوای اکسیژن-۱۸ بر حسب انحراف در هزار نسبت به نمونه استاندارد

ب- دوتریوم

- تهیه هیدروژن از نمونه
- خشک کردن هیدروژن و ورود آن به دستگاه اسپکترومتر جرمی همراه با نمونه استاندارد
- سنجش محتوای دوتریوم بر حسب انحراف در هزار نسبت به نمونه استاندارد

جدول ۱۰-۱ - جدول فروپاشی تریتوم نسبت به زمان

ماه سال	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۰۸	۰/۹۸۶۲	۰/۹۸۱۶	۰/۹۷۷۰	۰/۹۷۲۵	۰/۹۶۸۰	۰/۹۶۳۵	۰/۹۵۹۰	۰/۹۵۴۶	۰/۹۵۰۲
۱	۰/۹۴۵۸	۰/۹۴۱۴	۰/۹۳۷۰	۰/۹۳۲۷	۰/۹۲۸۴	۰/۹۲۴۱	۰/۹۱۹۸	۰/۹۱۵۵	۰/۹۱۱۳	۰/۹۰۷۰	۰/۹۰۲۸	۰/۸۹۸۶
۲	۰/۸۹۴۵	۰/۸۹۰۳	۰/۸۸۶۲	۰/۸۸۲۱	۰/۸۷۸۰	۰/۸۷۳۹	۰/۸۶۹۹	۰/۸۶۵۹	۰/۸۶۱۸	۰/۸۵۷۸	۰/۸۵۳۹	۰/۸۴۹۹
۳	۰/۸۴۶۰	۰/۸۴۲۰	۰/۸۳۸۱	۰/۸۳۴۳	۰/۸۳۰۴	۰/۸۲۶۵	۰/۸۲۲۷	۰/۸۱۸۹	۰/۸۱۵۱	۰/۸۱۱۳	۰/۸۰۷۶	۰/۸۰۳۸
۴	۰/۸۰۰۱	۰/۷۹۶۴	۰/۷۹۲۷	۰/۷۸۹۰	۰/۷۸۵۴	۰/۷۸۱۷	۰/۷۷۸۱	۰/۷۷۴۵	۰/۷۷۰۹	۰/۷۶۷۳	۰/۷۶۳۸	۰/۷۶۰۲
۵	۰/۷۵۶۷	۰/۷۵۳۲	۰/۷۴۹۷	۰/۷۴۶۲	۰/۷۴۲۸	۰/۷۳۹۳	۰/۷۳۵۹	۰/۷۳۲۵	۰/۷۲۹۱	۰/۷۲۵۷	۰/۷۲۲۳	۰/۷۱۹۰
۶	۰/۷۱۵۷	۰/۷۱۲۳	۰/۷۰۹۰	۰/۷۰۵۸	۰/۷۰۲۵	۰/۶۹۹۲	۰/۶۹۶۰	۰/۶۹۲۸	۰/۶۸۹۶	۰/۶۸۶۴	۰/۶۸۳۲	۰/۶۸۰۰
۷	۰/۶۷۶۹	۰/۶۷۳۷	۰/۶۷۰۶	۰/۶۶۷۵	۰/۶۶۴۴	۰/۶۶۱۳	۰/۶۵۸۲	۰/۶۵۵۲	۰/۶۵۲۲	۰/۶۴۹۱	۰/۶۴۶۱	۰/۶۴۳۱
۸	۰/۶۴۰۱	۰/۶۳۷۲	۰/۶۳۴۲	۰/۶۳۱۳	۰/۶۲۸۴	۰/۶۲۵۴	۰/۶۲۲۵	۰/۶۱۹۷	۰/۶۱۶۸	۰/۶۱۳۹	۰/۶۱۱۱	۰/۶۰۸۳
۹	۰/۶۰۵۴	۰/۶۰۲۶	۰/۵۹۹۸	۰/۵۹۷۱	۰/۵۹۴۳	۰/۵۹۱۵	۰/۵۸۸۸	۰/۵۸۶۱	۰/۵۸۳۳	۰/۵۸۰۶	۰/۵۷۷۹	۰/۵۷۵۳
۱۰	۰/۵۷۲۶	۰/۵۶۹۹	۰/۵۶۷۳	۰/۵۶۴۷	۰/۵۶۲۱	۰/۵۵۹۵	۰/۵۵۶۹	۰/۵۵۴۳	۰/۵۵۱۷	۰/۵۴۹۱	۰/۵۴۶۶	۰/۵۴۴۱
۱۱	۰/۵۴۱۵	۰/۵۳۹۰	۰/۵۳۶۵	۰/۵۳۴۱	۰/۵۳۱۶	۰/۵۲۹۱	۰/۵۲۶۷	۰/۵۲۴۲	۰/۵۲۱۸	۰/۵۱۹۴	۰/۵۱۷۰	۰/۵۱۴۶
۱۲	۰/۵۱۲۲	۰/۵۰۹۸	۰/۵۰۷۴	۰/۵۰۵۱	۰/۵۰۲۷	۰/۵۰۰۴	۰/۴۹۸۱	۰/۴۹۵۸	۰/۴۹۳۵	۰/۴۹۱۲	۰/۴۸۸۹	۰/۴۸۶۷

ج - کربن - ۱۳

- ورود گاز کربنیک نمونه همراه با نمونه استاندارد به داخل دستگاه اسپکترومتر جرمی
- سنجش محتوای کربن-۱۳ نمونه‌ها برحسب انحراف در هزار نسبت به نمونه استاندارد

۱۰-۱-۳- یونها و نمک‌های معدنی [۶]

- صاف کردن تمام نمونه‌ها
- اندازه‌گیری هدایت الکتریکی بر حسب میکرو موس بر سانتی‌متر، pH نمونه‌های آب در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دما
- اندازه‌گیری (آنیون‌ها کربنات، بی‌کربنات، سولفات، نیتريت و نترات) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر و تبدیل آن به میلی‌اکی‌والان بر لیتر
- اندازه‌گیری کاتیون‌ها (کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم) برحسب میلی‌گرم بر لیتر و تبدیل آن به میلی‌اکی‌والان بر لیتر
- اندازه‌گیری سختی آب بر حسب میلی‌گرم بر لیتر کربنات‌ها

۱۰-۱-۴- ردیاب‌های رنگی [۱۷، ۱۹، ۲۴]

- آماده‌سازی نمونه‌ها: در مورد اورانین، پیرانین و اتوزین افزایش pH با افزودن محلول سود یک نرمال و در مورد رودامین-بی کاهش دمای آب و محیط آزمایشگاه به زیر ۲۵ درجه سانتی‌گراد
- شستن نمونه‌های زغال فعال در محلول الکل و پتاس و در نتیجه تهیه محلول حاوی ماده رنگی

- صاف کردن نمونه‌ها

- اندازه‌گیری شدت فلورسانس و غلظت ردیاب در نمونه‌ها

همچنین با توجه به اثر دما بر شدت فلورسانس مواد رنگی، شدت اندازه‌گیری شده طبق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = F_0 e^{-m(t-t_0)} \quad (1-10)$$

که در آن F و F_0 به ترتیب شدت فلورسانس در دمای t و t_0 و m ضریب دمایی است.

- تهیه منحنی‌های واسنجی بر اساس آستانه تشخیص ردیاب مورد نظر

۱۰-۲- محاسبات

۱۰-۲-۱- ایزوتوپ های رادیواکتیو [۱۸،۲۳]

الف - تعیین سن آب زیرزمینی با استفاده از کربن-۱۴

برای محاسبه سن ظاهری با توجه به زیربند الف از بند ۱۰-۱-۱ (سنجش به روش گازی) پس از محاسبه در صد کربن-۱۴

نمونه‌ها بر حسب کربن-۱۴ مدرن باید به شرح زیر عمل کرد:

با استفاده از رابطه نمایی فروپاشی پرتوزایی زیر، با داشتن محتوای کربن-۱۴ که از آزمایش نمونه حاصل شده است سن ظاهری

به دست می‌آید. رابطه

$$t = 8268.4 \ln(A/A_0) \quad (2-10)$$

که در این رابطه A اکتیویته نمونه بر حسب در صد و A_0 اکتیویته اولیه نمونه که همیشه صد در صد است و t سن ظاهری بر

حسب سال است.

ب- تصحیح سن

برای تصحیح سن ظاهری محاسبه شده از محتوای کربن-۱۳ نمونه‌ها و با داشتن نسبت δC^{13} نمونه بر حسب انحراف در هزار،

به ۲۵ - در هزار کربن-۱۳ (آب‌های جوان) استفاده می‌شود. به این ترتیب که در صد کربن-۱۴ نمونه را بر نسبت $\frac{\delta C^{13}}{0-25\%}$ (که

رابطه متداول برای تصحیح کربن-۱۴ است) تقسیم کرده و در صد کربن-۱۴ واقعی به دست می‌آید. در صد اخیر را در رابطه (۱-۱۰)

قرار داده تا سن تصحیح شده نمونه حاصل شود.

نظر به این که کربن-۱۳ آب جوان در ایران معین نشده است و عدد ۲۵ - در هزار، خاص مناطق معتدل با پوشش گیاهی است،

بنابراین لازم است که این در صد برای آب‌های جوان مناطق خشک و نیمه‌خشک، طی پروژه خاصی معین شود. ضمناً تا انجام این

پروژه عدد ۱۷- در هزار، برای مناطق خشک و ۱۵- در هزار، برای مناطق نیمه خشک قابل قبول است.

ب - تعیین سن آب زیرزمینی با استفاده از تریتیوم

۱- سن یابی کمی

با تریتیوم می‌توان حداکثر تا ۵۰ سال آب را به شرح زیر سن یابی کرد.

- فرض اول: در صورتی که بارش بلافاصله و به طور مستقیم به منابع آب به پیوند (بدون اختلاط و پخشیدگی) در این صورت از رابطه (۱۰-۲) سن آب محاسبه می‌شود.
- فرض دوم: در صورتی که زمان عبور آب باران به دلایل مختلف در ناحیه تهویه یا غیر اشباع آبخوان به طول انجامد باید از مدل جریان پیستونی استفاده کرد. در این مدل هر بخش آب بدون اختلاط و پخش با بخش‌های دیگر جریان دارد (مانند واگن‌های قطار). برای محاسبه زمان عبور آب در ناحیه تهویه از کردار تغییرات تریتیوم آب باران به ازای زمان استفاده به عمل می‌آید. این زمان را با زمان حاصل از رابطه (۱۰-۱) زمان اقامت آب در آبخوان جمع کرده و در نتیجه سن آب به دست می‌آید. اشکال این مدل آن است که فرض می‌کند فقط باران یک سال مشخص در تغذیه آبخوان دخالت دارد. برای رفع این نقص از مدل اختلاط استفاده می‌شود. در این حالت فرض می‌شود که هر نمونه آب، حاصل اختلاط باران‌های چند سال است که با توزیع نرمال سهم هر سال در تغذیه مشخص می‌شود و محاسبه سن آب نظیر مدل پیستونی خواهد بود.

۲- سن یابی کیفی

سن یابی کیفی با استفاده از تریتیوم بر مبنای سال انفجارات هسته‌ای در جو (۱۹۵۲-۱۹۶۳) انجام می‌شود که شرح آن در قسمت ۱۱-۲ ارائه خواهد شد.

۱۰-۲-۲- ایزوتوپ‌های پایدار (اکسیژن ۱۸-، دوتریوم) (۷، ۱۸، ۲۳)

- تعیین رابطه بین مقادیر اکسیژن ۱۸- و دوتریوم نمونه‌ها برای مقایسه با خط آب جوی

با داشتن مقادیر اکسیژن ۱۸- و دوتریوم نمونه‌های آب باران که آزمایشگاه در اختیار قرار داده است می‌توان معادله خط آب جوی را با استفاده از همبستگی خطی تعیین کرد. مقادیر اکسیژن را برای x معادله و دوتریوم را برای y معادله قرار می‌دهیم. که معادله کلی آن به شرح زیر است.

$$\delta D = a\delta O^{18} + d\% \quad (10-3)$$

که در آن D محتوای دوتریوم، a ضریب زاویه ای معادله، δO^{18} محتوای اکسیژن - ۱۸ و d عرض از مبدا است که اصطلاحاً دوتریوم مازاد گفته می‌شود. مقادیر D و O^{18} به نسبت در هزار بیان می‌شود. چون تفاوت محتوای ایزوتوپی بین نمونه و نمونه مرجع ناچیز است δ به صورت انحراف در هزار نسبت به مرجع یا SMOW بیان می‌شود.

رابطه جهانی خط آب جوی به شرح زیر است:

$$\% \delta D = (8.17 \pm 0.08) \delta O^{18} + (10.56 \pm 64) \% \quad (10-4)$$

$$\% \delta D = (8.17 \pm 0.08) \delta O^{18} \pm 22 \quad (5-10)$$

در صورتی که برای محاسبه دوتریوم و اکسیژن-۱۸ امکان به دست آوردن معادله خط آب جوی وجود نداشته باشد، می‌توان از معادلات آب جوی مناطق مشابه استفاده کرد و یا از ابتدا با برداشت نمونه از آب‌های سطحی و زیرسطحی و سنجش مقادیر اکسیژن-۱۸ و دوتریوم آنها معادله خط آب جوی منطقه را محاسبه کرد.

- تعیین رابطه بین مقادیر اکسیژن-۱۸ نمونه‌ها و ارتفاع نقاط نمونه‌برداری

تجربه آژانس بین‌المللی انرژی اتمی نشان می‌دهد که تغییرات ایزوتوپی اکسیژن-۱۸ متناسب با ارتفاع، بین ۱۵ صدم در هزار تا ۵ دهم در هزار به ازای هر ۱۰۰ متر ارتفاع بوده و برای دوتریوم بین ۱/۵ در هزار و ۴ در هزار به ازای ۱۰۰ متر ارتفاع است که ممکن است این ارقام در ایران متفاوت باشد.

- تعیین رابطه بین اکسیژن-۱۸ و دمای محیط برای نمونه‌های باران

۱۰-۲-۳- محاسبات مربوط به آزمایش شیمیایی

آزمایشگاه شیمی آب معمولاً نتایج تجزیه کامل نمونه آب‌ها را بر حسب میلی‌گرم بر لیتر یا میلی‌اکی‌والان در لیتر ارائه می‌نماید که بعداً در تفسیر نتایج مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۰-۲-۴- محاسبات مربوط به مواد رنگی

نظر به این که محاسبات مربوط به مواد رنگی بعد از ترسیم منحنی‌های زمان - غلظت انجام می‌شود لذا در بند ۱۰-۳-۴ ارائه خواهد شد.

۱۰-۳-۳- تهیه دیاگرام‌ها و گراف‌ها

۱۰-۳-۱- تهیه دیاگرام‌ها و گراف‌های مربوط به ایزوتوپ‌های رادیواکتیو

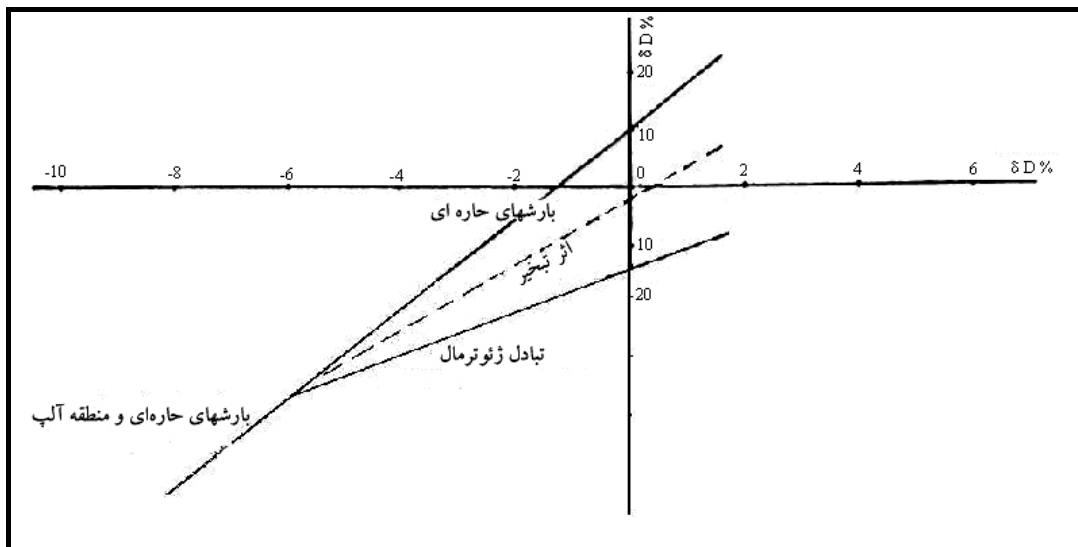
- ترسیم کردار تغییرات تریتیوم نسبت به زمان
- ترسیم کردار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به کربن-۱۴ نمونه‌ها
- ترسیم کردار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به قابلیت هدایت الکتریکی
- ترسیم کردار تغییرات محتوای کربن-۱۴ نسبت به کربن-۱۳
- ترسیم کردار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به اکسیژن-۱۸ نمونه‌ها
- ترسیم کردار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به یون‌های مختلف (موکد یون کلر)
- ترسیم کردار تغییرات سن آب کربن-۱۴ نسبت به فاصله از حوزه تغذیه

۱۰-۳-۲- تهیه دیاگرام‌ها و گراف‌های مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار

- رسم خط آب جوی ناحیه مورد مطالعه با استفاده از محتوای اکسیژن-۱۸ و دوتریوم نمونه‌های آب باران (در صورت عدم وجود) (شکل ۱۰-۱)
- رسم کردار تغییرات محتوای اکسیژن-۱۸ و دوتریوم نمونه‌ها
- رسم هیستوگرام یا کردار ستونی محتوای اکسیژن-۱۸ نمونه‌های آب باران
- رسم هیستوگرام یا کردار ستونی محتوای اکسیژن-۱۸ نمونه‌ها
- رسم هیستوگرام یا کردار ستونی دوتریوم مازاد نمونه‌های باران
- رسم کردار محتوای اکسیژن-۱۸ و دما
- تنظیم جدول سنجش‌های ایزوتوپی شامل: مشخصات نمونه‌ها، محتوای تریتیوم، کربن-۱۴، اکسیژن-۱۸، دوتریوم، کربن-۱۳، سن ظاهری، سن تصحیح شده و همچنین یون کلر
- رسم کردار تغییرات آنیون‌ها و محتوای اکسیژن-۱۸ نمونه‌ها
- رسم کردار تغییرات محتوای تریتیوم و اکسیژن-۱۸ نمونه‌ها
- رسم کردار تغییرات اکسیژن-۱۸ نسبت به ارتفاع
- نقل نتایج سنجش‌های ایزوتوپی بر روی نقشه

۱۰-۳-۳- کردارهای مربوط به تجزیه کامل شیمیایی

- تنظیم جدول سنجش‌های کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب
- رسم منحنی آب‌کرد چشمه‌ها
- دیاگرام‌های شولر-برکالف و پایپر
- رسم نقشه‌های هم‌ارز پارامترهای شیمیایی



شکل ۱۰-۱- رابطه اکسیژن-۱۸ و دوتریوم [۲۱]

۱۰-۳-۴- دیاگرام‌ها و گراف‌ها و محاسبات مربوط به مواد رنگی

- رسم منحنی غلظت رنگ بر حسب زمان (برای محل برداشت نمونه‌ها) (شکل ۱۰-۲)
- رسم منحنی آبگرد جریان خروجی رنگ
- محاسبه زمان ظهور ردیاب
- محاسبه سرعت حداکثر جریان ردیاب
- محاسبه زمان عبور غلظت حداکثر ردیاب
- محاسبه سرعت غالب^۱
- محاسبه زمان عبور ۵۰ درصد ردیاب بازیافت شده
- محاسبه سرعت میانگین^۲
- محاسبه جرم ماده رنگی بازیافتی با توجه به سطح زیر منحنی زمان - غلظت و آبدهی

$$M = Q \int C \cdot dt \cdot 10^6 \quad (۱۰-۶)$$

که در آن Q آبدهی چشمه بر حسب مترمکعب بر روز T زمان پس از ظهور ردیاب بر حسب روز M میزان بازیافت ماده ردیاب بر حسب کیلوگرم

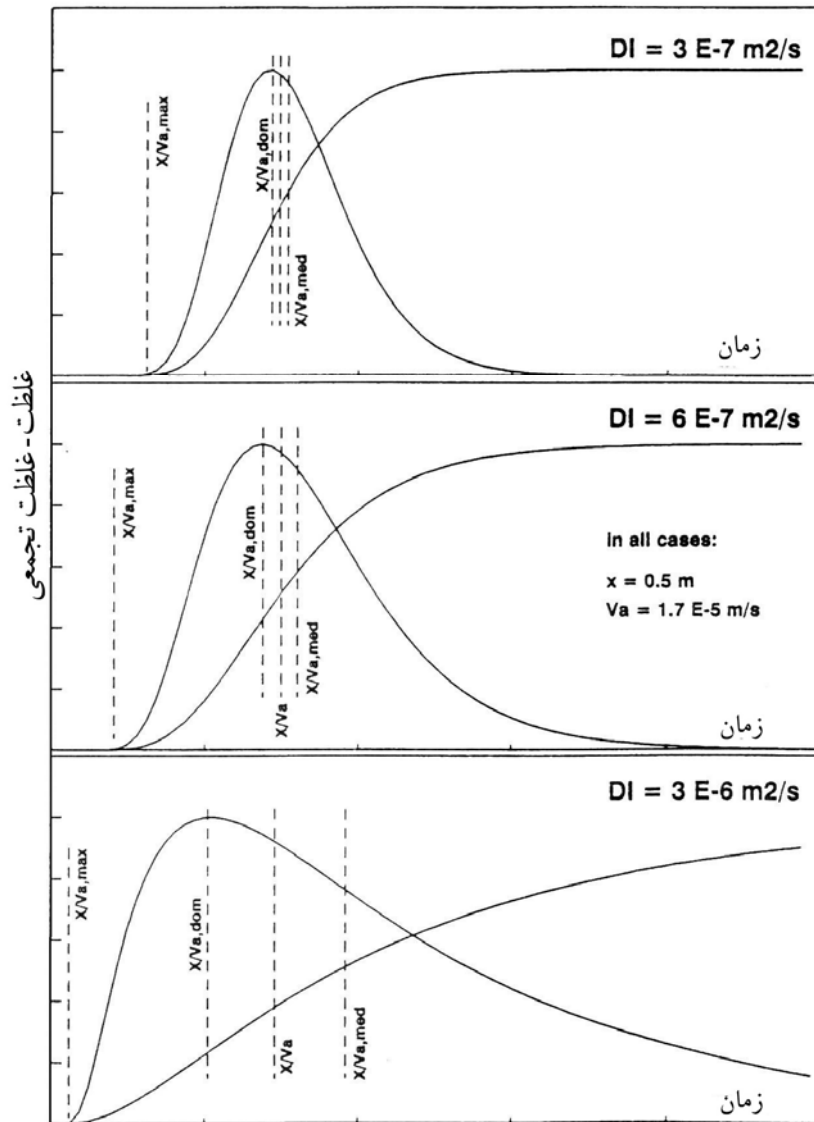
- ارائه مسیرهای جریان به دست آمده روی نقشه‌های مربوط
- رسم منحنی آبگرد چشمه‌ها
- محاسبه ضریب پخشیدگی

$$Tr = \int C \cdot dt / \int (C/T) d \cdot T \quad (۱۰-۷)$$

$$\delta_2 = \int C \cdot dt / \int (C/T) dt - \left[\int C \cdot dt / \int (C \cdot dt / \int (C/t) dt) \right]^2 \quad (۱۰-۸)$$

$$D = \delta^2 L^2 / 2tr^3 \quad (۱۰-۹)$$

که در این روابط C غلظت ردیاب بر حسب ppb، T زمان پس از ظهور ردیاب بر حسب روز Tr متوسط زمان ماندگاری ردیاب در آبخوان و δ_2 واریانس منحنی زمان - غلظت است.



شکل ۱۰-۲- کردارهای زمان - غلظت در حالت‌های مختلف ضریب پخشیدگی آبخوان

فصل ۱۱

تشریح ارزیابی و تفسیر نتایج و

نتیجه گیری نهایی در مسیر

اهداف مورد نظر

۱-۱۱- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو

۱-۱-۱۱- کربن-۱۴ [۲۳]:

نمونه‌هایی که اکتیویته آنها بیش از ۸۵٪ کربن-۱۴ مدرن است، آب‌های جوان محسوب می‌شوند (مانند آب‌های رودخانه یا چاه‌های کم عمق و آب‌های زیر سطحی)

- نمونه‌هایی که کربن-۱۴ آنها کم‌تر از ۳۰٪ کربن-۱۴ مدرن است آب‌های قدیمی محسوب می‌شوند.
- نمونه‌هایی که کربن-۱۴ آنها بین ۳۰ تا ۸۵٪ کربن-۱۴ مدرن است آب‌های فعال محسوب می‌شوند.
- با نقل مقادیر کربن-۱۴ نمونه‌ها روی نقشه، جهت جریان آب زیرزمینی با توجه به جهت کاهش کربن-۱۴ به دست می‌آید.
- تمام منابعی که کربن-۱۴ قابل تشخیص (حداقل ۲pmc) داشته باشند با توجه به تجزیه و فروپاشی اکتیویته و نیمه عمر کربن-۱۴ (۵۷۳۰ سال)، جوانتر از ۳۰۰۰۰ سال است.
- آب‌هایی که کربن-۱۴ آن کم‌تر از حد قابل اندازه‌گیری (۲ pmc) باشد، سن آن بیش از ۳۰۰۰۰ سال است. این طبقه‌بندی برای تشخیص آب‌های غیر فعال از نظر هیدرولوژیکی سودمند است.
- با استفاده توأم از نتایج تجزیه تریتیوم و کربن-۱۴، آب‌ها را از نظر زمانی به سه گروه تقسیم می‌کنند:
- آب‌هایی با مقدار کربن-۱۴ بالا و تریتیوم قابل تشخیص مربوط به بعد از سال ۱۹۵۴ یعنی سن صفر تا چهل و پنج سال است که مبین تغذیه محلی یا حرکت کارستی است.
- آب‌هایی که تریتیوم غیر قابل تشخیص و کربن-۱۴ قابل تشخیص داشته باشند، مربوط به قبل از سال ۱۹۵۴ و جوانتر از ۳۰۰۰۰ سال است که مشخصه آب‌های فعال است.
- آب‌هایی که مقادیر کربن-۱۴ و تریتیوم آن غیر قابل تشخیص باشد، دارای سن بیش از ۳۰۰۰۰ سال بوده و مشخصه آب‌های راکد است.
- کربن-۱۴ غیر از استفاده در تعیین سن، می‌تواند به عنوان ردیاب معمولی نیز به کار رود. مثلاً میزان کربن-۱۴ بالا تا حدود ۸۵٪ کربن-۱۴ مدرن، نشانگر ارتباط هیدرولیکی آبخوان با آب‌های روباز است.
- گذشته از این که منابع آب منطقه بر اساس سن آنها گروه‌بندی می‌شوند، با به دست آوردن سن تصحیح شده آنها به روش C^{13} امکان مقایسه سنی منابع آبی مختلف منطقه با یکدیگر وجود خواهد داشت.

۱-۱-۱۱-۲- تریتیوم^۱

- ارقام تفاسیر مربوط به تریتیوم بر اساس سنجش‌های سال ۱۹۹۶ است.
- میانگین غلظت طبیعی تریتیوم در باران قبل از آزمایش‌های هسته‌ای بسته به شرایط جغرافیایی TU بین ۵ تا ۱۰ بوده و بعد از آزمایش‌های هسته‌ای از سال ۱۹۵۲ این مقدار افزایش یافت و در سال ۱۹۶۳ به حدود ۸۰۰ TU در نیم کره شمالی و ۶۰ TU در نیم کره جنوبی رسید و پس از توقف آزمایش‌های هسته‌ای به حد کنونی رسیده است.

۱- ارقام مربوط به تریتیوم بر اساس سنجش‌های سال ۱۹۹۶ است.

اصطلاح سن تریتیوم منفی برای آب‌های زیرزمینی با مقدار خیلی کم و غیر قابل سنجش تریتیوم قبل از بمب‌های هسته‌ای ۱۹۵۲ و اصطلاح تریتیوم مثبت برای آب‌های زیرزمینی با تریتیوم بالا بعد از بمب‌های هسته‌ای پیشنهاد شده است.

الف - نواحی قاره‌ای [۱۸]

- اگر محتوای تریتیوم نمونه‌ها کم‌تر $0/8$ TU باشد، معرف تغذیه آبخوان قبل از سال ۱۹۵۲ است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین $0/8$ تا 4 TU باشد، معرف مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین $5 \sim 15$ TU باشد، معرف تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال) است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین $15 \sim 30$ TU باشد، معرف تغذیه از سال ۱۹۶۳ در نمونه است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین $30 \sim 50$ TU باشد، معرف آن است که سهم عمده تغذیه مربوط به اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰ است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بیش‌تر از 50 TU باشد، معرف آن است که تغذیه عمده از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۹ است.

ب- نواحی ساحلی [۱۸]

- اگر محتوای تریتیوم نمونه‌ها کم‌تر از $0/8$ TU باشد، معرف تغذیه آبخوان قبل از سال ۱۹۵۲ است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین $0/8$ تا 2 TU باشد، معرف مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۲ تا ۸ TU باشد، معرف تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال) است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۱۰ تا 20 TU باشد، معرف بقایای تریتیوم ناشی از انفجارات همراه نمونه آب است.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بیش‌تر از 20 TU باشد، معرف سهم قابل ملاحظه‌ای از تغذیه مربوط به سال‌های ۱۹۶۰ یا ۱۹۷۰ است.

۱۱-۲- ایزوتوپ‌های پایدار

الف - کربن-۱۳

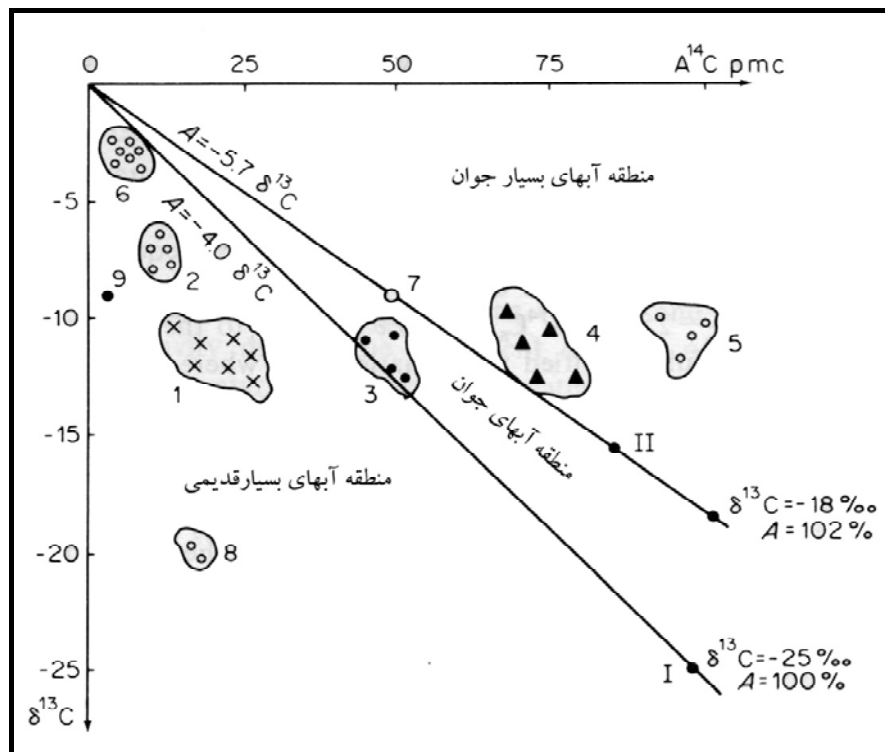
- آب‌ها را با استفاده از کردار تغییرات کربن-۱۴ بر حسب محتوای کربن-۱۳ (شکل ۱۱-۱) می‌توان با داشتن مقادیر محتوای کربن-۱۴ و کربن-۱۳ نمونه‌ها، به شرح زیر طبقه بندی کرد:
- آب‌های خیلی جوان، بعد از انفجارات هسته‌ای در جو
 - آب‌های جدید
 - آب‌های قدیمی
- همچنین با استفاده از محتوای کربن-۱۳ و کربن-۱۴ نمونه‌ها می‌توان سن ظاهری حاصل از کربن-۱۴ نمونه‌ها را تصحیح کرد.

ب - اکسیژن-۱۸ و دوتریوم

با استفاده از خط آب جوی ناحیه (بند ۱۰-۲-۲) و خط حاصل از تغییرات محتوای اکسیژن-۱۸ و دوتریوم نمونه‌ها می‌توان به نتایج

زیر دست یافت:

- آب‌هایی با منشا جوی
 - آب‌هایی که متحمل تبخیر شده اند
 - آب‌های زمین‌گرمایی (ژئوترمال یا با تبادل ژئوترمال)
 - تغذیه آب از نواحی سرد
 - تغذیه آب از نواحی گرم
 - تشخیص حوضه‌های بسته
 - ارتباط آب‌ها با هم
 - تعیین ترکیب ایزوتوپی آب باران تغذیه کننده منطقه مورد مطالعه (محل تقاطع خط آب جوی منطقه با خط آب نمونه)
 - تعیین اثرات قاره‌ای، کمی، ارتفاع، حرارت و جغرافیایی در منابع آب منطقه
 - تعیین نواحی تغذیه با استفاده از دیاگرام تغییرات محتوای اکسیژن-۱۸ بر حسب ارتفاع
 - تعیین منشا مؤلفه آب شور در آب زیرزمینی با توجه به میزان اکسیژن-۱۸
- در کردارهای تغییرات محتوای اکسیژن-۱۸ نسبت به دوتریوم، آب زیرزمینی مسن عموماً زیر خط آب جوی قرار می‌گیرد.



شکل ۱۱-۱- رابطه کربن-۱۴ و کربن-۱۳ [۲۰]

۱۱-۳- شیمیایی

با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه کامل شیمیایی نمونه آب‌ها و محاسبات مربوط و ترسیم دیاگرام‌ها و نقشه‌ها می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

- تعیین جهت و مسیر عمومی جریان آب زیرزمینی با توجه به روند افزایشی و یا کاهشی پارامترهای مختلف شیمیایی یا فیزیکی اندازه‌گیری شده و نقشه‌های هم‌ارز حاصل
- تعیین مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان با توجه به نقشه‌های هم‌ارز هیدروشیمی
- تعیین تاثیر پذیری آب زیرزمینی از سازندهای در برگیرنده آن و مسیر جریان
- تعیین تیپ منابع آبی مختلف منطقه بر اساس کیفیت شیمیایی و تعیین ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب سطحی و زیرزمینی

۱۱-۴- ردیاب‌های رنگی

با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه (آنالیز) اسپکتروفلئوریمتری نمونه‌ها و محاسبات و رسم دیاگرام‌های مربوط می‌توان به نتایج زیر دست یافت [۲۴]:

الف - تجزیه و تحلیل کمی

- تعیین و تفسیر میزان رنگ بازیافت شده در رابطه با سهم چشمه نسبت به کل ردیاب تزریقی و تعیین حوضه آبریز آن
- تعیین و تفسیر میزان رنگ بازیافت نشده
- مقایسه سرعت جریان آب زیرزمینی با سرعت‌های به دست آمده در دیگر مناطق
- مقایسه کردارهای بده چشمه‌ها، هیتوگران و منحنی‌های زمان - غلظت و تفسیر آنها
- تعیین منطقه حفاظتی چاه‌های آب آشامیدنی

ب - تجزیه و تحلیل کیفی

- تشخیص ارتباط یا عدم ارتباط محل تزریق با نقاط نمونه‌برداری و تعیین مسیر جریان
- تعیین و تحلیل جهت جریان آب زیرزمینی با توجه به ترتیب ظهور ردیاب در نقاط نمونه‌برداری
- تعبیر و تفسیر مقایسه‌ای و تخلل و نوع دانه‌بندی با توجه به شکل منحنی زمان - غلظت و سرعت جریان آب زیرزمینی
- تعبیر و تفسیر مقایسه‌ای ضریب پخشیدگی ردیاب در شبکه‌های کارستی، پیرامون نقاط مختلف نمونه‌برداری
- تعبیر و تفسیر مقایسه‌ای سرعت جریان ردیاب پیرامون نقاط مختلف نمونه‌برداری
- تعبیر و تفسیر مقایسه‌ای حجم آب ردیابی شده در نقاط مختلف نمونه‌برداری یا ارتباط شکل منحنی زمان - غلظت با شرایط فصل مرطوب و فصل خشک

فصل ۱۲

تهیه گزارش

گزارش نهایی هر پروژه ردیابی باید شامل مطالب زیر باشد:

- پیشگفتار
- لیست افراد شرکت کننده و تخصص آنها در مطالعات ردیابی
- مقدمه
- فصل اول
- هدف
 - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
 - مروری بر ادبیات فنی و خلاصه‌ای از مطالعات ردیابی قبلی در منطقه
 - مروری بر وضعیت چینه شناسی، زمین ساخت، زمین شناسی ساختمانی، زمین ریخت شناسی، زمین شناسی مهندسی، هیدروکلیماتولوژی، هواشناسی، منابع آب سطحی، هیدروژئولوژی، مناطق تغذیه و تخلیه، مسیر عمومی جریان، موقعیت چشمه‌ها - گمانه‌ها - چاه‌ها، ژئوفیزیک و حفاری
- فصل دوم (روش اجرا)
 - خلاصه‌ای از بررسی‌های اولیه صحرایی
 - انتخاب روش ردیابی
 - انتخاب ردیاب
 - انتخاب نقاط نمونه برداری و تزریق
 - تشریح روش ردیابی و مراحل اجرای کار میدانی (صحرایی)
 - ارائه روش‌ها و نتایج آزمایشگاهی
- فصل سوم (تحلیل داده‌ها)
 - رسم دیاگرام‌ها، گراف‌ها، نقشه‌ها و ارائه محاسبات
 - تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده
- فصل چهارم (نتیجه گیری)
 - نتیجه گیری از داده‌ها
 - پیشنهادات
- تشکر و قدردانی
- پیوست‌ها
- منابع و ماخذ

منابع و مراجع

- ۱- آغاسی. عبدالوحد، افراسیابیان. احمد، هیدروژنولوژی کارست (ترجمه)، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور ۱۳۷۸
- ۲- افتخاری. علیرضا، کاربرد ردیاب‌های رنگی در بررسی خصوصیات هیدروژنولوژیکی منطقه کارستی سپیدان-فارس پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز ۱۳۷۳
- ۳- طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، تئوری، اصول و بررسی وضعیت موجود کاربرد ردیابی در کشور، نشریه ۱۳۰، خرداد ۱۳۷۹
- ۴- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، فهرست خدمات مرحله توجیهی مطالعات ایزوتوپی و ردیابی مصنوعی منابع آب زیرزمینی، نشریه ۲۳۰، ۱۳۸۱
- ۵- طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور، دستورالعمل تهیه استانداردها و نشریات، نشریه ۸۴، مرداد ۷۹
- ۶- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دستورالعمل رفتارسنجی کیفی آب‌های زیرزمینی نشریه شماره ۱۸۷-۱۳۷۸
- ۷- عزیزبیلگو، فرهاد، مدنژاد، مهرفروز، هنرمند، عباس، هیدروژنولوژی ایزوتوپ‌های ثابت، دوتریوم و اکسیژن-۱۸ در چرخه آب، مرکز تحقیقات آب ۱۳۷۰
- ۸- کمیته فنی کارست کشور، دستورالعمل انجام آزمایشات ردیابی با استفاده از رنگهای فلئورسنت در منابع آب کارست، تماب ۱۳۷۷
- ۹- کمیته کارست و سازندهای سخت، دستورالعمل و راهنمای انجام آزمایشات ردیابی در کارست و سازندهای سخت، تماب ۱۳۷۵
- ۱۰- کمیته کارست و سازندهای سخت، فرهنگ چند زبانه واژه‌های کارست، تماب ۱۳۷۳
- ۱۱- کمیته کارست و سازندهای سخت، دستورالعمل و راهنمای انجام آزمایشات ردیابی در کارست و سازندهای سخت، کد ۹۸۴-۲۷۹-۴۲۰، شهریور ۷۵
- ۱۲- مرکز تحقیقات آب، اندازه‌گیری کربن-۱۴ در هوا، مرکز تحقیقات آب ۱۳۵۲
- ۱۳- مرکز تحقیقات آب، ایزوتوپ‌ها در آبشناسی، مرکز تحقیقات آب ۱۳۵۲
- ۱۴- مرکز مطالعات و تحقیقات کارست کشور، دستورالعمل نمونه‌برداری آب جهت اندازه‌گیری ایزوتوپ‌های محیطی تریتیوم، اکسیژن هجده و هیدروژن دو، پاکزاد، مرتضی، کد ۱۰۶۵-۴۹-۴۴۰، تیرماه ۷۶
- ۱۵- مرکز مطالعات و تحقیقات کارست کشور (کمیته فنی کارست کشور)، دستورالعمل انجام آزمایشات ردیابی با استفاده از رنگهای فلورسنت در منابع کارست، کد ۱۱۴۶-۵۸-۴۴۰، شهریور ۷۷
- ۱۶- مرکز مطالعات و تحقیقات کارست کشور، دستورالعمل سنتز بنزن جهت اندازه‌گیری کربن-۱۴ نمونه‌های آب، مرتضی پاکزاد، کد ۱۳۳۴-۱۰۷-۴۴۰، بهمن ماه ۱۳۷۹
- ۱۷- مرکز ملی پژوهشهای منابع آب کارست، دستورالعمل اندازه‌گیری کربن-۱۴ نمونه‌های آب به روش گازی، مرتضی پاکزاد، کد ۹۴۶-۲۲-۴۴۰، اسفند ۷۴

- 18- Balthazar, et.al, Isotope hydrological methods for the quantitative evaluation of groundwater resources in arid and semiarid areas, Ministry for Economic Cooperation of the Federal Republic of Germany.
- 19- Benischke, R., Fluorescent tracers in hydrology, Institute for Geothermics and Hydrogeology, Graz, Austria, 2001.
- 20- Clark, I. and Fritz, P., Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Pub., 1997.
- 21- Davis, S. N. eq. al., Groundwater tracers, National Water Well Association, 1985.
- 22- Ferronsky, V. I. and V. A.Polyakov, Environmental isotopes in the hydrosphere, John Wiew& Sons, 1982.
- 23- Ford and Williams, Karst geomorphology and hydrology, London Unwin Hyman Ltd, 1992
- 24- Hotzll, H., Tracer hydrology, Balkema Pub., 1992.
- 25- IAEA, Guidebook on nuclear techniques in hydrology, Tech. Rep. Ser. No 91, Vienna, 1983.
- 26- Mull, D. S. eq. al., Application of dye tracing techniques for determining solute transport characteristics of ground water in karst terranes, U.S. Environmental Protection Agency. 1988.
- 27- Kass, W., Tracing techniques in geohydrology, A. A. BALKEMA, 1998
- 28- Seiler P. & S. Wohnlich eds, New approaches characterizing groundwater flow, BALKEMA, 2001
- 29- Schoeller H., Les Eaux, Souterraines, Hydrogeologie dynamique et chimique recherche exploitation et evaluation des ressources masson et cie editeurs, Paris, 1962
- 30- Tatzber H., Carbon 14 gasfilling, counting and calculating, document code RIALHYI04.02.002 IAEA's laboratories at Seibersdorf and Vienna, Quality Assurance System Instructions, 1998
- 31- Tatzber H., Preparation of carbon dioxide for C14 analysis, IAEA, 1998
- 32- Randulf Auer, Tritium measurments of water samples using liquid scintillation counting and electrolytic enrichment, IAEA, 1999

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency For Strategic Planning and Supervision

Instruction on Application of Groundwater Tracing Methods in karst and Hardrock Formation

No. 546

Office of Deputy for Strategic Supervision

Bureau of Technical Execution System

<http://tec.mporg.ir>

Ministry of Energy

Bureau of Engineering and Technical
Criterias for Water and Wastewater

<http://seso.moe.org.ir>

2010

این نشریه

رديابی یکی از روش‌های کاربردی در مطالعات منابع آب و ژئوتکنیک است که در گذشته کاربرد عمده آن به ویژه در تعیین سرعت و مسیر جریان و سرچشمه آب‌های زیرزمینی بوده است. امروزه با توجه به گسترش روزافزون جمعیت و پی‌آمد آن فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی و ورود پیوسته فاضلاب‌ها و پساب‌ها به چرخه هیدرولوژی، این روش به طور گسترده‌ای در بررسی‌های زیست‌محیطی و آلودگی منابع آب استفاده می‌شود. در کشور ما کاربرد عمده این روش در زمینه تعیین جهت و سرعت جریان و ارتباط منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی به ویژه در ساختگاه سدهای کشور بوده است.

امتیاز اصلی روش‌های رديابی، فراهم آوردن امکان دسترسی مستقیم به داخل سیستم آب زیرزمینی است. از جمله کاربردهای اصلی روش‌های رديابی می‌توان به تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی محیط جریان، تعیین ارتباط هیدرولیکی بین منابع مختلف آب‌های سطحی و زیرزمینی، تعیین سرچشمه آلودگی در منابع آب و مطالعه الگوی گسترش آن در محیط، اندازه‌گیری آبدی جریان‌های سطحی، مطالعات فرار آب در سدها، تعیین مرزهای آبخوان، بررسی نقش ساختارهای تکتونیکی در جریان آب‌های زیرزمینی و ... اشاره نمود.