

جمهوری اسلامی ایران
معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

دستورالعمل کاربرد روش های ردیابی در مطالعات آبخوان های آبرفتی

نشریه شماره ۵۵۲

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

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

معاونت نظارت راهبردی

دفتر نظام فنی اجرایی

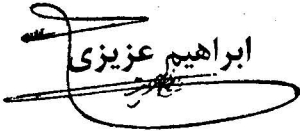
<http://tec.mporg.ir>



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور

شماره:	۱۰۰/۱۲۹۷۸	بخشنامه به دستگاههای اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۰/۲/۲۷	
موضوع: دستورالعمل کاربرد روشهای ردیابی در مطالعات آبخوانهای آبرفتی		
به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین نامه 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 ۵۵۲ دفتر نظام فنی اجرایی، با عنوان «دستورالعمل کاربرد روشهای ردیابی در مطالعات آبخوانهای آبرفتی» از نوع گروه سوم ابلاغ می شود. دستگاههای اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روشها، دستورالعملها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، با ارسال نسخه ای 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، ایهام 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 می شود.

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

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

Email: tsb.dta@mporg.ir

web: <http://tec.mporg.ir>

پیشگفتار

امروزه ردیابی آب‌های زیرزمینی در مقایسه با گذشته کاربردی 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 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 بدین 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 دستورالعمل 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 «دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آبخوان‌های آبرفتی» را با هماهنگی دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی نظارت راهبردی رییس جمهور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و 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 ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷-هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) تصویب و ابلاغ گردد.

بدین‌وسیله معاونت نظارت راهبردی از تلاش و جدیت کارشناسان این دفتر و نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد حاج‌رسولپها و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید و از ایزدمنان توفیق روزافزون آنان 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

۱۳۹۰

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 و همکاری افراد زیر تهیه شده است. اسامی این افراد به ترتیب حروف الفبا به شرح زیر می باشد:

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

احمد افراسیابیان	مرکز ملی مطالعات و تحقیقات سازندهای سخت (کارست)	دکترای آب شناسی (هیدروژئولوژی کارست)
فیروزه امامی	کارشناس آزاد	لیسانس زمین شناسی
مرتضی پاکزاد	کارشناس آزاد	دکترای مکانیک خاک
مهرافروز 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:

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

همکاران دفتر نظام فنی اجرایی در هدایت و راهبری پروژه:

آقای علیرضا دولتشاهی	دفتر نظام فنی اجرایی	لیسانس مهندسی کشاورزی
خانم فرزانه آقارمضانعلی	دفتر نظام فنی اجرایی	فوق لیسانس مهندسی صنایع
خانم ساناز سرافراز	دفتر نظام فنی اجرایی	فوق لیسانس مهندسی منابع آب

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول - کلیات
۵	۱-۱- کلیات و بررسی‌های مقدماتی
۵	۱-۱-۱- بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های آبرفتی
۶	۱-۱-۲- جمع‌آوری گزارش‌ها و ادبیات فنی موجود و مروری بر آنها
۶	۱-۱-۳- مطالعات مقدماتی صحرایی محدوده مورد مطالعه
۷	۱-۱-۴- تخصص‌های لازم در تیم اجرایی
۹	فصل دوم - تعاریف و طبقه‌بندی انواع ردیاب‌ها
۱۱	۱-۲- ویژگی‌های ردیاب‌ها
۱۱	۲-۲- انواع ردیاب‌های متداول
۱۱	۱-۲-۲- ردیاب‌های طبیعی (محیطی)
۱۱	۲-۲-۲- ردیاب‌های مصنوعی (افزودنی)
۱۵	فصل سوم - مبانی لازم در اجرای کار
۱۷	۱-۳- زمین‌شناسی مهندسی
۱۷	۱-۳-۱- تشریح معیارهای مطالعات ژئوفیزیکی
۱۷	۱-۳-۲- تشریح روش‌ها و اصول حفاری چاه‌های تزریق، پمپاژ و مشاهده‌ای
۱۷	۱-۳-۳- تشریح روش‌های انجام آزمایش‌های ردیابی از دیدگاه زمین‌شناسی
۱۷	۲-۳- زمین‌شناسی
۱۷	۱-۲-۳- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع ردیاب و آزمایش‌های ردیابی از دیدگاه زمین‌شناسی
۱۷	۲-۲-۳- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع آزمایش‌های ردیابی از دیدگاه سنگ‌شناسی
۱۸	۳-۲-۳- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع آزمایش‌های ردیابی از دیدگاه پتروگرافی
۱۸	۳-۳- هیدروژئولوژی
۱۸	۱-۳-۳- تشریح اصول مطالعات هیدروژئولوژی ایزوتوپی
۲۰	۲-۳-۳- تشریح اصول هیدرولیک آب‌های زیرزمینی
۲۰	۳-۳-۳- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع آزمایش ردیابی متناسب با آبخوان
۲۱	۴-۳-۳- تعیین محدودیت‌های آزمایش‌های ردیابی از نظر خصوصیات جریان آب زیرزمینی (سرعت و جهت)

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

۲۳	فصل چهارم- دستورالعمل انجام پروژه ردیابی در آبخوان های آبرفتی
۲۵	۱-۴- اهداف پروژه ردیابی در آبخوان های آبرفتی
۲۵	۱-۱-۴- اهداف کیفی
۲۵	۱-۲-۴- اهداف کمی
۲۶	۲-۴- تعیین ضوابط انتخاب ردیاب مناسب و تعیین محدودیت ها و ضوابط اجرای کار از نظر زیست محیطی
۲۶	۱-۲-۴- زمین شناسی و ژئوشیمی
۲۶	۲-۲-۴- هیدروژئولوژی
۲۶	۳-۲-۴- زیست محیطی
۲۷	۴-۲-۴- سهولت انجام عملیات
۲۷	۳-۴- تنظیم برنامه زمانی مطالعات
۲۷	۱-۳-۴- برنامه زمانی ردیابی ایزوتوپی محیطی
۲۸	۲-۳-۴- برنامه زمانی ردیابی رنگی و نمک های معدنی در روش چند چاهه
۲۹	فصل پنجم- تزریق ردیاب و ضوابط مربوط به آن
۳۱	۱-۵- تزریق ردیاب و ضوابط مربوط به آن
۳۱	۱-۱-۵- ضوابط انتخاب زمان تزریق
۳۱	۲-۱-۵- ضوابط انتخاب محل تزریق
۳۲	۳-۱-۵- روش های تزریق و ضوابط انتخاب آن
۴۰	۴-۱-۵- مقدار مناسب ردیاب
۴۰	۵-۱-۵- آماده سازی محل تزریق
۴۱	۶-۱-۵- آماده سازی ردیاب برای تزریق
۴۳	فصل ششم- نمونه برداری و ضوابط آن
۴۵	۱-۶- تشریح روش های نمونه برداری
۴۶	۱-۱-۶- مراحل نمونه برداری ایزوتوپی
۴۸	۲-۱-۶- نمونه برداری شیمیایی و نمک های معدنی
۴۸	۳-۱-۶- مراحل نمونه برداری مواد رنگی
۴۹	۲-۶- ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای نمونه برداری
۴۹	۱-۲-۶- نقاط نمونه برداری ایزوتوپ های محیطی
۵۰	۲-۲-۶- نقاط نمونه برداری ردیاب های مصنوعی
۵۰	۳-۶- ضوابط انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه برداری

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۶-۳-۱- نمونه برداری ایزوتوپ های محیطی	۵۱
۶-۳-۲- نمونه برداری مواد رنگی و معدنی و ایزوتوپ های مصنوعی	۵۱
فصل هفتم- تشریح روش های آماده سازی اولیه و شرایط حمل نمونه ها به آزمایشگاه	۵۳
۷-۱- تشریح روش های آماده سازی اولیه و شرایط حمل نمونه ها به آزمایشگاه	۵۵
۷-۱-۱- نمونه های ماده رنگی، شیمیایی و نمک های معدنی	۵۵
۷-۱-۲- نمونه های کربن - ۱۴	۵۵
۷-۲- وسایل و لوازم مورد نیاز و روش های اندازه گیری	۵۵
۷-۲-۱- تشریح دستگاه ها و تجهیزات لازم در عملیات تزریق، نمونه برداری و اندازه گیری صحرایی	۵۵
۷-۲-۲- تشریح تجهیزات و سیستم های آزمایشگاهی لازم برای سنجش ردیاب های ایزوتوپی محیطی، شیمیایی و مصنوعی	۵۷
۷-۲-۳- اصول کاربرد، روش استفاده و تعیین ضوابط هر سنجش	۶۱
فصل هشتم- انجام محاسبات و تهیه نمودارهای لازم	۶۵
۸-۱- محاسبات	۶۷
۸-۱-۱- زمان اقامت آب در آبخوان	۶۷
۸-۱-۲- محاسبه خواص هیدرودینامیکی آبخوان	۶۸
۸-۱-۳- محاسبه میزان بازیافت ردیاب های رنگی	۷۰
۸-۲- تهیه نمودارها	۷۱
۸-۲-۱- نمودارهای مربوط به ایزوتوپ های رادیواکتیو	۷۱
۸-۲-۲- نمودارهای مربوط به ایزوتوپ های پایدار (اکسیژن -۱۸، دوتریوم)	۷۲
۸-۲-۳- نمودارهای مربوط به تجزیه کامل شیمیایی	۷۲
۸-۲-۴- نمودارهای مربوط به ردیاب های رنگی	۷۳
فصل نهم- عملیات صحرایی تکمیلی	۷۵
۹-۱- عملیات صحرایی تکمیلی	۷۷
۹-۲- تشریح ارزیابی و تفسیر نتایج و نتیجه گیری نهایی در مسیر اهداف مورد نظر	۷۷
۹-۲-۱- ایزوتوپ های رادیواکتیو محیطی	۷۷
۹-۲-۲- ایزوتوپ های پایدار (O^{18}, C^{13}, H^2)	۷۹
۹-۲-۳- یون ها و نمک های معدنی	۸۰
۹-۲-۴- ردیاب های رنگی	۸۰

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸۱	۳-۹- تهیه گزارش
۸۳	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۲	جدول ۱-۲- گزیده‌ای از ویژگی‌های برخی از ردیاب‌های رنگی فلئورسنت
۶۲	جدول ۱-۷- جدول فروپاشی تریتیوم نسبت به زمان
۶۴	جدول ۲-۷- ضریب دما برای برخی از مواد رنگی

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۰	شکل ۱-۳- نوسانات تریتیوم در جو نسبت به زمان
۳۲	شکل ۱-۵- تزریق لحظه‌ای
۳۳	شکل ۲-۵- دستگاه مورد استفاده برای تزریق با دبی ثابت
۳۳	شکل ۳-۵- تزریق با دبی ثابت
۳۶	شکل ۴-۵- شمایی از روش تشخیص جریان قائم در آب زیرزمینی
۳۷	شکل ۵-۵- اندازه‌گیری ویژگی‌های آبخوان در روش چند چاهه
۳۹	شکل ۶-۵- تشخیص جهت جریان آب زیرزمینی در روش ماکزیمم
۴۷	شکل ۱-۶- نمونه‌برداری کربن ۱۴ به روش رسوب
۴۸	شکل ۲-۶- نمونه‌برداری کربن ۱۴ به روش گازی
۵۸	شکل ۱-۷- نمای شماتیک شمارنده گازی
۵۹	شکل ۲-۷- نمایی از بیناب سنج جرمی (IRMS) گازی، با هر دو ورودی پیوسته و دوگانه
۶۹	شکل ۱-۸- نمودارهای زمان-غلظت در حالت‌های مختلف ضریب پخشیدگی آبخوان
۷۱	شکل ۲-۸- نمودار تغییرات کربن ۱۴ بر حسب محتوای کربن-۱۳
۷۲	شکل ۳-۸- خط آب جوی

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 به‌وسیله 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 کارایی 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 به‌کارگیری 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 به‌وجود می‌آورد. علاوه بر ویژگی‌های فوق عوامل دیگری مانند اثرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی نیز ممکن است بر نتایج ردیابی تاثیرگذار باشد.

– هدف

هدف از «دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آبخوان‌های آبرفتی»، ارائه مجموعه‌ای از راهنمایی‌ها به کارشناس و پژوهشگر می‌باشد 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 تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده خود را محدود به شیوه‌های ارائه شده، ننماید و از قضاوت مهندسی خود نیز کمک گیرند.

– دامنه کاربرد

در این راهنما روش‌های گوناگون ردیابی آب‌های زیرزمینی در محیط‌های متخلخل آبرفتی مورد اشاره قرار گرفته است. با این وجود، با هدف تمرکز بیش‌تر بر روش‌های کاربردی 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. در این دستورالعمل ضمن اشاره به سرفصل‌های اصلی این روش‌ها، در هر مورد به انتشارات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی یا انتشارات داخلی ارجاع داده شده است.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- کلیات و بررسی‌های مقدماتی

آبخوان‌های آبرفتی هم اکنون در بسیاری از مناطق شهری و روستایی کشور یکی از منابع مهم تامین آب آشامیدنی و کشاورزی به‌شمار می‌آیند. توالی دوره‌های خشکسالی و ترسالی در مناطق خشک و نیمه خشک و به‌ویژه برداشت بیش از اندازه از این آبخوان‌ها تهدید عمده‌ای برای این منابع آب به‌شمار می‌آید که لزوم شناخت هر چه بهتر آنها را نشان می‌دهد. روش‌های مطالعاتی هیدرولوژی ایزوتوپی و ردیابی یکی از بهترین و رایج ترین روش‌های شناسایی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی و هیدرودینامیکی آبخوان‌های آبرفتی می‌باشد. در این بخش نخست به بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های آبرفتی پرداخته شده و سپس محورهای کلی بررسی‌های مقدماتی و مطالعات مقدمات صحرایی ارائه خواهد شد.

۱-۱-۱- بررسی ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی آبخوان‌های آبرفتی

آبرفت‌ها که از محیط‌های رسوبی ناپیوسته تشکیل شده‌اند در صورتی که از تخلخل مفید و تراوایی مناسبی برخوردار باشند و شرایطی نظیر وجود لایه ناتراوا در بخش تحتانی و تغذیه کافی وجود داشته باشد، آبخوان آبرفتی را تشکیل می‌دهند. تغییرات دانه‌بندی در این آبخوان‌ها معمولاً تدریجی بوده و مقدار خلل و فرج و نحوه ارتباط آنها با یکدیگر بر تراوایی، ذخیره سازی و جریان آب در این آبرفت‌ها بسیار موثر است. مهم‌ترین خواص و ویژگی‌های آبخوان‌های آبرفتی عبارتند از:

الف- ویژگی‌های هیدرولوژیکی

- جریان‌های سطحی

در محیط‌های آبرفتی جریان‌های سطحی داریم و موقت یافت می‌شود و الگوی آبراهه آنها متناسب با دانه‌بندی و تراوایی آبرفت می‌باشد. این جریان معمولاً در بالا دست نقش تغذیه و در پایین دست نقش زهکش آبخوان را ایفا می‌نماید.

- جریان‌های زیرزمینی

جریان آب در آبخوان‌های آبرفتی شامل حرکت قائم نزولی، صعودی و جانبی است. معمولاً جهت غالب جریان آب زیرزمینی از جریان‌های سطحی و به عبارت دیگر از توپوگرافی تبعیت می‌نماید.

- سطح آب زیرزمینی

سطح آب در آبخوان‌های آبرفتی پیوسته است و نوسان این سطح ناشی از عوامل مختلف بوده و ذخیره دینامیکی آبخوان را تشکیل می‌دهد. شکل کلی سطح آب معمولاً از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌نماید.

ب - ویژگی‌های هیدرودینامیکی

از خصوصیات هیدرودینامیکی این نوع آبخوان‌ها تخلخل، نفوذپذیری ذاتی، قابلیت هدایت هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال و ضریب ذخیره (تخلخل مفید)، ضریب پخشیدگی و ... می‌باشد. خصوصیات مذکور می‌تواند نسبت به مکان و زمان تغییر نماید که تغییرات مکانی آن ناشی از تغییرات زمین‌شناسی محیط است در صورتی که تغییرات زمانی ناشی از اثرات تغذیه، تخلیه و تراکم طبیعی یا مصنوعی و انحلال‌پذیری و ورقه‌ای این محیط می‌باشد.

سرعت جریان آب زیرزمینی در آبرفت‌ها کند و از رژیم ورقه‌ای^۱ برخوردار می‌باشد و قانون داری در آن صادق است.

ج - آلودگی و پالایش

محیط‌های آبرفتی توان پالایش نسبتاً خوبی داشته و در نتیجه آبخوان‌های آبرفتی نسبت به آبخوان‌های کارستی از قابلیت انتقال آلودگی کم‌تری برخوردارند.

۱-۱-۲- جمع‌آوری گزارش‌ها و ادبیات فنی موجود و مروری بر آنها

نخستین گام در روند مطالعات هیدرولوژی ایزوتوپی و ردیابی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، مانند هر روش مطالعاتی دیگر استفاده از منابع موجود و نتایج بررسی‌های پیشین می‌باشد. این کار در دو مرحله انجام می‌پذیرد:

– گردآوری گزارش‌ها، مدارک و نقشه‌های موجود از منطقه و بررسی و ارزیابی آنها.

این مدارک شامل:

توپوگرافی، زمین‌شناسی (با تاکید بر محیط‌های آبرفتی)، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمی، ژئوفیزیک سطحی و زیر سطحی، لوگ چاه‌ها، ژئوتکنیک و غیره می‌باشد.

– گردآوری و ارزیابی گزارش‌های ردیابی قبلی منطقه در صورت انجام

۱-۱-۳- مطالعات مقدماتی صحرایی محدوده مورد مطالعه

پس از بررسی منابع و مدارک موجود، به منظور دستیابی به شناختی اولیه از منطقه و آشنایی با وضعیت منابع آب در گستره مورد مطالعه، انجام مطالعات مقدماتی صحرایی طی بازدیدهایی از منطقه صورت می‌پذیرد. محورهای اصلی مطالعات مقدماتی صحرایی شامل موارد زیر می‌باشد:

– بازدید از کلیه منابع آبی محدوده مورد مطالعه نظیر چاه‌ها، قنات، چشمه‌ها، رودخانه‌ها، مسیل‌ها، زهکش‌ها، برکه‌ها و ... و کسب اطلاعات لازم از افراد بومی در مورد تغییرات کمی و کیفی آنها

– بازدید و بررسی زمین‌شناسی سطح الارضی آبرفت

– تعیین حدود منطقه مطالعاتی و منابع آبی بر اساس: هدف پروژه، گزارشات موجود، بررسی‌های اولیه صحرایی به منظور تهیه برنامه مطالعات صحرایی برای تکمیل داده‌های مورد نیاز

– نمونه‌برداری و سنجش‌های اولیه به منظور شناسایی مقدماتی منابع آب نظیر:

- نمونه‌برداری از کلیه منابع انتخابی جهت تجزیه کامل شیمیایی
 - نمونه‌برداری از آب باران جهت تجزیه ایزوتوپی
 - اندازه‌گیری پارامترهای صحرایی شامل: دمای آب و محیط، pH و EC آب
- تعیین آن بخش از عملیات صحرایی که به عهده کارفرماست عواملی نظیر: آماده‌سازی راه‌های دسترسی به منابع آبی، نقشه‌برداری مورد نیاز، اندازه‌گیری دبی منابع آبی انتخابی مشاور، حفر گمانه‌های جدید در صورت نیاز و تجهیز و نگهداری آنها در طول مطالعات باید با توجه به دستورالعمل مشاور و ابلاغ کارفرما اجرا گردد.

۱-۱-۴- تخصص‌های لازم در تیم اجرایی

نظر به این که مطالعات ردیابی ایزوتوپی و غیرایزوتوپی به تخصص‌های متفاوتی نیازمند است، حداقل نفرات تیم اجرایی و تخصص‌های لازم به شرح زیر می‌باشد:

۱-۱-۴-۱- تیم اجرایی ردیابی غیرایزوتوپی

این تیم متشکل از دو گروه برای عملیات صحرایی، آزمایشگاهی و تحلیل نتایج است که زیر نظر یک نفر با مدرک کارشناسی ارشد در رشته‌های هیدروژئولوژی و یا مهندسی آب‌های زیرزمینی با حداقل ۵ سال سابقه کار در مطالعات ردیابی غیرایزوتوپی به عنوان سرپرست پروژه انجام وظیفه می‌نماید.

– گروه عملیات صحرایی و تحلیل نتایج

- کارشناس در رشته‌های زمین‌شناسی یا مهندسی عمران آب و یا مهندسی آب‌های زیرزمینی با حداقل ۵ سال سابقه کار در زمینه آب‌های زیرزمینی

- تکنسین آب با حداقل ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب

- دیپلم با حداقل ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب

- کارگر ساده

- حداقل دو راننده برای دو وسیله نقلیه مجزا

– گروه عملیات آزمایشگاهی

- کارشناس شیمی با حداقل ۵ سال سابقه کار در زمینه آنالیزهای شیمیایی و شیمی دستگاهی

- دیپلم با حداقل ۵ سال سابقه کار در آزمایشگاه شیمی

۱-۱-۴-۲- تیم اجرایی ردیابی ایزوتوپی

تخصص‌های لازم برای عملیات صحرایی، آزمایشگاهی و تحلیل نتایج به شرح زیر می‌باشد که زیر نظر یک نفر با مدرک کارشناسی ارشد هیدروژئولوژی یا مهندسی آب‌های زیرزمینی با حداقل ۱۰ سال سابقه کار در مطالعات ردیابی ایزوتوپی به عنوان سرپرست پروژه، انجام وظیفه می‌نماید.

– گروه عملیات صحرایی و تحلیل نتایج

- کارشناس زمین‌شناسی یا مهندسی عمران آب و یا مهندسی آب‌های زیرزمینی با حداقل ۵ سال سابقه کار در زمینه آب‌های زیرزمینی
- تکنسین با حداقل ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب
- دیپلم با حداقل ۳ سال سابقه کار در زمینه منابع آب
- کارگر ساده
- راننده برای یک وسیله نقلیه

– گروه عملیات آزمایشگاهی

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

فصل ۲

تعاریف و طبقه‌بندی انواع ردیاب‌ها

۱-۲- ویژگی‌های ردیاب‌ها

از جمله ویژگی‌های عمده ردیاب‌ها عبارتند از [۲۱] و [۲۷]:

- پایداری
- بی‌خطر 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 فصل ۵ ارائه شده است.

۲-۲- انواع ردیاب‌های متداول

انواع ردیاب‌های متداول در مطالعات آب‌های زیرزمینی به قرار زیر می‌باشند [۲۷]:

۱-۲-۲- ردیاب‌های طبیعی (محیطی)

- ایزوتوپ‌های محیطی پایدار نظیر اکسیژن-۱۸، دوتریوم، کربن-۱۳ و ...
- ایزوتوپ‌های محیطی پرتوزا (ناپایدار) نظیر کربن-۱۴، تریتیوم و ... از بین ردیاب‌های فوق اکسیژن-۱۸، دوتریوم و تریتیوم جز مولکول آب می‌باشند.
- ردیاب‌های میکروارگانیک نظیر باکتری و ویروس‌های حیوانی
- یون‌های موجود در آب
- دمای آب، گرچه کاربرد وسیعی ندارد، ولی در مقیاس کوچک و موارد زیست محیطی مفید خواهد بود. همچنین نظر به این‌که تغییرات دما در آب رودخانه‌ها نسبت به آب زیرزمینی زیاد می‌باشد، لذا می‌توان به منظور بررسی تغذیه آب زیرزمینی توسط رودخانه‌ها و بالعکس از این ردیاب استفاده نمود.

۲-۲-۲- ردیاب‌های مصنوعی (افزودنی)

- ردیاب‌های رنگی
 - ردیاب‌های رنگی فلئورسنت
- چون بیش‌تر ردیاب‌های رنگی تحت نام‌های تجاری مختلف در دسترس هستند، لذا داشتن شاخص رنگ C.I (Colour Index) و 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 (ppb)	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 > 9	در محیط اسیدی به سمت صفر	کم	زیاد	کم و معکوس	کم	بلی	بلی
پیرانین	SOLVENT GREEN7 (CI59040)	۴۰۵ و ۴۶۵	۵۱۲	۰/۰۰۸ در pH > 10	در محیط اسیدی ماکزیمم	کم	خیلی زیاد	کم و معکوس	کم	خیر	بلی
ائوزین	ACID RED 87 (CI45380)	۵۱۵	۵۳۵	۰/۰۱ در pH > 9	در pH کم‌تر از ۵/۵ به سمت صفر	کم	-	-	کم	بلی	بلی
سولفو رودامین جی	ACID RED 50 (CI45220)	۵۳۵	۵۵۵	۰/۰۰۵	بدون اثر	-	-	کم	-	-	بلی
رودامین wt	ACID RED ۳۸۸	۵۵۴	۵۸۰	۰/۰۰۶	بدون اثر	-	کم	-	کم	بلی	بلی
رودامین بی	BASIC VIOLET10 (CI ۴۵۱۷۰)	۵۵۵	۵۸۲	۰/۰۰۶	بدون اثر	خیلی زیاد	کم	خیلی زیاد و معکوس	در غلظت‌های کم‌تر از ۱۰۰ ppm بدون خطر	بلی	بلی

مواد رنگی تولیدی توسط کارخانجات مختلف ممکن است در طول موج برانگیختگی و طول موج انتشاری به اندازه ۵ نانومتر متفاوت باشد. حداقل غلظت قابل تشخیص مندرج در جدول در آب مقطر می‌باشد.

از ردیاب‌های رنگی می‌توان مواد زیر را ذکر نمود:

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

- رودامین WT که محلول آن به رنگ قرمزی باشد ($C_{29}H_{29}N_2O_5Na$).

مقادیر جذب ماده رنگی در محیط‌های ریزدانه رسی برای رودامین WT ۲۸٪ و برای رودامین بی ۹۶٪ و برای سولفورودامین بی ۶۵٪ گزارش شده است.

– ردیاب‌های ایزوتوپی پرتوزا، نظیر:

- کبالت ۶۰ (Co^{60})
- کبالت ۵۸ (Co^{58})
- کرم ۵۱ (Cr^{51})
- تریتیوم (H^3)

همچنین مواد پرتوزای گاما نیز جزاین گروه می‌باشند.

– ایزوتوپ‌های قابل فعال شدن، نظیر:

- برم ۸۰ ($Br 80$)
- لانتانیم ۱۳۹ ($La 139$)
- ایندیوم ۱۱۶ ($In 116$)
- ید ۱۳۰ ($I 130$)

– ردیاب‌های جامد (نامحلول)، نظیر:

- باکتری‌ها
- مخمرها
- ویروس‌ها
- بیوکلئیدها (biocolloids)

– نمک‌های معدنی، نظیر:

- نمک طعام ($NaCl$)
- کلرور کلسیم ($CaCl_2$)
- کلرور پتاسیم (KCl)
- کلرور لیتیم ($LiCl$)

– پاک‌کننده‌ها (شوینده‌ها)

– هالوکرین‌ها

– اسیدهای آلی فلتوری شده

– کلروفلتوروکربن (CFC)

– آب گرم و آب سرد (در مقیاس محدود)

فصل ۳

مبانی لازم در اجرای کار

۳-۱- زمین شناسی مهندسی

۳-۱-۱- تشریح معیارهای مطالعات ژئوفیزیکی

از جمله مطالعات پایه که استفاده از نتایج آن در مطالعات ردیابی بسیار مفید می باشد مطالعات ژئوفیزیکی است. نتایج مطالعات ژئوفیزیکی سطحی در تعیین ضخامت آبخوان، عمق سطح ایستابی آبخوان، تعیین عمق واحدهای تراوا و ناتراوا و ... و همچنین نتایج مطالعات ژئوفیزیکی زیر سطحی در تعیین افق های تراوا و ناتراوا در گمانه ها و چاه های مطالعاتی مورد استفاده قرار می گیرند. برای اطلاعات بیش تر می توان به دستورالعمل های استاندارد مطالعات ژئوفیزیک با شماره ۱۱۷ به تاریخ شهریور ۱۳۷۵ و شماره ۱۴۷ به تاریخ اردیبهشت ۱۳۷۹ و نیز شماره ۱۵۴ به تاریخ اردیبهشت ۱۳۷۹ از انتشارات طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور مراجعه کرد.

۳-۱-۲- تشریح روش ها و اصول حفاری چاه های تزریق، پمپاژ و مشاهده ای

در ردیابی جهت نقاط تزریق و نمونه برداری می توان از چاه های موجود به طور اعم و در صورت نیاز چاه های جدید حفر و استفاده نمود. برای حفر چاه های اخیر می توان از دستورالعمل هایی نظیر شماره ۹۶ مورخ آبان ۱۳۷۵ و شماره ۱۰۱ مورخ مرداد ۱۳۷۶ و شماره ۱۱۳ مورخ آذر ۱۳۷۵ (از نشریات طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور) استفاده نمود. معمولاً مناسب تر است از چاه های بهره برداری، اکتشافی و گمانه ها با توجه به هدف پروژه به عنوان نقاط تزریق و از چاه های مشاهده ای، پیزومتر، گمانه، چاه های بهره برداری و اکتشافی به عنوان نقاط نمونه برداری استفاده نمود.

۳-۱-۳- تشریح روش های انجام آزمایش های ردیابی از دیدگاه زمین شناسی

با توجه به زمین شناسی منطقه می توان روش های گوناگونی برای انجام آزمایش های ردیابی در منطقه اعمال نمود که تشریح روش ها در فصل ۷ این دستورالعمل توضیح داده خواهد شد.

۳-۲- زمین شناسی

۳-۲-۱- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع ردیاب و آزمایش های ردیابی از دیدگاه زمین شناسی

با توجه به زمین شناسی منطقه می توان از ردیاب های مختلف و روش های گوناگون برای انجام ردیابی استفاده نمود که تشریح انواع این ردیاب ها در فصل ۲، ضوابط انتخاب آنها در فصل ۵ و تشریح روش ها در فصل ۷ این دستورالعمل توضیح داده خواهد شد.

۳-۲-۲- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع آزمایش های ردیابی از دیدگاه سنگ شناسی

باتوجه به ترکیب سنگ شناسی ذرات تشکیل دهنده آبرفت می توان نوع آزمایش ردیابی را انتخاب نمود. به عنوان مثال در آبرفت های حاوی کانی های رس استفاده از ردیاب های رنگی کاتیونی بازیک نظیر رودامین بی توصیه نمی شود. همچنین چنانچه

ذرات تشکیل دهنده و ماتریکس آبرفت دارای منشا مارنی و گچی باشد، استفاده از روش‌های ردیابی مصنوعی به‌ویژه نمک‌های معدنی در شرایط متعارف توصیه نمی‌شود.

۳-۲-۳- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع آزمایش‌های ردیابی از دیدگاه پتروگرافی

بافت پتروگرافیک ذرات تشکیل دهنده آبرفت نیز در انتخاب روش ردیابی موثر می‌باشد. برای مثال در آبرفت‌های دانه ریز (کوچک‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر طبق تقسیم‌بندی UCS) استفاده از ردیاب‌های کاتیونی توصیه نمی‌شود.

۳-۳- هیدروژن‌ئولوژی

۳-۳-۱- تشریح اصول مطالعات هیدروژن‌ئولوژی ایزوتوپی [۲۰]

برای ۹۲ عنصر در طبیعت بیش از ۱۰۰۰ ایزوتوپ وجود دارد که اغلب ایزوتوپ‌های محیطی نامیده می‌شوند. این ایزوتوپ‌های محیطی به دو گروه ایزوتوپ‌های پایدار و ایزوتوپ‌های ناپایدار تقسیم می‌شوند. اغلب ردیاب‌های ایزوتوپی پایدار با محیط واکنش نشان نداده و از اهمیت به‌سزایی در تعیین منشا آب زیرزمینی برخوردار می‌باشند و از این نظر بر آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب ارجحیت دارند. این نکته به‌ویژه از آنجا دارای اهمیت است که ویژگی‌های شیمیایی آب تنها در موارد معدودی می‌توانند به عنوان ردیاب محیطی موثر باشند، زیرا در بیش‌تر موارد بین محیط جریان و آب واکنش رخ می‌دهد و این امر سبب می‌شود، ماهیت شیمیایی آب تنها به عنوان ابزاری برای شناخت منشا و مسیر جریان به کار آید و کمکی به شناخت هیدرولیک جریان ننماید. حال آنکه ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار آب تا حد زیادی مستقل از محیط می‌باشد.

ایزوتوپ‌های ناپایدار معمولاً در تعیین سن آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشند.

الف - ایزوتوپ‌های پایدار

ایزوتوپ‌های پایدار را می‌توان نوعی ردیاب طبیعی در نظر گرفت که با سرعت میانگین جریان آب زیرزمینی حرکت نموده و کاربرد ویژه‌ای در تعیین مناطق تغذیه و تعیین درجه اختلاط آب‌های با منشا گوناگون دارند. رایج‌ترین ایزوتوپ‌های پایدار مورد استفاده در مطالعات ردیابی اکسیژن-۱۸ و دوتریوم می‌باشد.

- استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار در هیدروژن‌ئولوژی

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-۱۸ به ترتیب زیر نشان داده می‌شود:

$$\delta O^{18} = [(O^{18}/O^{16})_{\text{sample}} - (O^{18}/O^{16})_{\text{standard}}] / (O^{18}/O^{16})_{\text{standard}} \times (1000) \quad (1-3)$$

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

جدایش ایزوتوپی^۱ اکسیژن-۱۸ و دوتریوم فرآیندی وابسته به دما و جرم است که در حین تغییرات فازی منجر به غنی شدن^۲ محتوای ایزوتوپی می‌شود. آبی که در معرض تبخیر قرار گرفته به دلیل سرعت تبخیر بیش‌تر ایزوتوپ‌های سبک، نسبت به ایزوتوپ‌های سنگین غنی‌تر خواهد شد.

با توجه به تاثیر پدیده جدایش ایزوتوپی از دما بارش‌های زمستانی از نظر محتوای اکسیژن-۱۸ و دوتریوم در مقایسه با بارش‌های تابستانی تهی‌تر^۳ می‌باشد (اثر دما). همین‌طور با توجه به جدایش ایزوتوپ‌های سنگین‌تر در فاز بخار، بارش‌های ابتدای هر بارندگی از نظر محتوای ایزوتوپ‌های پایدار غنی‌تر از بارش‌های پایان آن بارندگی می‌باشند (اثر جرم). این پدیده‌ها سبب می‌شوند که بتوان از ایزوتوپ‌های پایدار به عنوان ردیاب طبیعی استفاده نمود. 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 می‌باشد. رایج‌ترین ایزوتوپ‌های ناپایدار در هیدرولوژی ایزوتوپی تریتیوم و کربن-۱۴ می‌باشند. از کلر^۴ نیز می‌توان در تعیین سن آب‌های زیرزمینی خیلی قدیمی استفاده نمود.

تریتیوم با نیمه عمر ۱۲/۳۵ سال در مقادیر جزئی در طبیعت تولید می‌شود. آزمایش‌های هسته‌ای سال‌های ۱۹۵۲ تا ۱۹۶۳ منجر به افزایش تریتیوم بارندگی از ۵ تا ۱۰ TU^۵ در دهه ۱۹۴۰، به ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ TU در دهه ۱۹۶۰ شد. غلظت ماکزیمم تریتیوم در سال ۱۹۶۳ رخ داده است (شکل ۱-۳). هم‌اکنون غلظت تریتیوم در بارندگی حدود ۱۰ تا ۳۰ TU می‌باشد. تریتیوم در آب زیرزمینی هیچ‌گونه واکنش شیمیایی با آب و محیط ندارد. عمده کاربرد تریتیوم شامل موارد زیر می‌باشد:

– تشخیص آب‌های ورودی به آبخوان پیش از ۱۹۵۲ و پس از آن

– تخمین سرعت جریان آب زیرزمینی

کربن-۱۴ دارای نیمه عمری برابر ۵۷۳۰ سال می‌باشد. کربن-۱۴ مانند تریتیوم مقادیر اندکی از آن در جو تولید می‌شود که 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 نمود. 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 نمود. استفاده از کربن-۱۴ با پیچیدگی‌هایی نیز همراه است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

– انحلال کانی‌های کربناته یا اکسیداسیون موادآلی ممکن است منجر به افزوده شدن کربن «مرده»^۶ به آب و جایگزینی

آن با کربن-۱۴ شده و در تعیین سن خطا ایجاد نماید که روش‌های گوناگونی برای اصلاح این خطا وجود دارد.

1- isotopic fractionation

2- enrichment

3- depleted

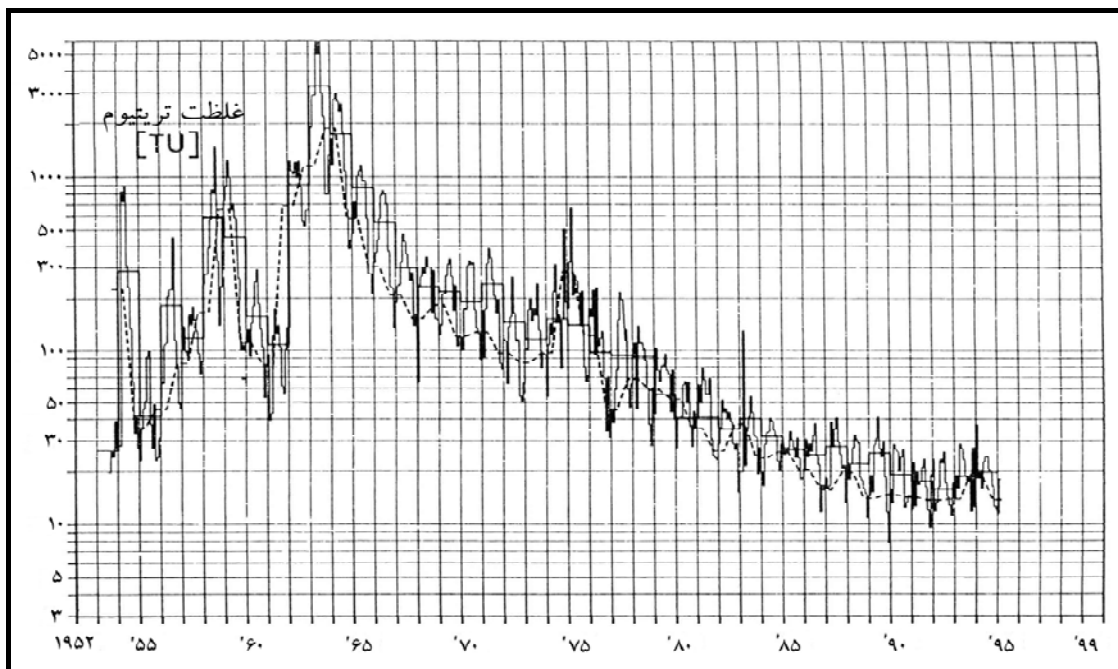
4- radio carbon

5- radiochloride

6- Tritium Unit

7- Dead Carbon

- 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 نمود که اختلاط آب قابل ملاحظه نباشد.



شکل ۳-۱- نوسانات تریتوم در جو نسبت به زمان [۲۲]

کلر-۳۶ دارای نیمه عمری برابر با ۳۰۰۰۰۰ سال است. این ایزوتوپ ناشی از واکنش تابش‌های کیهانی با جو می‌باشد 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 گرانتقیمت بودن هزینه‌های اندازه‌گیری آن می‌باشد.

۳-۳-۲- تشریح اصول هیدرولیک آب‌های زیرزمینی

نظر به این که سرعت جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی قابل توجه نبوده و حدود میلی‌متر در ثانیه می‌باشد، لذا جریان آب در این محیط‌ها به صورت ورقه‌ای^۱ بوده و بالطبع از بار هیدرولیکی نظیر سرعت ($V^2/2g$) آن صرف نظر می‌شود. قانون دارسی در این آبخوان‌ها اعتبار داشته و دو پدیده پخشیدگی^۲ و انتشار^۳ ردیاب‌های مصنوعی در این محیط دارای اهمیت است. در این آبخوان‌ها دو نوع سرعت جریان مطرح است: سرعت دارسی و سرعت واقعی.

۳-۳-۳- تعیین ضوابط برای انتخاب نوع آزمایش ردیابی متناسب با آبخوان

با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، پتروگرافیک و خصوصیات آبخوان، نوع ردیاب مناسب و روش آزمایش را می‌توان انتخاب نمود (فصل‌های ۳، ۵ و ۷).

1- laminar
2- dispersion
3- diffusion

۳-۳-۴- تعیین محدودیت های آزمایش های ردیابی از نظر خصوصیات جریان آب زیرزمینی (سرعت و جهت)

الف - ردیاب های رادیواکتیو مصنوعی

یکی از عواملی که در انتخاب ردیاب های رادیواکتیو توپ مصنوعی مطرح است، نیمه عمر این گونه ردیاب ها می باشد که این عامل با توجه به فواصل بین نقاط تزریق و نمونه برداری، قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان و سرعت جریان آب زیرزمینی انتخاب می شود. به عنوان مثال در آبخوان های ریزدانه که فاصله بین نقاط تزریق و نمونه برداری زیاد باشد، از ردیاب هایی استفاده می شود که نیمه عمر آنها متناسب با عوامل مذکور باشد.

ب- ردیاب های رنگی

عواملی نظیر pH و دمای آب و ابعاد ذرات تشکیل دهنده آبخوان محدودیت هایی را در انتخاب نوع ردیاب رنگی به وجود می آورد. به عنوان مثال در آبخوان های آبرفتی دانه ریز و همچنین به منظور بررسی ارتباط هیدرولیکی بین aquitard و aquiclude با آکیفر (آبخوان) استفاده از رودامین بی (بعثت جذب زیاد که تا حدود ۹۶٪ نیز گزارش شده است) در محیط دانه ریز توصیه نمی شود. برای توضیحات بیش تر به جدول ۱-۲ مراجعه شود.

رودامین WT: با توجه به ماهیت یونی و خاصیت جذب شدید آن توسط مواد ریز دانه و رسی اصولاً در آبرفت های دانه ریز کاربرد ندارد. در این محیط ها می توان از ردیاب هایی استفاده نمود که ویژگی جذب در رسوبات را ندارند مانند اورانین. همچنین ردیاب های رنگی غیر فلئورسنت نظیر: پرمنگنات پتاسیم، اریتروزین (قرمز کنگو) و متیلن آبی در مقیاس محدود و در آبرفت های دانه درشت کاربرد دارند.

ج- نمک های معدنی

عواملی نظیر گسترش عدسی های رسی، pH آب، غلظت زمینه یون در آب زیرزمینی و محدودیت روش های اندازه گیری از محدودیت های استفاده از این نوع ردیاب ها به شمار می آیند. ردیاب های آنیونی معمولاً تمایلی به جذب و تبادل یونی نشان نمی دهند ولی با حضور کانی های رسی و در pH پایین تبادل یونی صورت می گیرد.

ردیاب های کاتیونی به شکل فراوان تری با کانی های رسی از طریق فرآیند تبادل کاتیونی واکنش خواهند داشت، به خصوص در آبخوان های با قابلیت تراوایی و نرخ جریان کم [۲۹].

موضوع مهم دیگر در کاربرد ردیاب های یونی به غلظت زمینه بالای ردیاب در آب زیرزمینی می باشد 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 محدودیت های دیگر استفاده از این نوع ردیاب نیاز به حجم بالای ردیاب و کاربرد آن در مسیرهای کوتاه جریان را می توان ذکر کرد.

د - سایر ردیاب ها

سایر ردیاب ها شامل ویروس ها، باکتری ها و بیوکلئیدها در محیط های آبرفتی دانه درشت و فواصل کوتاه می باشند، به عنوان مثال بیوکلئیدها در آبخوان های تشکیل شده از شن رودخانه ای و در فواصل چند ده متر کاربرد دارد.

فصل ۴

دستورالعمل انجام پروژه ردیابی در

آبخوان‌های آبرفتی

۴-۱- اهداف پروژه ردیابی در آبخوان‌های آبرفتی

۴-۱-۱- اهداف کیفی

مهم‌ترین اهداف کیفی به شرح زیر خلاصه می‌شود:

- تعیین منشأ آب زیرزمینی
- بررسی تبادلات هیدرولیکی بین آبخوان‌های آبرفتی با یکدیگر و یا با سازندهای سخت حاشیه دشت
- تعیین گستره حوضه آبرگیر چشمه‌ها
- تعیین مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان‌های آبرفتی
- تعیین نوع جریان سطحی از نقطه نظر ارتباط هیدرولیکی با منابع آب زیرزمینی^۱
- تعیین نوع منبع تغذیه آبخوان
- تفکیک آبخوان‌ها از یکدیگر
- تعیین جهت و مسیر آب زیرزمینی
- بررسی سرحد آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی
- تعیین منشأ آلاینده‌های آبخوان
- تعیین نحوه پراکندگی آلاینده
- بررسی ارتباط شیرابه‌های زباله‌های شهری در محل دفن آنها با آب‌های زیرزمینی

۴-۱-۲- اهداف کمی

مهم‌ترین اهداف کمی عبارتند از تعیین:

- سن آب‌های زیرزمینی
- میزان اختلاط آب آبخوان
- ارتفاع منطقه تغذیه
- سرعت جریان آب زیرزمینی (جانبی و قائم)
- ضریب پخشیدگی آلاینده‌ها
- متوسط زمان تاخیر
- تخلخل مفید
- قابلیت انتقال و هدایت الکتریکی
- تعیین حریم حفاظتی چاه‌های آب آشامیدنی

۴-۲- تعیین ضوابط انتخاب ردیاب مناسب و تعیین محدودیت‌ها و ضوابط اجرای کار از نظر زیست محیطی

با توجه به ویژگی‌های مذکور در بند (۲-۱) در انتخاب ردیاب‌های مناسب موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد [۲۷]:

- خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه
- عدم واکنش ردیاب با آب و یا سازند
- عدم رسوب ردیاب در طول مسیر جریان و انحلال مجدد در آب

۴-۲-۱- زمین‌شناسی و ژئوشیمی

در محیط‌های آبرفتی دانه ریز که حاوی در صد رس قابل توجهی می‌باشند، استفاده از ردیاب‌های رنگی کاتیونی نظیر رودامین بی و رودامین Wt مجاز نمی‌باشد. همچنین با توجه به ترکیب شیمیایی عناصر تشکیل دهنده آبرفت باید ردیابی را انتخاب کرد که با محیط واکنش شیمیایی نداشته و یا محیط با آن واکنش نشان ندهد. حضور ترکیباتی نظیر گچ و نمک طعام در آبخوان استفاده از نمک‌های معدنی را به عنوان ردیاب محدود می‌سازد.

۴-۲-۲- هیدروژئولوژی

- استفاده از ردیاب‌های رنگی در مسافت‌های کوتاه و محیط‌های دانه درشت توصیه می‌شود.
- از مواد رنگی غیر فلئورسنت فقط در محیط‌هایی که طول مسیر جریان کوتاه و همچنین زمان تماس ردیاب با محیط و آب کم باشد، می‌توان استفاده نمود.
- در انتخاب ردیاب باید خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در آب مد نظر باشد تا ردیاب با آن واکنش نشان نداده و تغییرات شیمیایی در آب ایجاد ننماید.
- کمیت آب زیرزمینی پارامتری است که باید در انتخاب ردیاب و مقدار آن مد نظر قرار گیرد.
- در آبخوان‌های آبرفتی نیمه آزاد و نیمه تحت فشار و همچنین آبخوان‌های تحت فشار و ریزدانه استفاده از ردیاب‌های کاتیونی مناسب نمی‌باشد.
- در انتخاب ردیاب باید سعی شود، ردیابی انتخاب گردد که غلظت زمینه آن در محیط صفر و یا ناچیز باشد.
- نظر به تغییرات دما در محیط‌های هیدروترمال (گرمابی) استفاده از ماده رودامین بی توصیه نمی‌شود، زیرا این ماده در دمای بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شود.

۴-۲-۳- زیست محیطی

نظر به آلوده‌سازی آب‌های زیرزمینی به وسیله ردیاب‌های رادیواکتیو بهتر است، از موادی استفاده شود که نیمه عمر فروپاشی کوتاه داشته و در کوتاه‌ترین زمان آلودگی آن برطرف شود. برای این منظور از ردیاب‌هایی استفاده می‌شود که پرتو گاما منتشر می‌نمایند، زیرا توانایی نفوذ پرتو گاما از مزایای این مواد است.

در ایران معمولاً از سزیم-۱۳۷ که امکان تهیه آن فراهم است و سنجش آن در محل به‌سهولت انجام می‌پذیرد، استفاده می‌شود. همچنین از بین مواد رادیواکتیوی که اشعه بتا منتشر می‌نمایند تنها تریتیوم است که اشعه بتا ضعیفی منتشر می‌نماید و ترکیب آن به صورت آب می‌باشد، بنابراین از بهترین ردیاب‌ها به حساب می‌آید.

- 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.
- مواد تزریقی باید برای موجودات زنده و محیط زیست از هر نظر بی‌خطر باشد. استفاده از ردیاب‌هایی همچون رودامین بی یا رودامین-WT در نزدیکی منابع آب آشامیدنی یا در نقاطی که احتمال راهیابی به منابع آب آشامیدنی را داشته باشد، مجاز نیست.

۴-۲-۴- سهولت انجام عملیات

- در انتخاب ردیاب باید سهولت انجام عملیات اجرایی اعم از صحرایی و آزمایشگاهی مد نظر قرار گیرد. مثلاً سهولت انحلال ردیاب در آب یکی از پارامترهای مهم انتخاب ردیاب است.
- امکان تشخیص سریع ردیاب فراهم باشد به‌گونه‌ای که بتوان تغییرات مورد نیاز در برنامه زمانبندی را مد نظر قرار داد.
- سهولت دسترسی و عدم پیچیدگی وسایل مورد نیاز برای تشخیص ردیاب یکی دیگر از پارامترهای مهم در انتخاب ردیاب است.
- علاوه بر مطالب فوق به دو مورد زیر نیز در انتخاب ردیاب باید توجه شود.
- قیمت ردیاب و وجود آن در بازار و امکان دسترسی آسان به آن
- در صورتی که پروژه نیاز به استفاده هم‌زمان از ردیاب‌های مختلف داشته باشد، لازم است مواد رنگی به گونه‌ای انتخاب شود که تداخل طول موجی نداشته و امکان جدایش طیفی آنها میسر باشد.

۴-۳- تنظیم برنامه زمانی مطالعات

مدت پروژه ردیابی به عواملی نظیر: هدف و حجم پروژه، گسترش منطقه، سهولت دسترسی به منابع آبی و شرایط هیدرولوژیکی محیط بستگی دارد. به‌علاوه در تنظیم برنامه زمانی این‌گونه پروژه‌ها باید به ترتیب زیر عمل نمود.

- بازدید صحرایی اولیه از منطقه مورد مطالعه
- گردآوری و بررسی کلیه مدارک و گزارشات موجود مربوطه
- بررسی‌های اولیه صحرایی شامل بررسی‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه مورد مطالعه

بر اساس بندهای فوق پس از انتخاب نوع ردیابی ادامه برنامه به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱- برنامه زمانی ردیابی ایزوتوپی محیطی

- شناسایی و انتخاب منابع آبی و تهیه نقشه موقعیت آنها

- نمونه‌برداری آب و انجام عملیات صحرائی
- ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه
- انجام آزمایش‌های ایزوتوپی نمونه‌ها
- انجام تجزیه کامل شیمیایی نمونه‌ها
- محاسبات مربوطه و رسم نمودارها و نقشه‌ها و ...
- تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده
- ارائه گزارش

۴-۳-۲- برنامه زمانی ردیابی رنگی و نمک‌های معدنی در روش چند چاهه

- شناسایی و انتخاب منابع آبی و تهیه نقشه و موقعیت آنها
- تعیین نقاط تزریق و نمونه‌برداری (در روش چند چاهی)
- انجام نمونه‌برداری‌های زمینه^۱
- انجام سنجش‌های صحرائی
- عملیات تجهیز کارگاه، آماده‌سازی ردیاب و تزریق
- نمونه‌برداری و انجام سایر عملیات صحرائی مورد لزوم
- ارسال نمونه‌ها به آزمایشگاه
- انجام آنالیزهای آشکارسازی و فیزیکو شیمیایی نمونه‌ها
- محاسبات مربوط و رسم نمودارها و نقشه‌ها و ...
- تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده
- ارائه گزارش

فصل ۵

تزریق ردياب و ضوابط مربوط به آن

۵-۱- تزریق ردیاب و ضوابط مربوط به آن

۵-۱-۱- 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 می باشد، 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 نگهداشت محلول ردیاب در ناحیه تهویه آبخوان در طول فصل خشک وجود دارد که ممکن است پس از اولین بارندگی (که احتمالا ماه ها بعد از عملیات تزریق رخ دهد) در نقاط نمونه برداری ظاهر شود، لذا باید در این مورد طول مدت نمونه برداری افزایش یابد.
 - به منظور استفاده بهینه از طول روز جهت کنترل نمونه برداری بهتر است، عملیات تزریق در ساعات اولیه روز انجام گیرد.
 - عملیات تزریق در روزهای بارانی و باد شدید نباید انجام گیرد.

۵-۱-۲- ضوابط انتخاب محل تزریق

- از جمله مهم ترین مراحل مطالعاتی در یک آزمایش ردیابی مصنوعی انتخاب محل تزریق است که با توجه به حساسیت امر نقش عمده ای در موفقیت آزمایش دارد و به همین جهت مستلزم صرف وقت کافی و مطالعات زیاد می باشد. در انتخاب نقطه تزریق که تا حد زیادی بستگی به هدف طرح و نتایج مطالعات کلاسیک دارد، باید علاوه بر زمین شناسی محل به نکات زیر توجه نمود:
- وجود ارتباط هیدرولیکی بین نقاط انتخابی تزریق با آبخوان
 - بالا بودن تراز سطح آب در محل تزریق نسبت به نقاط نمونه برداری (خاص روش چند چاهه)
 - تراوایی بالای آبرفت در محل تزریق و عدم وجود زمینه رسی^۱ غالب
 - تناسب تعداد و پراکندگی نقاط تزریق با اهداف مطالعه
 - امکان دسترسی به آب برای عملیات قبل و بعد از تزریق (آماده سازی ردیاب و عملیات لازم بر روی محل تزریق)
 - عدم استفاده هم زمان از یک نقطه جهت تزریق ردیاب های مختلف
- معمولا (در روش چند چاهه) برای تزریق در محیط های آبرفتی از چاه ها و گمانه های موجود استفاده می شود. در صورت عدم وجود چاه یا گمانه باید در محلی که با توجه به ضوابط بالا مناسب تشخیص داده شود، کارفرما باید با هماهنگی با مشاور و رعایت استانداردهای موجود، اقدام به حفر چاه یا گمانه، حتی الامکان تا چند متر زیر سطح ایستابی آبخوان نموده یا دسترسی به آن را برای عملیات تزریق تسهیل نماید.
- علاوه بر چاه ها یا گمانه ها در روش چند چاهی می توان مکان های زیر را نیز به عنوان محل تزریق انتخاب نمود.
- الف - منابع آب های سطحی و رودخانه های فرو رو به منظور بررسی ارتباط با آب های زیرزمینی^۲
- ب - زهکش های سیستم های دفع فاضلاب^۱ به منظور بررسی احتمال گسترش آلودگی در آب های زیرزمینی

1- Clay Matrix

2- Effluent

۵-۱-۳- روش‌های تزریق و ضوابط انتخاب آن

تزریق ردیاب به منابع آبی به دو صورت می‌تواند انجام گیرد.

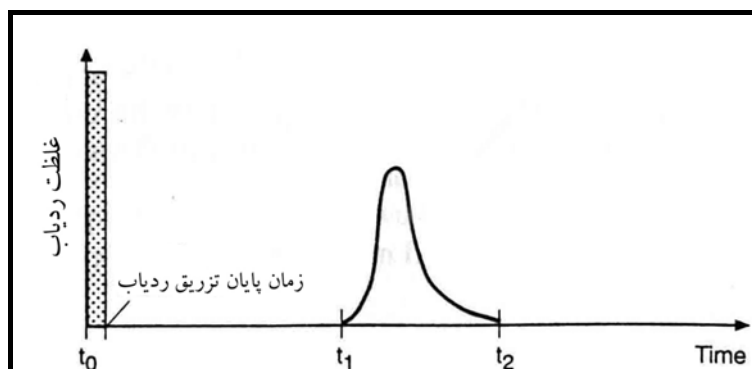
الف - روش تزریق لحظه‌ای یا ناگهانی

ب - روش تزریق پیوسته با دبی ثابت

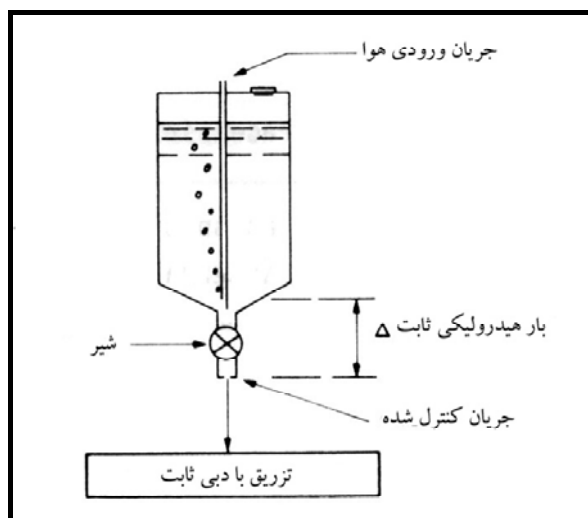
۵-۱-۳-۱- تشریح روش‌های تزریق متداول و ضوابط تعیین هر یک

در انتخاب یکی از دو روش فوق عواملی نظیر هدف مطالعه، نوع منبع آبی، وضعیت زمین‌شناسی آبخوان، دسترسی به محل، امکانات و تجهیزات موجود و محدودیت زمانی تعیین کننده می‌باشد.

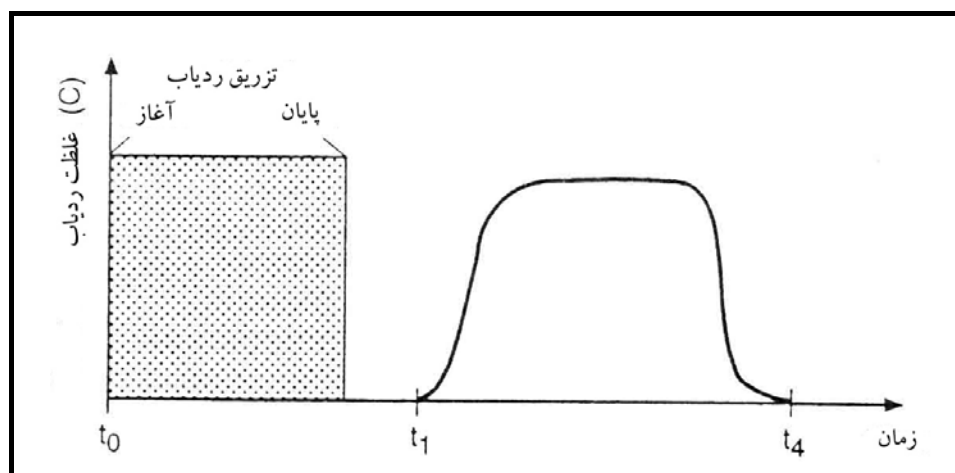
روش تزریق لحظه‌ای بسیار ساده بوده و مستلزم برداشت تعداد نمونه‌های زیاد در زمانی کوتاه به منظور پی بردن به موقعیت نقطه اوج منحنی ردیاب می‌باشد (شکل ۵-۱). روش تزریق با دبی ثابت قدری مشکل بوده و مستلزم استفاده از لوازم خاص می‌باشد، ولی مستلزم برداشت نمونه‌های کم‌تر در زمانی طولانی‌تر نسبت به روش تزریق لحظه‌ای می‌باشد. (شکل ۵-۲) در این روش ردیاب مورد نظر از طریق سیستمی شامل پمپ و لوله‌های مربوطه و منبع محلول ردیاب با بار هیدرولیکی ثابت (به منظور ثابت بودن دبی تزریق) وارد منبع آبی می‌شود (شکل ۵-۳).



شکل ۵-۱- تزریق لحظه‌ای [۲۷]



شکل ۵-۲- دستگاه مورد استفاده برای تزریق با دبی ثابت [۲۵]



شکل ۵-۳- تزریق با دبی ثابت [۲۷]

لازم به یادآوری است که تزریق مواد رادیواکتیو به صورت ناگهانی متداول تر است. در این روش آمپول حاوی ماده رادیواکتیو در داخل منبع شکسته می‌شود.

۵-۱-۳-۲- تشریح روش تک چاهی و ضوابط کاربرد این روش

تنوع آزمایشات ردیابی با توجه به انواع ترکیب‌های مختلف ردیاب‌های در نظر گرفته شده، شرایط هیدرولوژیکی محلی، روش‌های تزریق، روش‌های نمونه‌برداری و شرایط زمین‌شناسی بسیار زیاد می‌باشد. تفاوت در آزمایشات ناشی از پارامترهای مورد اندازه‌گیری (همانند سرعت، ضریب پخشیدگی و تخلخل)، مقیاس آزمایش و تعداد چاه‌های مورد استفاده می‌باشد.

در روش تک چاهی تنها با تزریق و نمونه‌برداری در یک چاه با استفاده از دو تکنیک تزریق^۱ / تخلیه^۲ و رقیق شدن نقطه‌ای^۳ پارامترهایی که فقط در مقیاس محلی معتبر خواهند بود، به دست می‌آید [۲۱].

– مزایای روش تک چاهی

- ردیاب کم‌تری نسبت به روش چند چاه مورد نیاز خواهد بود.
- فرض جریان شعاعی کاملاً معتبر بوده به‌طوری‌که جریان طبیعی آبخوان قابل صرف‌نظر می‌باشد.
- نیازی به دانستن جهت دقیق جریان نمی‌باشد.
- کل عملیات ردیابی تنها در یک چاه صورت می‌گیرد.

– تکنیک تزریق / تخلیه

در این تکنیک فرض بر شناخت مقدار تخلخل و یا تخمین آن با دقت نسبتاً خوبی می‌باشد. مقدار مشخصی ردیاب به‌طور لحظه‌ای به چاه (که بر اساس دستورالعمل‌های مربوطه حفر شده است) اضافه شده و با آب چاه مخلوط می‌شود و سپس ۲ تا ۳ برابر حجم چاه، آب تازه وارد آن کرده تا ردیاب بتواند به داخل آبخوان نفوذ نماید. با توجه به حجم کم آب اضافه شده، جریان طبیعی دستخوش تغییر نمی‌شود. بعد از زمان مشخص t ، ردیاب به دلیل وجود جریان یکنواخت و خطی مسافت x را طی می‌نماید. سپس چاه مذکور با یک نرخ ثابت پمپ شده به‌طوری‌که مقدار حجم پمپاژ شده به‌قدری است که بر جریان آب زیرزمینی طبیعی تأثیر گذارد و سپس غلظت ردیاب نسبت به زمان یا حجم آب تخلیه شده اندازه‌گیری می‌شود. سرعت جریان به ترتیبی که در قسمت‌های بعد ارائه خواهد شد، به دست می‌آید.

– تکنیک رقیق شدن نقطه‌ای

این تکنیک برای اندازه‌گیری مقدار و جهت سرعت افقی و جریان قائم ردیاب به کار می‌رود. دقت، قدرت تشخیص یا جداسازی و قابلیت تکرار و نیز آسانی کاربرد این تکنیک از مزایای آن می‌باشد. روش کار شامل تزریق مقدار مشخص ردیاب به‌طور لحظه‌ای به داخل چاه، اختلاط کامل آن و نهایتاً اندازه‌گیری کاهش غلظت با زمان می‌باشد.

• تعیین سرعت ظاهری یا سرعت داریسی^۴

برای تعیین این پارامتر از تکنیک پیمایش رقیق شدن^۵ استفاده می‌شود. برای این منظور ستون آب زیرزمینی (در ناحیه مشبک چاه) با ماده ردیاب که به خوبی مخلوط شده نشاندار می‌گردد. تعقیب کاهش غلظت ردیاب در اثر حرکت آب، سرعت ظاهری یا سرعت داریسی را نشان می‌دهد.

1- Injection
2- withdrawal
3- point dilution
4- filtration velocity
5- dilution logging

عامل مهمی که بر رقیق شدن ردیاب اثر می گذارد وجود جریان قائم در چاه می باشد (به بخش تعیین سرعت قائم آب مراجعه شود). عوامل دیگر، جریان های غلیظ بواسطه تغییرات در غلظت یا درجه حرارت و اثرهای انتشار مرزی^۱ می باشند. برای پرهیز از اثر غلظت، باید غلظت ردیاب پایین نگه داشته شود (کمتر از 10^{-4} mol/lit $\times 4$). اگر دمای محلول ردیاب قبل از تزریق معادل دمای گمانه یا چاه باشد، اثرات درجه حرارت هم قابل اغماض است. در سرعت های خیلی کم ($V_f < 0.05 \text{ m/d}$) انتشار عامل محدود کننده کاربرد این روش می باشد. در سرعت های بالا وقوع جریان متلاطم^۲ عامل محدود کننده ای است. در سرعت های بحرانی، که جریان ورقه ای به جریان متلاطم تغییر می یابد، دامنه $200 - 20 \text{ m/d}$ ، غلظت ردیاب بستگی به ساختمان چاه داشته و باید به صورت تجربی تعیین شود.

• تعیین تخلخل

برای تعیین این پارامتر از تکنیک پالس تک چاهی استفاده می شود. اصولا روش تعیین تخلخل در منطقه اشباع بر اساس تساوی تقریبی تخلخل مفید (n_e) با حجم آب موجود در آبخوان است [۲۵].

$$n_e = \text{حجم کل} / \text{حجم آب ثقی} \quad (1-5)$$

روش عمل بدین نحو است که ردیاب به داخل یک چاه تزریق می شود. با چشم پوشی از پخشیدگی ردیاب در مسیر جریان حجم آب پمپ شده چنین خواهد بود:

$$V = Q.t = \pi r^2 . b . n_e \quad (2-5)$$

r فاصله دور شدن ردیاب از چاه، b ضخامت قسمت اشباع آبخوان، n_e تخلخل مفید آبخوان، Q دبی پمپاژ، t زمان بازیافت ردیاب بعد از آغاز پمپاژ است. با این روش لازم است دو بار آزمایش با زمان های متفاوت انجام گیرد تا بتوان تخلخل مفید و فاصله دور شدن ردیاب از چاه را به دست آورد. کاربرد این روش بر اساس این فرض است که حجم مخروط افت^۳ در مقایسه با حجم آب پمپاژ شده قابل چشم پوشی باشد (رژیم ماندگار).

• تعیین سرعت قائم آب

به منظور شناخت مولفه قائم سرعت با استفاده از ردیاب های رادیو اکتیو می توان از روش رقیق شدن تک چاهی استفاده نمود. بدین منظور تعدادی آشکار ساز^۴ در اعماق مختلف چاه قرار داده و حرکت قائم ردیاب به کمک این آشکار ساز ثبت می شود (شکل ۴-۵). سپس با توجه به فاصله آشکار سازها و زمان رسیدن ردیاب به آنها می توان سرعت جریان قائم آب زیرزمینی را محاسبه نمود.

۵-۱-۳-۳- تشریح روش چند چاهی و ضوابط کاربرد این روش

این روش بر پایه اضافه نمودن لحظه ای ردیاب به داخل آب زیرزمینی و تشخیص آن در یک یا چند نقطه واقع در پایین دست محل تزریق استوار است. پارامترهای قابل اندازه گیری در این روش شامل تخلخل، ضریب قابلیت انتقال، ضریب پخشیدگی، زمان

1- boundary diffusion

2- turbulent

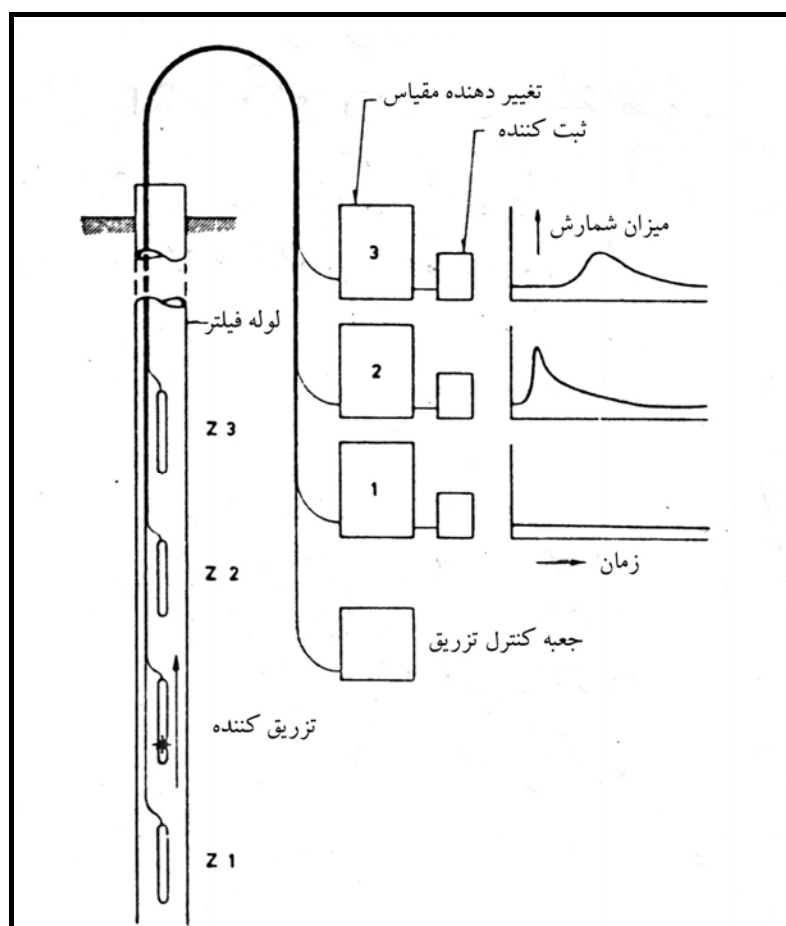
3- Cone of Depression

4- Detector

انتقال، سرعت متوسط و نیز جهت غالب جریان می‌باشد. این روش برای جریان یکنواخت (جانبی) و جریان شعاعی به کار می‌رود [۲۱].

- آزمایش در جریان یکنواخت

ردیاب در یک چاه بدون ایجاد اغتشاش در جریان طبیعی تزریق شده و در نقاط دیگری واقع در پایین دست، نمونه‌برداری انجام می‌گیرد. این آزمایش برای ردیابی با مقیاس‌های محلی ۲-۵ متر یا حد واسط ۵-۱۰۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمان مورد نیاز برای آزمایش خیلی بیش‌تر از زمان مورد نیاز برای آزمایش جریان شعاعی می‌باشد. همچنین مقدار سرعت باید با تخمین نسبتاً بالایی مشخص باشد و نیز تعداد زیادی چاه مشاهده‌ای مورد نیاز خواهد بود. مقدار ردیاب مورد نیاز و تعداد چاه‌های مشاهده‌ای برای پوشش فواصل زیاد و جهات مختلف می‌تواند هزینه‌ها را بالا ببرد. در این آزمایش جهت غالب جریان، زمان انتقال، سرعت متوسط جریان، ضریب پخشیدگی و ضریب قابلیت انتقال آبخوان اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۵-۴- شمایی از روش تشخیص جریان قائم در آب زیرزمینی

- آزمایش در جریان شعاعی

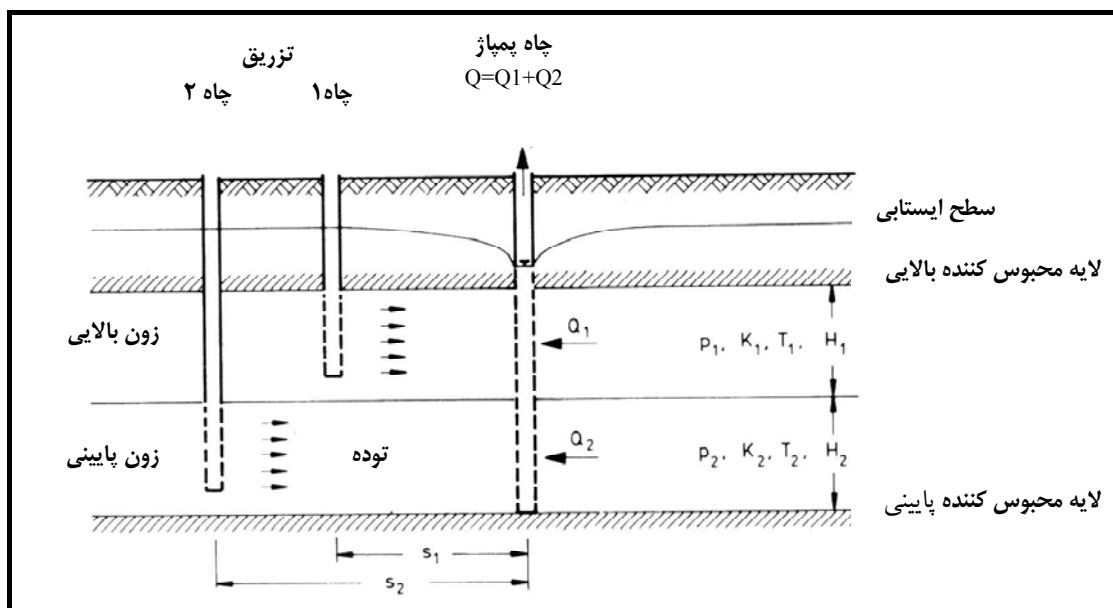
در این آزمایش مقادیر تخلخل، ضریب قابلیت انتقال آبخوان و ضریب پخشیدگی محاسبه می‌شود. این آزمایش از دو روش با جریان‌های همگرا و واگرا تشکیل شده است.

• روش جریان همگرا

در این روش ردیاب در یک چاه مشاهده‌ای تزریق و چاه دیگر پمپاژ می‌شود و جریان به صورت همگرا به سمت چاه پمپاژ هدایت می‌شود. غلظت در چاه در حال پمپاژ اندازه‌گیری می‌شود. در این روش علاوه بر پی بردن به ارتباط هیدرولیکی بین چاه تزریق و پمپاژ پارامترهای قابل اندازه‌گیری در این روش تخلخل و ضریب قابلیت انتقال آبخوان می‌باشد. برخلاف آزمایش در جریان یکنواخت زمانی که آب از یک آبخوان پمپاژ شود و تزریق ردیاب در داخل محدوده ناشی از عملکرد چاه پمپاژ (مخروط افت) انجام گیرد. حجم آب پمپ شده (V) تا زمانی که ردیاب مشاهده شود، به دست می‌آید و بر اساس آن از رابطه (۵-۲) تخلخل مفید آبخوان محاسبه می‌شود. برای تعیین ضریب قابلیت انتقال باید ردیاب در دو چاه که در دو افق مختلف آبخوان حفر شده‌اند، تزریق و در فاصله‌ای دورتر توسط چاه پمپاژ دریافت می‌شود.

• روش جریان واگرا

در این روش محلول ردیاب به صورت پیوسته یا لحظه‌ای به‌درون یک چاه تزریق می‌شود و به‌طور واگرا در آبخوان گسترش می‌یابد. سپس در یک یا چند چاه مشاهده‌ای که پمپاژ نمی‌شود، نمونه‌برداری صورت می‌گیرد. حجم نمونه‌برداری در چاه مشاهده‌ای باید به‌گونه‌ای باشد که در جریان طبیعی آبخوان اغتشاش ایجاد ننماید (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۵- اندازه‌گیری ویژگی‌های آبخوان در روش چند چاهه [۲۵]

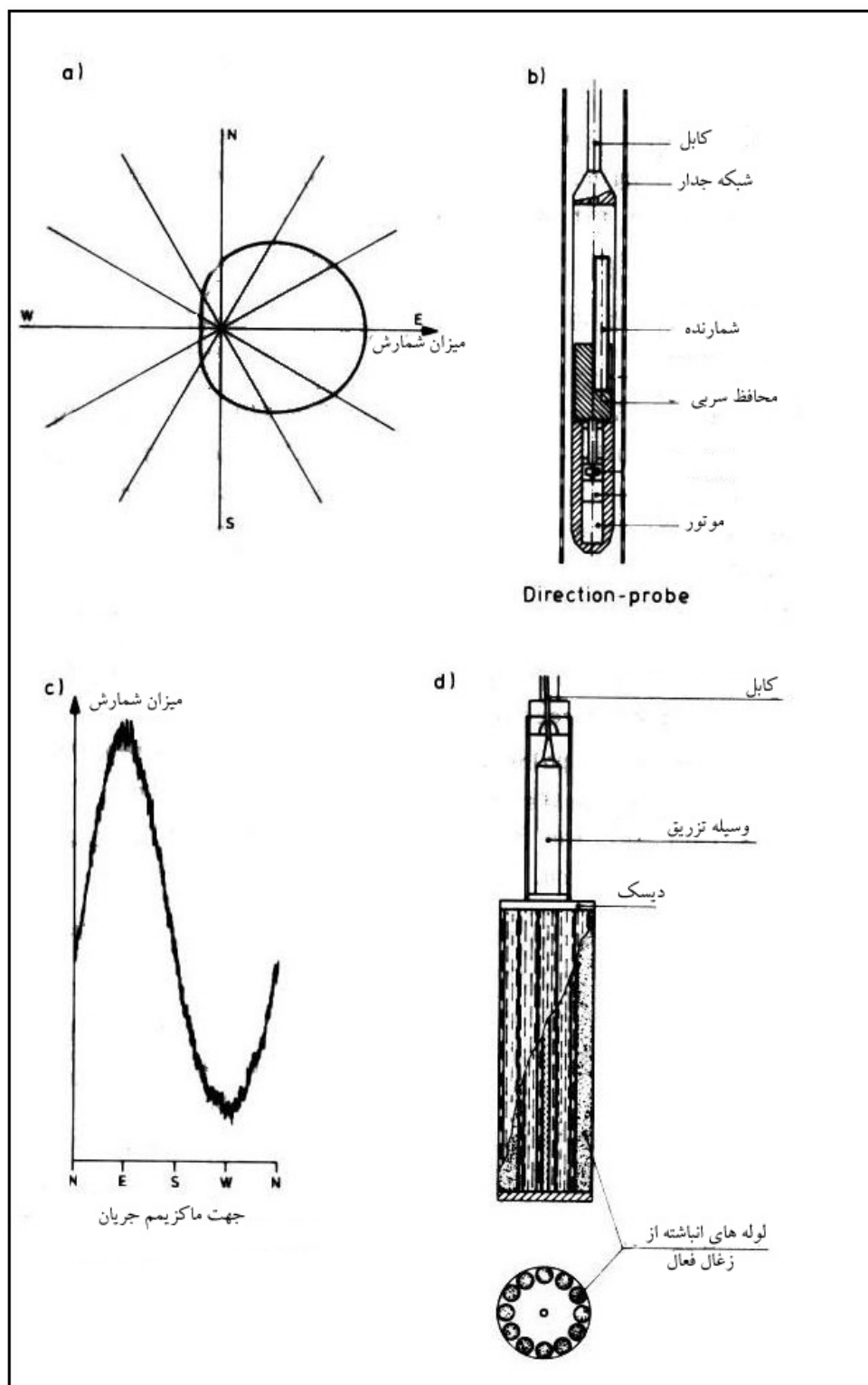
۵-۳-۱- تشریح روش ماکزیمم و ضوابط کاربرد آن

روش ماکزیمم و ضوابط کاربرد آن در آزمایش‌هایی به کار می‌رود که هدف تعیین جهت جریان آب زیرزمینی می‌باشد و معمولاً توسط یک چاه منفرد انجام می‌شود و محل تزریق ردیاب و سنجهش یک نقطه می‌باشد. ردیاب به چاه افزوده شده و در جهت جریان حمل می‌شود. به واسطه وجود خاصیت پخش و پراکندگی، ردیاب در تمام جهات به صورت غیر یکنواخت پخش می‌شود. فعالیت تشعشی یا رادیواکتیویته ردیاب تزریق شده توسط کنتور گایگر یا کنتور مناسب دیگری که با سرب محافظت شده و از منفذ کوچکی

که معمولاً توسط رزین پوشیده شده، وارد شمارنده شده و سپس تشخیص داده می‌شود. این کنتور طوری تعبیه شده که می‌تواند در داخل چاه دوران نموده و فعالیت تشعشعی را در جهات مختلف ثبت نماید (شکل ۵-۶).

با رسم نمودار شعاعی نظیر شکل (۵-۶) جهت ماکزیمم شمارش (جهت کشیدگی نمودار) جهت جریان غالب آب را نشان می‌دهد. در این حالت بر عکس اندازه‌گیری‌های سرعت جریان، مناسب‌ترین رادیوایزوتوپ‌ها آنهایی هستند که به نسبت سریع‌تر توسط مواد تشکیل دهنده زمین جذب می‌شوند.

معمولاً طلای-۱۹۸ و کرم-۵۱ به صورت کلرور برای این منظور به کار می‌روند. همچنین می‌توان از روش نمونه‌برداری از ذغال فعال به ترتیب ارائه شده در شکل (۵-۶) استفاده کرد. استفاده از این ابزار نیاز به چاهی با قطر به اندازه کافی دارد. بدین ترتیب می‌توان بجای مواد رادیواکتیو از مواد رنگی قابل جذب به وسیله ذغال فعال استفاده نمود.



شکل ۵-۶- تشخیص جهت جریان آب زیرزمینی در روش ماکزیمم [۲۵]

۵-۱-۴- مقدار مناسب ردیاب

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 [۲۷]:

- حجم کل آبی که باید ردیاب در آن تزریق شود.
- گرادیان هیدرولیکی آبخوان
- قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان
- قابلیت انتقال آبخوان
- طول مسیر جریان
- دبی 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 احتمال ارائه یک رابطه دقیق برای تعیین کمیت ماده رنگی تا کنون امکان پذیر نبوده است. ولی معادلات تجربی متعددی توسط متخصصین ارائه شده است. در زیر به رابطه تجربی که یونسکو برای روش چند چاهه ارائه داده است، اشاره می‌شود:

$$M = L \cdot K [Kg] \quad (۳-۵)$$

که در آن K ضریبی است که برای محیط‌های متخلخل $۲ - ۰/۲$ است، L فاصله بین نقاط تزریق و نمونه‌برداری بر حسب کیلومتر و M مقدار ردیاب بر حسب کیلوگرم است. رابطه (۳-۵) برای تعیین مقدار اورانین پیشنهاد شده است. برای اطلاع از روابط دیگر می‌توان به مراجع [۱ و ۳] مراجعه نمود.

تجربه نشان داده است که برای فاصله بین محل تزریق و نمونه‌برداری معادل ۵ کیلومتر و دبی چند متر مکعب بر ثانیه، ماده رنگی مورد لزوم برای هر محل تزریق حدود ۱۰ کیلوگرم پیشنهاد می‌شود.

بدیهی است در روش تک چاهه میزان ردیاب مورد نیاز به مراتب کمتر از روش چند چاهه می‌باشد. نظر به این‌که استفاده از ردیاب‌های رنگی باید با توجه به آستانه مجاز هر ماده رنگی (از نظر سمی نمودن) 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 در محل‌های نمونه‌برداری کمتر از ۱۰۰ میلی گرم بر متر مکعب باشد.

۵-۱-۵- آماده‌سازی محل تزریق

بسته به این‌که محل تزریق چاه یا گمانه باشد، نکات زیر باید در آماده‌سازی آنها مورد نظر قرار گیرد:

- چاه: در این نقاط لازم است، عملیات شستشو و توسعه انجام گیرد تا اطمینان حاصل شود که در دیواره و کف آنها هیچ گونه مواد رسی وجود نداشته باشد و سپس در چاه های قائم نصب شیلنگ پلاستیکی با قطر حداقل ۲ اینچ تا افق تزریق و در چاه های مایل نصب لوله فلزی از سر چاه تا حداقل عمق مورد نظر تزریق ضروری است.
 - گمانه: در این محل نیز باید عملیات شستشو و توسعه انجام گرفته و دیواره و کف آن فاقد مواد ریزدانه باشد. همچنین با توجه به محل نصب لوله جدار و مشبک در این گمانه ها، لازم است به منظور انجام تزریق در زیر سطح ایستایی از یک شیلنگ پلاستیکی با قطر حداقل ۲ اینچ تا افق تزریق استفاده شود. در صورت نیاز به انجام تزریق در یک افق خاص باید از پکرهای مکانیکی یا پنوماتیک منفرد^۱ یا مضاعف^۲ استفاده نمود.
- همچنین در صورت نیاز به انجام عملیات تزریق تحت فشار می توان دستگاه حفاری و پکرهای مضاعف در افق مربوطه را به کار گرفت. به منظور تسریع در انجام تزریق باید سکویی با ارتفاع مناسب (حداقل یک متر) در مجاورت گمانه یا چاه ایجاد شود.

۵-۱-۶- آماده سازی ردياب برای تزریق

۵-۱-۶-۱- ماده رنگی

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

- مرحله قبل از تزریق

- حمل مواد رنگی، تجهیزات و مواد افزودنی به محل تزریق
- لازم است بسته های دست نخورده مواد رنگی و مواد افزودنی (نظیر الکل) و تجهیزات مورد نیاز توسط اکیپ تزریق به محل تزریق حمل شود. لازم به تذکر است که اکیپ تزریق و وسیله نقلیه ای که برای حمل مواد فوق به کار می رود به هیچ وجه در عملیات نمونه برداری دخالت نداشته و حتی در نقاط نمونه برداری حضور نیابند.
- مواد و تجهیزات مورد نیاز شامل موارد زیر می باشد:
- 0 به ازای هر ۵ کیلوگرم ماده رنگی گالنی ۱۲۰-۸۰ لیتری مجهز به درپوش و شیر ۲/۵ اینچی (شیرگازی) جهت تهیه محلول
 - 0 پوشاک حفاظتی شامل (لباس کار - دستکش پلاستیکی - ماسک - کفش و ...)
 - 0 همزن پلاستیکی یا چوبی
 - 0 قیف
 - 0 آب
 - 0 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 متر مکعب) نیاز است، لذا ضروری است تمهیدات لازم جهت 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، به نحوی که عاری از مواد کلوخه و ذرات جامد باشد. به منظور انحلال‌پذیری بیش‌تر و جلوگیری از وجود کلوخه و ذرات جامد تجربه نشان می‌دهد که از مواد افزودنی به شرح زیر استفاده شود:

- 0 به ازای هر یک کیلوگرم ماده اورانین دو کیلوگرم هیدروکسید سدیم جامد
- 0 به ازای هر یک کیلوگرم رودامین بی دو لیتر الکل اتیلیک
- 0 بعد از تهیه، محلول باید در بشکه‌های در بسته برای زمان تزریق نگهداری شود.
- 0 به ازای هر پنج کیلوگرم ماده رنگی یک عدد بشکه ضروری است. نسبت تقریبی غلظت محلول ردیاب در آب معادل یک کیلوگرم ردیاب در ده لیتر آب می‌باشد.

۵-۱-۶-۲- نمک‌های معدنی

طرز عمل، مشابه روش آماده‌سازی ردیاب رنگی است، ولی با پیچیدگی کم‌تر و با سهولت بیش‌تر و احتمال آلودگی کم‌تر.

۵-۱-۶-۳- مواد رادیوایزوتوپ

کلیه مراحل تهیه، آماده‌سازی و عملیات تزریق این گونه ردیاب‌ها صرفاً باید براساس دستورالعمل‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، تحت نظر سازمان انرژی اتمی ایران و با رعایت ضوابط و مقررات سازمان مذکور انجام گیرد [۲۵].

فصل ۶

نمونه برداری و ضوابط آن

۶-۱- تشریح روش های نمونه برداری

برای کلیه ردیاب ها قبل از نمونه برداری باید به نکات زیر توجه شود و پرسنل و وسایل مورد نیاز به شرح زیر فراهم شود.

- تعیین نقاط نمونه برداری بر روی نقشه بر اساس ضوابط مذکور در بند ۶-۲
 - آماده سازی محل نمونه برداری ها به منظور اندازه گیری دبی چشمه ها
 - اندازه گیری سطح آب چاه ها و گمانه ها
 - انتخاب اکیپ نمونه بردار شامل حداقل یک نفر کارشناس هیدروژئولوژی، یک نفر تکنسین باتجربه و دو نفر کارگر
 - فراهم نمودن وسیله نقلیه
 - تهیه تجهیزات نمونه برداری شامل:
 - جعبه های مناسب به منظور حمل نمونه ها
 - سیم گردان ۱
 - نمونه بردار مکانیکی نقطه ای ۲ (برای برداشت نمونه از اعماق معین)
 - نمونه بردار ضربه ای (برای برداشت نمونه از اعماق معین)
 - نمونه بردار مکانیکی تدریجی ۳ (برای برداشت نمونه میانگین از اعماق مختلف منبع)
 - نمونه بردار اتوماتیک (برای نمونه برداری از نقاط صعب العبور و نمونه برداری در شب)
 - پمپ نمونه برداری
 - تجهیزات سنجش مواد رادیواکتیو در آزمایش ردیابی ایزوتوپی مصنوعی
 - ظروف نمونه برداری مناسب و برچسب که باید کلیه ظروف قبل از نمونه برداری با آب منبع مربوطه شسته شود و همچنین ظروف نمونه برداری باید از آب لبریز و مجهز به درپوش عایق باشد و برچسب ها نیز باید حاوی اطلاعات زیر باشد:
- 0 کد پروژه
 - 0 کد نمونه
 - 0 تاریخ و ساعت نمونه برداری
 - 0 محل نمونه برداری
 - 0 نوع منبع آب
 - 0 نوع آنالیز
 - 0 نمونه صاف شده یا نشده

1- Winch

۲- عبارت است از یک لوله فلزی با قطر حدود ۲ سانتی متر و طول حدود ۴۰ سانتیمتر 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 نگردد.

۳- عبارت است از یک لوله فلزی با قطر حدود ۲ سانتی متر و طول حدود ۴۰ سانتیمتر 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 ...)، 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.

۶-۱-۱- مراحل نمونه‌برداری ایزوتوبی

الف - مرحله قبل از نمونه‌برداری

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

جهت نمونه‌برداری از اکسیژن - ۱۸ و دوتریوم لازم است ظروف شیشه‌ای تیره یا از جنس پلی‌اتیلن با حجم بین ۱۰۰-۱۰ سی‌سی به تعداد کافی آماده شود.

برای ارزیابی کربن - ۱۳ از نمونه برداشت شده کربن - ۱۴ که در زیر به آن اشاره خواهد شد، استفاده به عمل می‌آید. بر روی ظروف نمونه‌برداری این ردیاب‌ها علاوه بر مطالب فوق باید قابلیت هدایت الکتریکی نمونه، نوع ماده شیمیایی افزودنی و قلیائیت نمونه در صحرا درج شود [۲۰].

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

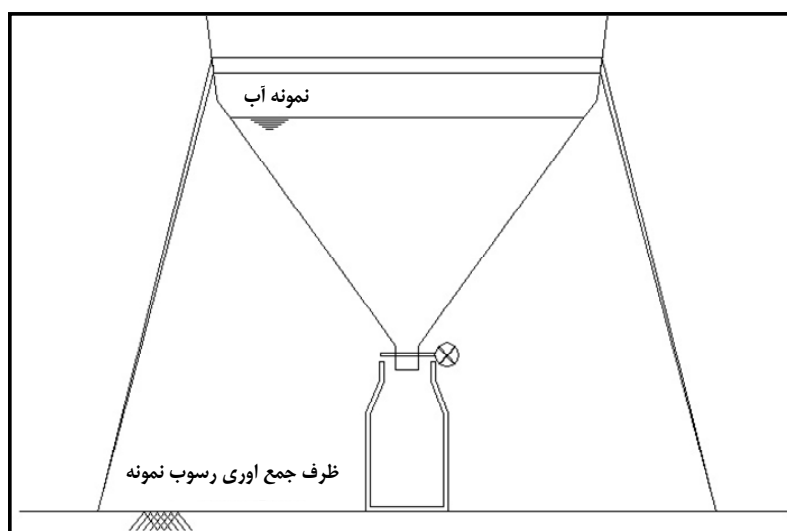
برای نمونه‌برداری از تریتیوم ظروفی از جنس پلی‌اتیلن با حجم یک لیتر ضروری است.

در مورد کربن - ۱۴ بر حسب روش ارزیابی تجهیزات لازم به شرح زیر می‌باشد:

چنانچه روش ارزیابی صعود تدریجی گاز باشد:

- ظروف نمونه‌بردار از جنس پلی‌اتیلن با حجم ۶۰ لیتر
- ظروف کوچک با حجم ۵۰۰ سی‌سی از جنس پلی‌اتیلن برای جمع‌آوری بی‌کربنات نمونه‌ها
- پمپ آکواریوم و اتصالات مربوطه
- اسید کلریدریک ۳۷٪ به مقدار ۱۰۰ سی‌سی به ازای هر نمونه
- هیدروکسید سدیم به مقدار ۴۰ گرم برای هر نمونه

چنانچه روش رسوب کربنات باریوم مد نظر باشد، علاوه بر تجهیزات فوق سه پایه مخصوص و ظرف رسوب‌گیر^۱ و کلرور باریوم به مقدار کافی نیاز می‌باشد (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۱ - نمونه برداری کربن ۱۴ به روش رسوب [۱۶]

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

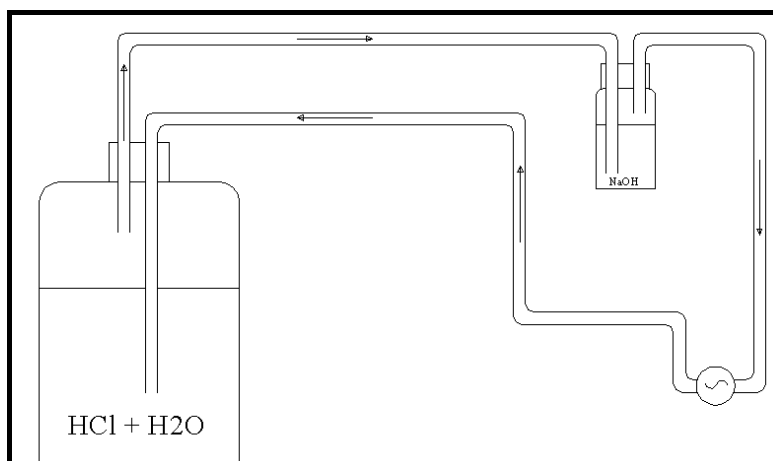
ب - مرحله نمونه برداری [۲۰]

نمونه برداری برای تریتیوم، اکسیژن ۱۸- و دوتریوم ساده بوده و به طور مستقیم از منبع آبی صورت می گیرد. چنانچه مطالعات شیمیایی به طور هم زمان 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 cc ترجیحا باید از ایستگاه باران سنجی و برف سنجی 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 باران سنجی، از تبخیر آب جمع آوری شده جلوگیری نمود. نمونه‌های برداشت شده در محل مناسبی جمع آوری شده و سپس نمونه‌های مربوط به هر ماه با هم مخلوط شده و یک نمونه معرف آن ماه برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال می شود. در صورت وجود بارندگی به صورت رخداد‌های پراکنده، از هر رخداد به صورت جداگانه نمونه برداری و نمونه تاریخ گذاری می شود.

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

در نمونه برداری از کربن ۱۴- در روش گازی باید حدود ۶۰-۵۰ لیتر از آب منبع مورد نظر را (با اضافه نمودن مقدار کافی اسید کلریدریک) اسیدی نموده و گاز کربنیک حاصل از تجزیه بی کربنات را در محیط قلیایی (حدود نیم لیتر محلول سود با غلظت کافی) جذب نمود. این عمل به کمک یک پمپ آکواریوم که جریان هوای بسته ای بین نمونه حجیم و نمونه کوچک ایجاد می کند انجام می گیرد. در خاتمه کار باید دقت شود که نمونه حجیم کاملا اسیدی باشد (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲ - نمونه‌برداری کربن ۱۴ به روش گازی [۱۶]

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

ج - مرحله بعد از نمونه‌برداری

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

۶-۱-۲- نمونه‌برداری شیمیایی و نمک‌های معدنی

تجهیزات مورد لزوم برای این نمونه‌برداری عبارتند از:

- ظروف پلی‌اتیلن با حجم ۵۰۰ cc که این حجم بستگی به نوع عوامل شیمیایی مورد اندازه‌گیری دارد.
 - کنداکتیومتر صحرایی
 - فیلتر ۰/۴۵ میکرون جهت صاف نمودن نمونه (مواد جامد و باکتری) در صحرا
- قبل از عملیات تزریق لازم است از محل‌های نمونه‌برداری تعیین شده، نمونه زمینه در فواصل زمانی معین برداشت شود. نمونه‌های برداشت شده باید در جعبه‌های مخصوص به آزمایشگاه جهت آنالیز ارسال شود.
- در صورتی که هدایت الکتریکی (EC) به عنوان پارامتر ردیابی انتخاب شود، نیاز به نمونه‌برداری نیست و تغییرات هدایت الکتریکی در محل با کنداکتیومتر صحرایی اندازه‌گیری می‌شود و نمودار تغییرات هدایت الکتریکی بر حسب زمان رسم می‌شود.

۶-۱-۳- مراحل نمونه‌برداری مواد رنگی

الف - مرحله قبل از نمونه‌برداری و تجهیزات مورد نیاز:

- ظروف شیشه‌ای تیره به حجم ۵۰ cc
- تهیه کیسه‌های ذغال فعال:

کیسه‌های حاوی ذغال فعال را معمولاً برای نقاطی که صعب العبور است و یا برای تشخیص افق‌های مختلف جریان در اعماق گوناگون چاه یا گمانه به کار می‌برند. این کیسه‌ها باید از جنس نایلون سفید رنگ (به ابعاد ۱۰×۴ cm) و مشبک (با شبکه‌های ۱/۵ میلی‌متر) با نخ سفید تهیه شود و در هر یک از کیسه‌ها حدود ۵ گرم ذغال فعال که دارای دانه‌بندی بین ۲-۳ میلی‌متر است، ریخته شود. برای تهیه این دانه‌بندی لازم است از الک‌هایی با قطر منافذ کوچک‌تر از یک میلی‌متر استفاده به عمل آید تا گرده‌های ذغال جدا شود.

ب - مرحله نمونه برداری

در این مرحله باید به موارد زیر توجه نمود [۲۷]:

- استفاده از اکیپ مجزا برای نمونه برداری که هیچ دخالتی در عملیات تزریق نداشته‌اند.
- استفاده از ابزار و وسایل و وسیله نقلیه‌ای که هیچ‌گونه دخالتی در عملیات تزریق نداشته‌اند
- استفاده از نمونه‌گیرهای مجزا برای هر چاه یا گمانه
- نصب و برداشت کیسه‌های ذغال فعال در نقاط نمونه برداری مورد نیاز با فواصل زمانی معین. کیسه‌ها در مسیر اصلی جریان و در نواحی از این مسیر که سرعت جریان کم است قرار داده می‌شود.
- نقاط نمونه برداری هرگز نباید به عنوان نقطه تزریق به کار رود، مگر در روش تک چاهی
- قبل از عمل تزریق لازم است، از محل‌های نمونه برداری تعیین شده، نمونه زمینه در فواصل زمانی معین برداشت شود.

ج - مرحله بعد از نمونه برداری

نمونه‌ها باید در جعبه‌های مخصوص قراردادده 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.

۶-۲- ضوابط انتخاب منابع آب مناسب برای نمونه برداری

در انتخاب نقاط نمونه برداری، هدف طرح و نتایج مطالعات کلاسیک باید در نظر گرفته شود. این انتخاب باید به گونه‌ای باشد که نمونه‌های برداشت شده معرف آبخوان بوده و از توزیع مکانی مناسبی در منطقه برخوردار باشند. در صورت عدم وجود نقاط نمونه برداری 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 نماید.

۶-۲-۱- نقاط نمونه برداری 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 نمونه برداری این نوع ردیاب‌ها، توزیع ارتفاع نقاط نیز باید مد نظر قرار گیرد، لذا منابع آبی زیر می‌تواند به عنوان نقاط نمونه برداری انتخاب شود.

- چشمه‌های دائمی و موقت
- چاه‌هایی که شستشو و توسعه آن پایان یافته و ترجیحا دارای لوگ زمین‌شناسی باشد، اعم از چاه‌های عمیق، نیمه عمیق، آرتزین و دستی
- گمانه‌ها
- محل آب‌های فرورو
- زهکش‌ها
- نقاط بالا دست و پایین دست جریان‌های سطحی (رودخانه‌ها)
- داخل گودال‌ها
- مادر چاه قنات و در صورت عدم دسترسی به مادر چاه، مظهر قنات
- به منظور نمونه‌برداری از آب‌های جوی لازم است از ایستگاه‌های باران‌سنجی و برف‌سنجی 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 داریم که به عنوان منابع شاخص منطقه می‌باشد و همچنین چشمه‌های موقت، ترجیحا 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.

۶-۲-۲- نقاط نمونه‌برداری ردیاب‌های مصنوعی

- کلیه منابعی که در بند ۶-۲-۱ معرفی شد، می‌تواند برای این نوع ردیابی هم به کار رود به‌استثنای محل‌های نمونه‌برداری که برای آب‌های جوی و نیز آب‌های فرورو ذکر شده است که در این گونه ردیاب‌ها مطرح نمی‌باشد. همچنین در مورد نمونه‌برداری جهت ردیابی نمک‌های معدنی باید از میله‌های حفر شده در تکرار قنات استفاده نمود.
- به‌علاوه در انتخاب نقاط نمونه‌برداری باید ضوابط زیر رعایت شود:
- پایین بودن رقوم سطح آب نقاط نمونه‌برداری نسبت به منبع تزریق
 - آلوده نبودن منابع نمونه‌برداری با هیدروکربورها و مواد ارگانیکی و نظایر آن
 - تناسب تعداد منابع نمونه‌برداری با توجه به هدف طرح

۶-۳- ضوابط انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه‌برداری

در انتخاب زمان و فواصل نمونه‌برداری لازم است، اهداف پروژه و شرایط محیطی منطقه مد نظر قرارگیرد. از آنجا که انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه‌برداری نا مناسب منجر به نتایج گمراه‌کننده‌ای می‌شود، لذا عملیات نمونه‌برداری باید با توجه به ضوابط زیر صورت پذیرد.

۶-۳-۱- نمونه برداری ایزوتوپ های محیطی

انتخاب زمان و فواصل زمانی نمونه برداری به طور کلی به فراوانی ماه های مرطوب در طول سال و واکنش آبخوان نسبت به بارندگی بستگی دارد، ولی به طور معمول نمونه برداری به طور دوره ای حداقل ۲ مرتبه در سال (دوره های 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.

۶-۳-۲- نمونه برداری مواد رنگی و معدنی و ایزوتوپ های مصنوعی

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

– **نمونه برداری زمینه شیمیایی:** در صورتی که قبلاً در مطالعات هیدروشنیمی منطقه نمونه برداری به صورت ماهانه برای عامل مورد نظر انجام نگرفته باشد باید انجام گیرد. ترجیحاً این اندازه گیری باید دوره های مرطوب و خشک را پوشش دهد.

– **نمونه برداری زمینه رنگی:** لازم است ۳ روز قبل از عمل تزریق به طور روزانه از منابع آب نمونه برداری شود. در سیستم تک چاهی زمان نمونه برداری از یک دقیقه تا ۲۴ ساعت در فواصل زمانی مناسب تداوم خواهد داشت. زمان نمونه برداری و فواصل آن با توجه به ویژگی های هیدروژئولوژیکی و فاصله مکانی بین نقاط تزریق و نقاط نمونه برداری و با توجه به نوع دانه بندی آبرفت و سرعت تخمینی جریان آب زیرزمینی تعیین می شود.

فصل ۷

**تشریح روش‌های آماده‌سازی اولیه و
شرایط حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه**

۷-۱- تشریح روش‌های آماده‌سازی اولیه و شرایط حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه

۷-۱-۱- نمونه‌های ماده رنگی، شیمیایی 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، ولی چنانچه یون کربنات و بی‌کربنات مد نظر باشد، آنالیز باید حداکثر ظرف ۷۲ ساعت به آزمایشگاه ارسال شود.

کیسه‌های ذغال 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.

۷-۱-۲- نمونه‌های کربن - ۱۴

جهت آزمایش کربن-۱۴ عملیات تغلیظ بی‌کربنات نمونه‌ها عمدتاً در محل انجام شده و نمونه‌های تغلیظ شده در جعبه‌های مخصوص قرار داده شود و جهت آزمایشات 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 منتقل می‌شود.

۷-۲- وسایل و لوازم مورد نیاز و روش‌های اندازه‌گیری

۷-۲-۱- تشریح دستگاه‌ها و تجهیزات لازم در عملیات تزریق، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صحرایی

۷-۲-۱-۱- دستگاه‌ها و تجهیزات عملیات تزریق ردیاب‌های رنگی

دستگاه‌ها و تجهیزات لازم برای عملیات تزریق عمدتاً به شرح زیر می‌باشد:

- به ازای هر ۵ کیلو گرم 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 بطول کافی جهت تزریق ماده رنگی، متناسب با عمق محل تزریق
- پوشاک حفاظتی (لباس کار، دستکش پلاستیکی، ماسک، کفش و ...)
- همزن پلاستیکی یا چوبی
- قیف بزرگ
- وسیله نقلیه منحصراً برای عملیات تزریق
- تجهیزات لازم نظیر پمپ و بشکه‌های شیر دار جهت ثابت نگه داشتن دبی تزریق برای عملیات تزریق به روش پیوسته با دبی ثابت باید در نظر گرفته شود.

در صورتی که نیاز به تعیین ارتباط هیدرولیکی بین دو یا چند نقطه در افق‌های مختلف آبخوان باشد می‌توان از سیستم تزریق تحت فشار با یک مسدود کننده^۱ و یا دو مسدود کننده^۲ استفاده نمود.

۷-۲-۱-۲- دستگاه‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری ردیاب‌های رنگی

دستگاه‌ها و تجهیزات نمونه‌برداری عمدتاً به شرح زیر می‌باشد:

- وسیله نقلیه، منحصر برای نمونه‌برداری
- جعبه‌های مناسب برای حمل نمونه‌ها
- سیم گردان
- نمونه‌بردار مکانیکی - نقطه‌ای (برای برداشت نمونه از اعماق مشخص) برای هر منبع یک عدد
- نمونه‌بردار مکانیکی - تدریجی (برای برداشت نمونه میانگین از اعماق مختلف منبع) برای هر منبع یک عدد
- نمونه‌بردار اتوماتیک (برای نمونه‌برداری در شب و در نقاط صعب العبور)
- ظروف نمونه‌برداری مناسب و بر چسب
- دستگاه تغلیظ کننده بی‌کربنات نمونه آب برای سنجش کربن - ۱۳ و کربن - ۱۴
- کیسه‌های کربن فعال
- استوانه‌های فلزی مشبک جهت قرار دادن کیسه‌های ذغال فعال در اعماق مختلف چاه یا گمانه
- مازیک ضد آب

۷-۲-۱-۳- دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری صحرایی

دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری صحرایی عمدتاً به قرار زیر می‌باشند:

- pH متر
- کندانکتیو متر
- دماسنج (صفر تا صد درجه سانتی‌گراد)
- دستگاه فلوئوریمتر صحرایی
- لوله آزمایش به تعداد لازم
- الکل اتیلیک و پتاس جهت تشخیص مواد رنگی در کیسه‌های ذغال فعال در صحرا
- وسیله اندازه‌گیری سرعت و دبی جریان
- وسیله اندازه‌گیری عمق سطح آب زیرزمینی
- دستگاه اشعه فرا بنفش صحرایی جهت تشخیص کیفی ماده رنگی در نمونه

- سیستم نمونه‌گیری گاز کربنیک شامل ظروف نمونه‌بردار با حجم ۶۰ لیتر، ظروف کوچک با حجم ۵۰۰ cc جهت جمع‌آوری بی‌کربنات، پمپ آکواریوم و اتصالات مربوطه جهت اتصال ظروف و مبدل برق اتومبیل به برق شهر (DC/AC)

- سیستم جمع‌آوری بی‌کربنات به روش رسوب شامل سه پایه مخصوص، ظرف نمونه و ظرف رسوب‌گیر
- کیت صحرایی و مواد لازم جهت سنجش کلر و گاز کربنیک آزاد و قلیائیت نمونه‌ها
- شمارنده گایگر جهت سنجش پرتوگاما در عملیات ردیابی با رادیو ایزوتوپ‌های مصنوعی
- سوند مخصوص اندازه‌گیری جریان قائم در آب زیرزمینی

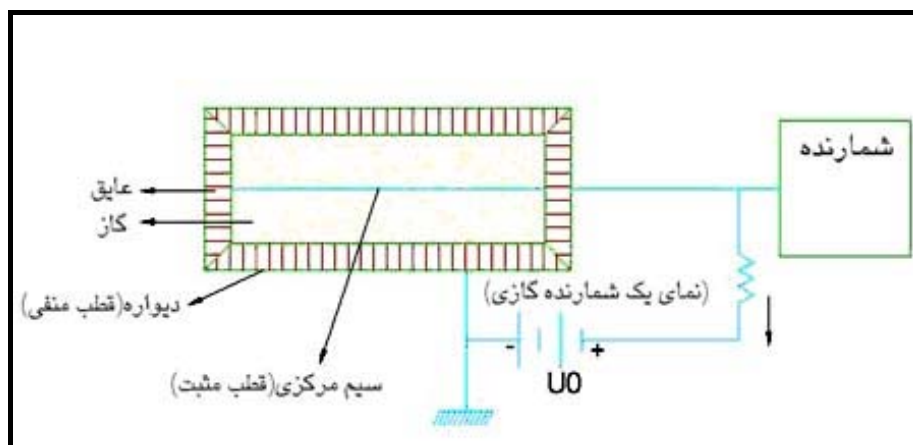
۷-۲-۲- تشریح تجهیزات و سیستم‌های آزمایشگاهی لازم برای سنجش ردیاب‌های ایزوتوپی محیطی، شیمیایی و مصنوعی

۷-۲-۲-۱- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای سنجش ردیاب‌های ایزوتوپی

الف- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای سنجش رادیوایزوتوپ‌های محیطی کربن - ۱۴ و تریتیوم

- کربن - ۱۴

- روش گازی
- 0 ظرف استخراج گاز کربنیک از نمونه تغلیظ شده
- 0 گیره و پایه و اتصالات مورد نیاز
- 0 همزن مغناطیسی
- 0 پمپ تخلیه
- 0 سیستم تخلیص گاز کربنیک شامل: تله‌ها، بالن‌ها و ستون ذغال فعال
- 0 بالن‌های انبار برای ذخیره نمونه گاز
- 0 محفظه نمونه
- 0 محافظ فولادی
- 0 تقویت کننده (آمپلی فایر)
- 0 شمارنده گازی جهت سنجش کربن - ۱۴ (شکل ۷-۱)
- 0 اتوکلاو
- 0 سیستم تهیه آب مقطر



شکل ۷-۱- نمای شماتیک شمارنده گازی

- روش سنتیلاسیون مایع^۱
 - پمپ تخلیه
 - ظرف استخراج گاز کربنیک از نمونه تغلیظ شده
 - سیستم تهیه بنزن
 - گیره و پایه و اتصالات مورد نیاز
 - همزن مغناطیسی
 - کوره الکتریکی جهت تهیه لیتیم کاربرد
 - شمارنده سنتیلاسیون مایع جهت سنجش کربن - ۱۴ و تریتیوم
 - سیستم تهیه آب مقطر

- تریتیوم

- روش سنتیلاسیون مایع
 - لوازم تقطیر اولیه نمونه‌ها
 - سل‌های الکترولیز با حجم ۲۵۰ cc جهت تغلیظ تریتیوم نمونه‌های آب
 - منبع تغذیه الکتریکی با کنتور مربوط برای تهیه جریان یک‌سو برای عمل الکترولیز
 - لوازم تقطیر ثانویه (تقطیر در خلا یا تقطیر معمولی) نمونه‌های حاصل از الکترولیز
 - شمارنده سنتیلاسیون مایع جهت سنجش تریتیوم و کربن - ۱۴
 - بالن ژوژه به حجم ۲۵۰cc و به تعداد لازم
 - یخچال مربوط برای سل‌های الکترولیز
 - سیستم تهیه آب مقطر
 - اتوکلاو

1- Shaker

- اسپکتروفتومتر جهت تشخیص نیترات و نیتريت
- کنداکتیومتر جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب
- کوره الکتریکی با حداکثر ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد جهت اندازه‌گیری سولفات
- سیستم تیتراسیون برای اندازه‌گیری کربنات‌ها، بی‌کربنات‌ها و کلر که شامل: بورت اتوماتیک و پی‌پت‌های حباب‌دار می‌باشد
- حمام بخار (بن ماری) جهت اندازه‌گیری سولفات
- سیستم تهیه آب مقطر
- اتوکلاو
- pH متر
- ترازو

۷-۲-۳- تجهیزات و دستگاه‌های آزمایشگاهی لازم برای سنجش ردیاب‌های مصنوعی

- رادیوایزوتوپ‌های مصنوعی

تریتیوم: تجهیزات مشابه بند الف بخش ۷-۲-۳-۱ می‌باشد چون نمونه‌ها فعال می‌باشند، لذا نیازی به کنترل‌یز آنها نخواهد بود.

- ردیاب‌های رنگی

- به‌طور کلی برای انجام این کار سه نوع فلئوریمتر موجود می‌باشد
- الف- فلئوریمتر دو فیلتری (برای سنجش کیفی)
- ب - فلئوریمتر یک فیلتری یک مونوکروماتوری (برای سنجش کیفی)
- ج- فلئوریمتر دو مونوکروماتوری (اسپکتروفلئوروفتومتر)
- با توجه به دقت بسیار بالای فلئوریمترهای دو مونوکروماتوری لازم است به منظور انجام مطالعات کمی از این‌گونه دستگاه‌ها استفاده شود. برای سنجش کیفی استفاده از فلئوریمتر یک فیلتری یک مونوکروماتوری توصیه می‌شود.
- دستگاه‌ها باید قابلیت‌های زیر را دارا باشند [۱۹]:
- الف - دامنه طول موج برای آنالیز نمونه‌های حاوی مواد رنگی بین 400 nm تا 700 nm 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: این نسبت باید بالاتر از ۷۰ باشد.
- ه- لامپ: دستگاه باید مجهز به لامپ پر فشار گزنون باشد که توانایی ایجاد بیناب پیوسته با شدت بالا را در دامنه بیناب 400 nm تا 700 nm دارا باشد.

- نمک‌های معدنی

تجهیزات آنالیز مانند تجهیزات قید شده در بند ۷-۲-۲ می‌باشد.

۷-۲-۳- اصول کاربرد، روش استفاده و تعیین ضوابط هر سنجش

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

۷-۲-۳-۱- ایزوتوپ‌های محیطی پرتوزا

الف - کربن - ۱۴، [۱۶]، [۱۷]، [۳۰] و [۳۱]

- سنجش به روش گازی:

برای سنجش کربن - ۱۴ به روش گازی مراحل زیر انجام می‌شود:

- خنثی نمودن نمونه بی کربنات تغلیظ شده و جمع‌آوری گاز کربنیک حاصل
- تخلیص نمونه و کالیبره نمودن آن (گاز کاملاً خشک و خالص باشد)
- برداشتن مقدار ۱۵-۲۰ cc گاز جهت 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، جهت اجتناب از آلودگی حاصل از رادون جوی)
- سنجش زمینه و بهره‌شمارنده (با نمونه‌هایی با اکتیویته صفر و استاندارد)
- تعیین مقدار کربن - ۱۴ نمونه بر حسب درصد، نسبت به کربن - ۱۴ مدرن (اکتیویته نسبی)
- حداکثر دقت به دست آمده حدود $\pm 0.5\%$ در صد کربن - ۱۴ مدرن (pmc)

- سنجش به روش سنتیلاسیون مایع:

در روش سنجش بطریق مایع و به دست آوردن بنزن مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- خنثی نمودن نمونه بی کربنات تغلیظ شده و جمع‌آوری گاز کربنیک حاصل
- برداشت مقدار ۱۵ تا ۲۰ cc از گاز نمونه جهت سنجش کربن - ۱۳
- وارد نمودن 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 نمودن محلول سنتیلاتور مناسب به آن جهت 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 - ۱۴ مدرن
- حداکثر خطای این روش $\pm 0.2\%$ درصد کربن - ۱۴ مدرن می‌باشد

ب - تریتیوم

- روش سنتیلاسیون مایع [۳۲]:

- تقطیر اولیه نمونه‌ها
 - الکترولیز نمونه‌ها
 - تقطیر ثانویه نمونه‌ها
 - تعیین ضریب کاهش حجم و بهره سل‌های الکترولیز و ضریب تغلیظ تریتیوم
 - انتخاب مقدار مناسبی از نمونه الکترولیز شده و اختلاط آن با محلول سنتیلاتور جهت 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 جهت تعیین و محاسبه ضریب تغلیظ سل‌ها منظور شود که بعد از هر الکترولیز سل‌های این نمونه‌ها را تغییر داده و بدین 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 فاصله زمانی بین زمان نمونه‌برداری و زمان آزمایش نمونه وجود داشته باشد و با توجه به این‌که به ازای هر سال حدود ۵/۵ درصد از اکتیویته تریتیوم کاهش می‌یابد، لذا لازم است تریتیوم اندازه‌گیری شده نمونه نسبت به زمان نمونه‌برداری اصلاح شود. این تصحیح با استفاده از رابطه نمایی فروپاشی رادیواکتیویته که در بند ۸-۱-۱ به آن اشاره خواهد شد و یا اطلاعات موجود در جدول (۷-۱) زیر صورت می‌پذیرد.

جدول ۷-۱ - جدول فروپاشی تریتیوم 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

- روش گازی

این روش علیرغم دقت بالا به دلیل زمان بر بودن و مشکل تهیه مواد اولیه برای اندازه‌گیری تریتیوم متداول نمی‌باشد.

۷-۲-۳-۲- ایزوتوپ‌های محیطی پایدار

الف - اکسیژن ۱۸ [۷] [۲۰]

این سنجش بر مبنای ایجاد تعادل ایزوتوپی بین گاز کربنیک و نمونه‌های آب به ترتیب زیر انجام می‌گیرد:

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

ب - دوتریوم [۲۰]

سنجش دوتریوم به ترتیب زیر انجام می‌گیرد:

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

ج - کربن ۱۳ [۲۰]

سنجش کربن ۱۳ به ترتیب زیر انجام می‌گیرد:

- ورود گاز کربنیک نمونه همراه با نمونه استاندارد به داخل دستگاه بیناب سنج جرمی
- سنجش محتوای کربن ۱۳ نمونه‌ها بر حسب انحراف در هزار نسبت به نمونه استاندارد

۷-۲-۳-۳- یون‌ها و نمک‌های معدنی

سنجش یون‌ها و نمک‌های معدنی به ترتیب زیر می‌باشد:

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

۷-۲-۳-۴- ردیاب‌های رنگی

سنجش ردیاب‌های رنگی به صورت زیر انجام می‌گیرد [۱۹] [۲۱] [۲۷]:

- 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 ذغال فعال با محلول الکل و پتاس و در نتیجه تهیه محلول حاوی ماده رنگی
- صاف نمودن نمونه‌ها
- اندازه‌گیری شدت فلئورسانس و غلظت ردیاب در نمونه‌ها

همچنین با توجه به اثر دما بر شدت فلئورسانس مواد رنگی شدت اندازه‌گیری طبق رابطه زیر و با توجه به جدول (۷-۲) اصلاح می‌گردد.

$$F = F_0 e^{-m(t - t_0)} \quad (۷-۱)$$

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

جدول ۷-۲- ضریب دما برای برخی از مواد رنگی [۱۹]

ماده رنگی	ضریب
اورانین	۰/۰۰۳۶
اتوزین	۰/۰۰۰۳۶
سولفو رودامین جی	۰/۰۰۲۵
سولفو رودامین بی	۰/۰۲۹
رودامین بی	۰/۰۲۷
رودامین WT	۰/۰۲۷
پیرانین	۰/۰۰۱۹

- تهیه منحنی‌های واسنجی بر اساس آستانه تشخیص ردیاب مورد نظر

فصل ۸

انجام محاسبات و تهیه نمودارهای

لازم

۸-۱- محاسبات

۸-۱-۱- زمان اقامت آب در آبخوان

- تعیین سن آب زیرزمینی با استفاده از کربن ۱۴ [۲۵]

- **سن ظاهری:** برای محاسبه سن ظاهری پس از محاسبه در صد کربن-۱۴ نمونه‌ها بر حسب کربن-۱۴ مدرن باید به شرح زیر عمل نمود:

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.

$$t = 8268 \ln(A / A_0) \quad (۱-۸)$$

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 می‌باشد.

- **سن تصحیح شده:** 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 $\frac{\delta C^{13}}{-25\%}$ که رابطه متداول برای تصحیح کربن-۱۴ می‌باشد، تقسیم نموده و درصد کربن -۱۴

تصحیح شده به دست می‌آید. در صد اخیراً در رابطه (۱-۸) قرار داده تا سن تصحیح شده نمونه به دست آید.

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 نیمه خشک، 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.

- تعیین سن آب زیرزمینی با استفاده از تریتیوم

- **سن یابی کمی:** با تریتیوم می‌توان سن آب را حداکثر تا ۵۰ سال به شرح زیر تعیین نمود.

فرض اول: در صورتی که بارش بلافاصله و به‌طور مستقیم به منابع آب بپیوندد (بدون اختلاط و پخشیدگی) در این صورت از رابطه (۱-۸) 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 نمود. 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 نمودار تغییرات تریتیوم آب باران به ازای زمان استفاده به عمل می‌آید. این زمان را با زمان حاصل از رابطه (۱-۸) زمان اقامت آب در آبخوان جمع نموده و در نتیجه سن آب به دست می‌آید. اشکال این مدل آن است که فرض می‌نماید 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 می‌باشد که با توزیع نرمال سهم هر سال در تغذیه مشخص می‌شود و محاسبه سن آب نظیر مدل پیستونی خواهد بود.

- سن‌یابی کیفی: سن‌یابی کیفی با استفاده از تریتیوم بر اساس سال انفجارات هسته‌ای در جو (۱۹۵۲-۱۹۶۳) صورت می‌گیرد.

۸-۱-۲- محاسبه خواص هیدرودینامیکی آبخوان

۸-۱-۲-۱- محاسبه سرعت آب زیرزمینی [۲۵]

الف - با استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی (ناپایدار)

در این روش با استفاده از زمان اقامت آب در آبخوان و با توجه به فاصله بین نقاط نمونه‌برداری سرعت میانگین و ناحیه ای آب زیرزمینی در ناحیه مورد مطالعه به دست می‌آید.

ب - با استفاده از ردیاب‌های مصنوعی

- روش تک چاهی

- روش تزریق / تخلیه

در این روش با استفاده از مسافت طی شده توسط ردیاب که از رابطه زیر به دست می‌آید و با توجه به زمان عبور ردیاب سرعت متوسط به دست می‌آید.

$$X = V_{50} / bn \pi \quad (2-8)$$

که در آن V_{50} مقدار حجم آب پمپ شده بر حسب متر مکعب می‌باشد که پنجاه درصد مقدار ردیاب بازیافت شده است، b ضخامت آبخوان بر حسب متر و n تخلخل بر حسب درصد است. سرعت متوسط از رابطه X / t محاسبه می‌شود که در حقیقت t فاصله زمانی از لحظه تزریق اولیه تا زمان شروع پمپاژ (بر حسب ثانیه) می‌باشد.

- روش رقیق شدن

در این روش سرعت ظاهری از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\frac{C_0}{C} \ln V_f = \left(\frac{\pi r_1}{2\alpha t} \right) \quad (3-8)$$

که در آن V_f سرعت ظاهری آب زیرزمینی یا سرعت دارسی (بر حسب متر)، r_1 شعاع داخلی ناحیه مشبک چاه (بر حسب متر) و α ضریبی است که از روابط زیر به دست می‌آید.

$$\alpha = \frac{4K_1}{K_1 \left[1 + \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right] + K_1 \left[1 - \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \right]} \quad (4-8)$$

که K_1 هدایت هیدرولیکی (بر حسب سانتی متر در روز)، r_1 قطر داخلی ناحیه مشبک چاه (بر حسب متر)، r_2 قطر خارجی ناحیه مشبک چاه (بر حسب متر) می‌باشد. اگر چاه با فیلتر گراولی تجهیز شده باشد رابطه فوق به شکل زیر تغییر می‌کند.

$$\alpha = \frac{8K_1 \cdot K_2}{K_2 \cdot A + KB} \quad \text{رابطه (5-8)}$$

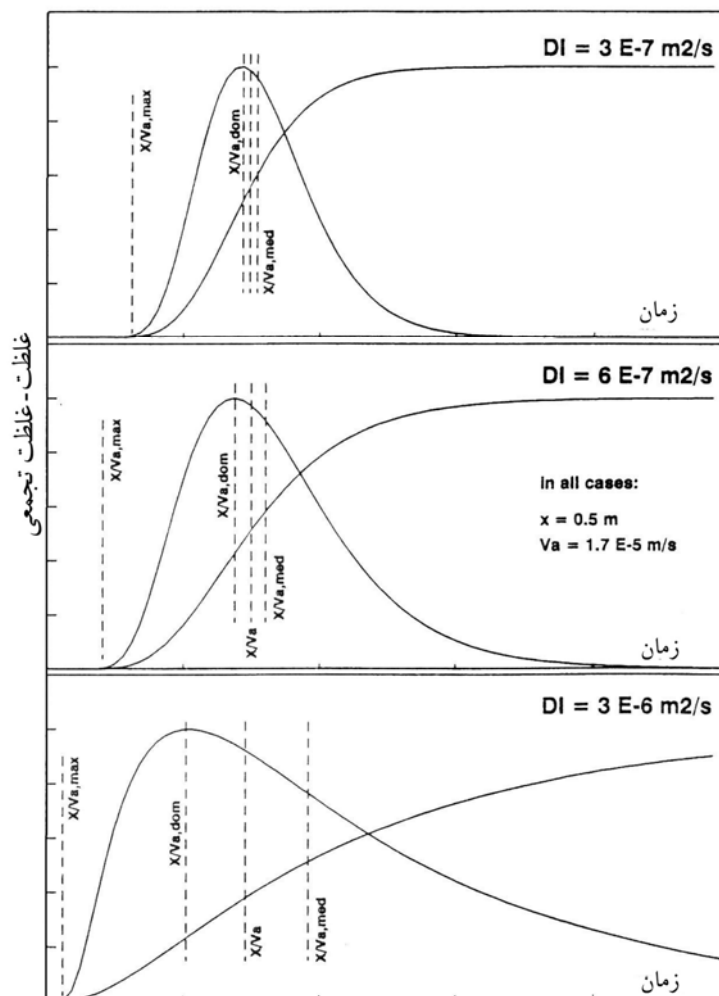
$$A = (K_1 + K_2) \left[1 + \frac{r_1^2}{r_3} \right] + (K_1 - K_2) \left[\frac{r_1^2}{r_2} + \frac{r_2^2}{r_3} \right] \quad \text{که در آن:}$$

$$B = (K_1 + K_2) \left[1 - \frac{r_1^2}{r_3} \right] + (K_1 - K_2) \left[\frac{r_1^2}{r_2} - \frac{r_2^2}{r_3} \right] \quad 9$$

K_2 هدایت هیدرولیکی توده گراول (بر حسب متر در روز) و r_3 شعاع حفاری (بر حسب متر)، C_0 غلظت ردیاب در زمان $t = 0$ و C غلظت ردیاب در زمان t (بر حسب گرم در لیتر) می باشد.

— روش چند چاهی

با توجه به شکل (۸-۱) (نمودار زمان - غلظت ماده رنگی) می توان سرعت های مختلف حرکت ردیاب در آبخوان را شامل سرعت میانگین موثر^۱، سرعت ماکزیمم^۲ و سرعت غالب^۳ به دست آورد.



شکل ۸-۱ - نمودارهای زمان - غلظت در حالت های مختلف ضریب پخشیدگی آبخوان [۲۷]

- 1- Mean Effective Flow Velocity
- 2- Maximum Flow Velocity
- 3- Dominant Velocity

۸-۱-۲-۲- محاسبه قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان

با در دست داشتن شیب هیدرولیکی آبخوان و نیز با توجه به سرعت جریان که در بالا به آن اشاره شد قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان از تقسیم سرعت بر شیب هیدرولیک به دست می‌آید.

$$K = \frac{V}{dh/dx} \quad (۶-۸)$$

که dh/dx شیب هیدرولیکی جریان می‌باشد و K قابلیت هدایت هیدرولیکی آبخوان بوده و واحد آن متر در روز می‌باشد.

۸-۱-۲-۳- محاسبه قابلیت انتقال آبخوان (ترانسمیسیویته) [۲۵]

با توجه به ضخامت اشباع آبخوان که از روش‌های مختلف ژئوفیزیکی و در مرحله مطالعات پایه معلوم می‌باشد، ضریب قابلیت انتقال آبخوان از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$T = K.b \quad (۷-۸)$$

که در آن b ضخامت اشباع آبخوان بر حسب متر و T قابلیت انتقال آبخوان بر حسب متر مربع بر روز می‌باشد.

۸-۱-۲-۴- محاسبه ضریب پخشیدگی آبخوان

با توجه به روابط زیر ضریب پخشیدگی بطریقه زیر محاسبه می‌شود:

$$I_1 = \int (C/T).dt \quad (۸-۸)$$

$$I_2 = \int C.dt \quad (۹-۸)$$

$$I_3 = \int C.T.dt \quad (۱۰-۸)$$

در این رابطه T_r متوسط زمان ماندگاری ردیاب در آبخوان می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$T_r = \int C.dt / \int (C/T).dt = I_2 / I_1 \quad (۱۱-۸)$$

که در آن C غلظت ردیاب در محل نمونه‌برداری بر حسب ppb و t زمان پس از تزریق بر حسب روز می‌باشد.

با توجه به انتگرال‌های بالا، واریانس منحنی زمان - غلظت به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$\delta^2 = (I_3 / I_1) - (I_2 / I_1)^2 \quad (۱۲-۸)$$

سرانجام ضریب پخشیدگی ردیاب بر حسب متر مربع بر روز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D = \delta^2 L^2 / 2T_r^3 \quad (۱۳-۸)$$

۸-۱-۳- محاسبه میزان بازیافت ردیاب‌های رنگی

میزان بازیافت ماده ردیاب بر حسب کیلوگرم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$M = \int C.Q.dt.10^6 \quad (۱۴-۸)$$

که در آن Q دبی چشمه بر حسب متر مکعب در روز می‌باشد.

در صورتی که دبی چشمه در طول دوره نمونه‌برداری ثابت باشد از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$M = Q \int C \cdot dt \cdot 10^6$$

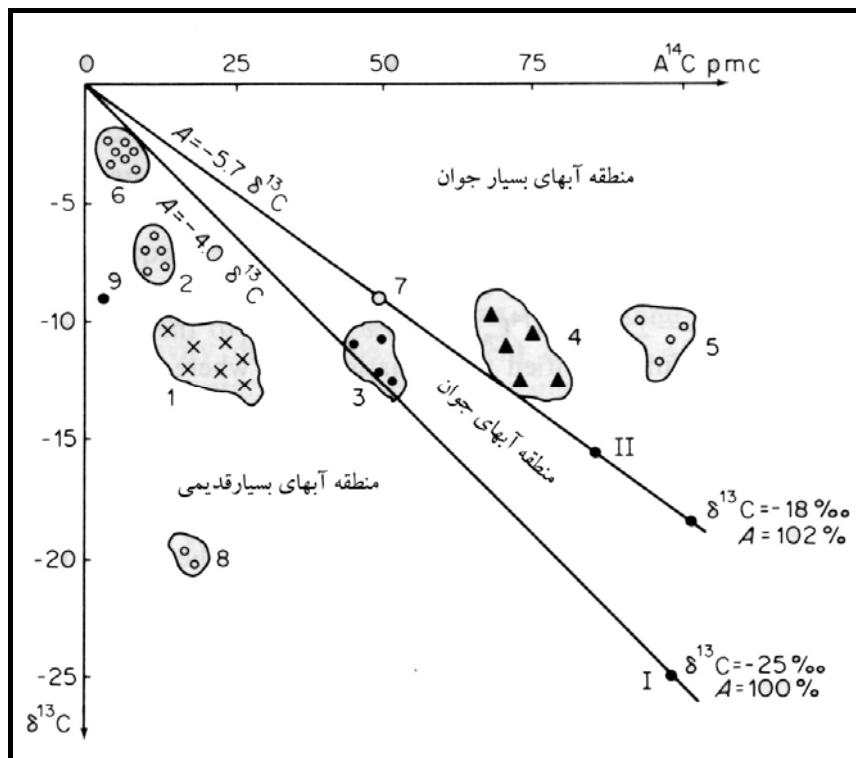
(۱۵-۸)

۸-۲- تهیه نمودارها

۸-۲-۱- نمودارهای مربوط به ایزوتوپ‌های رادیواکتیو

اهم نمودارهای مربوط به ایزوتوپ‌های رادیواکتیو که باید ترسیم شود، به شرح زیر می‌باشد:

- نمودار تغییرات تریتیوم نمونه‌ها نسبت به زمان
- نمودار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به کربن -۱۴ نمونه‌ها
- نمودار تغییرات محتوای تریتیوم نمونه‌ها نسبت به قابلیت هدایت الکتریکی
- نمودار تغییرات محتوای کربن -۱۴ نسبت به کربن -۱۳ نمونه‌ها (شکل ۸-۲)
- نمودار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به اکسیژن -۱۸ نمونه‌ها
- نمودار تغییرات محتوای تریتیوم نسبت به یون‌های مختلف (به ویژه یون کلر) در نمونه‌ها
- نمودار تغییرات سن آب کربن -۱۴ نمونه‌ها نسبت به فاصله از حوضه تغذیه



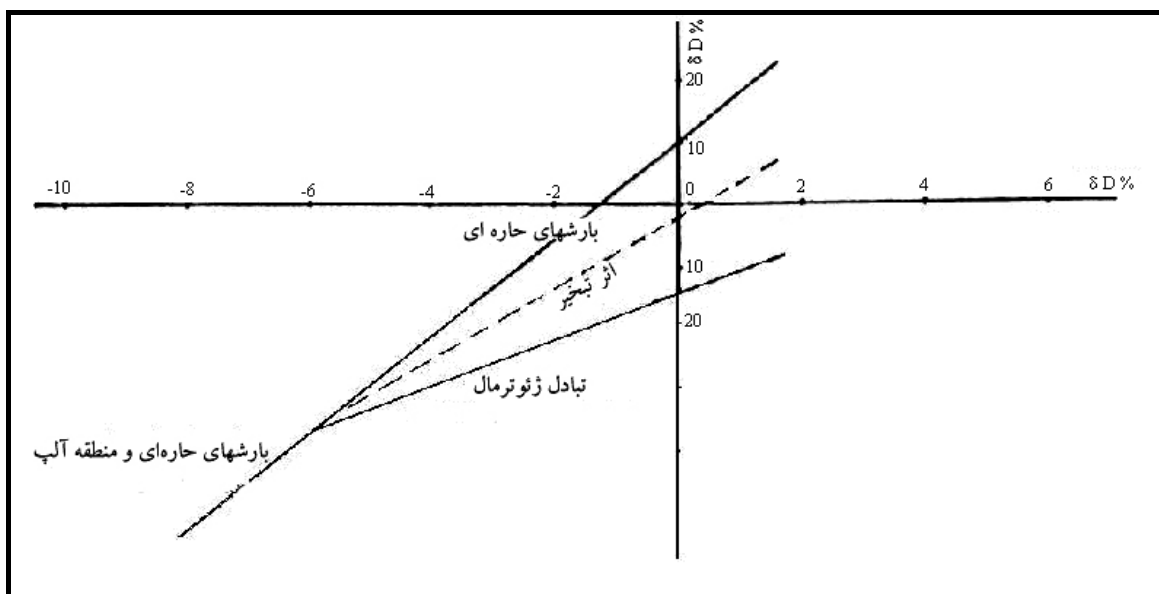
شکل ۸-۲- نمودار تغییرات کربن -۱۴ بر حسب محتوای کربن -۱۳ [۲۲]

۸-۲-۲- نمودارهای مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار (اکسیژن -۱۸، دوتریوم)

جدول سنجش‌های ایزوتوپی شامل: مشخصات نمونه‌ها، محتوای تریتیوم، کربن -۱۴، اکسیژن -۱۸، دوتریوم، کربن -۱۳، سن ظاهری، سن تصحیح شده و یون کلر تنظیم شده و نتایج سنجش‌های ایزوتوپی بر روی نقشه ارائه می‌شود. همچنین اهم نمودارهای مربوط به ایزوتوپ‌های پایدار که باید ترسیم شود، به شرح زیر می‌باشد:

خط آب جوی ناحیه مورد مطالعه با استفاده از محتوای اکسیژن -۱۸ و دوتریوم نمونه‌های آب باران (چنانچه قبلاً تهیه نشده باشد) (شکل ۸-۳).

- نمودار تغییرات محتوای اکسیژن -۱۸ و دوتریوم نمونه‌ها
- هیستوگرام یا نمودار ستونی محتوای اکسیژن -۱۸ نمونه‌های آب باران
- هیستوگرام یا نمودار ستونی محتوای اکسیژن -۱۸ نمونه‌ها
- هیستوگرام یا نمودار ستونی دوتریوم مازاد نمونه‌های باران
- نمودار تغییرات آنیون‌ها و محتوای اکسیژن -۱۸ نمونه‌ها
- نمودار تغییرات محتوای تریتیوم و اکسیژن -۱۸ نمونه‌ها
- نمودار تغییرات اکسیژن -۱۸ نسبت به ارتفاع



شکل ۸-۳- خط آب جوی [۲۳]

۸-۲-۳- نمودارهای مربوط به تجزیه کامل شیمیایی

جدول سنجش‌های کیفیت شیمیایی نمونه‌های آب باید تنظیم شود، همچنین نقشه‌های هم‌اثر پارامترهای شیمیایی فوق‌الذکر نیز بر اساس داده‌های به دست آمده تهیه شود.

اهم نمودارهای مربوط به تجزیه کامل شیمیایی که باید ترسیم شود به شرح زیر می‌باشد:

- منحنی آبنمود چشمه‌ها

– دیاگرام‌های شولر- برکالف و پایپر

۸-۲-۴- نمودارهای مربوط به ردیاب‌های رنگی

اهم نمودارهای مربوط به ردیاب‌های رنگی که باید ترسیم شود، به شرح زیر می‌باشد [۲۷]:

- منحنی غلظت رنگ بر حسب زمان (برای محل برداشت نمونه‌ها)
- منحنی آب‌نمود چشمه‌ها
- منحنی آب‌نمود جریان خروجی رنگ
- محاسبات مربوط به ردیاب‌های رنگی پس از رسم نمودارهای مربوطه به شرح زیر می‌باشد:
- محاسبه زمان ظهور ردیاب
- محاسبه سرعت ماکزیمم جریان ردیاب
- محاسبه زمان عبور غلظت ماکزیمم ردیاب
- محاسبه سرعت غالب^۱ ردیاب
- محاسبه زمان عبور ۵۰ درصد ردیاب بازیافت شده
- محاسبه سرعت میانگین^۲ ردیاب
- محاسبه جرم ماده رنگی بازیافتی با توجه به سطح زیر منحنی زمان - غلظت و دبی
- محاسبه ضریب پخشیدگی
- همچنین مسیرهای جریان به دست آمده بر روی نقشه‌های مربوط ارائه می‌شود.

1- Dominant

2- Mean Velocity

فصل ۹

عملیات صحرائی تکمیلی

۹-۱- عملیات صحرایی تکمیلی

عملیات صحرایی تکمیلی با توجه به نتایج آنالیز اولین نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه صورت می‌گیرد 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 فوق‌الذکر ممکن است، منجر به تغییر برنامه زمانی نمونه‌برداری بشود.

۹-۲- تشریح ارزیابی و تفسیر نتایج و نتیجه‌گیری نهایی در مسیر اهداف مورد نظر

ارزیابی‌ها و نتیجه‌گیری‌ها باید با توجه به اهداف پروژه مورد نظر و به شرح زیر صورت پذیرد [۲۵] [۲۱].

۹-۲-۱- ایزوتوپ‌های رادیواکتیو محیطی

۹-۲-۱-۱- کربن-۱۴

- نمونه‌هایی که اکتیویته آنها بیش از ۸۵٪ کربن-۱۴ مدرن می‌باشد، 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 می‌باشد، آب‌های قدیمی محسوب می‌شوند
- نمونه‌هایی که کربن-۱۴ آنها بین ۳۰٪ تا ۸۵٪ کربن-۱۴ مدرن می‌باشد، 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.
- کلیه منابعی که کربن-۱۴ قابل تشخیص (حداقل ۲ pmc) 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 (حداکثر ۲ pmc) باشد سن آن بیش از ۳۰۰۰۰ سال است. این طبقه‌بندی برای تشخیص آب‌های غیرفعال از نظر هیدرولوژیکی سودمند است.
- با استفاده توام از نتایج آنالیز تریتیوم و کربن-۱۴، آب‌ها را از نظر زمانی به سه گروه تقسیم می‌کنند.
- الف - آب‌هایی با مقدار کربن-۱۴ بالا و تریتیوم قابل تشخیص مربوط به بعد از سال ۱۹۵۴ می‌باشد.
- ب - آب‌هایی که تریتیوم غیر قابل تشخیص و کربن-۱۴ قابل تشخیص داشته باشند، مربوط به قبل از سال ۱۹۵۴ و جوان‌تر از ۳۰۰۰۰ سال می‌باشد که مشخصه آب‌های فعال است.
- ج - آب‌هایی که مقادیر کربن-۱۴ و تریتیوم آن غیر قابل تشخیص باشد، دارای سن بیش از ۳۰۰۰۰ سال بوده و مشخصه آب‌هایی با حرکت بطئی است.

کربن-۱۴ غیر از استفاده در تعیین سن، می‌تواند به عنوان ردیاب معمولی نیز به کار رود. به طور مثال میزان کربن-۱۴ بالا تا حدود ۸۵٪ کربن-۱۴ مدرن، نشانگر ارتباط هیدرولیکی آبخوان با آب‌های سطحی می‌باشد. گذشته از این که منابع آب منطقه بر اساس سن آنها گروه‌بندی می‌شوند، با به دست آوردن سن تصحیح شده آنها بروش C^{13} امکان مقایسه سنی منابع آبی مختلف منطقه با یکدیگر وجود خواهد داشت.

۹-۲-۱-۲- تریتیوم^۱

میانگین غلظت طبیعی تریتیوم در باران قبل از آزمایشات هسته‌ای (بسته به شرایط جغرافیایی) بین ۵-۱۰ TU بوده و بعد از آزمایشات هسته‌ای از سال ۱۹۵۲ این مقدار افزایش یافت و در سال ۱۹۶۳ به حدود ۸۰۰ TU در نیم‌کره شمالی و ۶۰ TU در نیم‌کره جنوبی رسید و پس از توقف آزمایش‌های هسته‌ای به حد کنونی رسیده است. اصطلاح «سن تریتیوم منفی» برای آب‌های زیرزمینی با مقدار خیلی کم و غیر قابل سنجش تریتیوم قبل از انفجارات هسته‌ای ۱۹۵۲ و «اصطلاح سن تریتیوم مثبت» برای آب‌های زیرزمینی با تریتیوم بالا بعد از انفجارات هسته‌ای پیشنهاد شده است.

الف- نواحی قاره‌ای

- اگر محتوای تریتیوم نمونه‌ها کم‌تر از ۰/۸ TU باشد، معرف تغذیه آبخوان قبل از سال ۱۹۵۲ می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۰/۸ ~ ۵ TU باشد، معرف مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۵ ~ ۱۵ TU باشد، معرف تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال) می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۱۵ ~ ۳۰ TU باشد، معرف تغذیه از سال ۱۹۶۳ در نمونه می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۳۰ ~ ۵۰ TU باشد، معرف آن است که سهم عمده تغذیه مربوط به اواخر دهه ۶۰ و اوایل دهه ۷۰ می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بیش‌تر از ۵۰ TU باشد، معرف آن است که تغذیه عمده از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۹ می‌باشد.

ب- نواحی ساحلی

- اگر محتوای تریتیوم نمونه‌ها کم‌تر از ۰/۸ TU باشد، معرف تغذیه آبخوان قبل از سال ۱۹۵۲ می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۰/۸ ~ ۲ TU باشد، معرف مخلوطی از تغذیه جدید و تغذیه قبل از سال ۱۹۵۲ می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۲ ~ ۸ TU باشد، معرف تغذیه جدید (بین ۵ تا ۱۰ سال) می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بین ۸-۲۰ TU باشد، معرف بقایای تریتیوم ناشی از انفجارات هسته‌ای می‌باشد.
- اگر محتوای تریتیوم نمونه بیش‌تر از ۲۰ TU باشد، معرف سهم قابل ملاحظه‌ای از تغذیه مربوط به سال‌های ۱۹۶۰ یا ۱۹۷۰ می‌باشد.

ارقام تفاسیر مربوط به تریتیوم بر اساس سنجش‌های سال ۱۹۹۶ می‌باشد.

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

۹-۲-۲- ایزوتوپ‌های پایدار (O^{18}, C^{13}, H^2)

الف - کربن-۱۳

با استفاده از نمودار تغییرات کربن-۱۴ مدرن بر حسب کربن-۱۳ می‌توان با داشتن مقادیر محتوای کربن-۱۴ و کربن-۱۳ نمونه‌ها، آب‌ها را به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

- آب‌های خیلی جوان، بعد از انفجارات هسته‌ای در جو
- آب‌های مدرن
- آب‌های قدیمی

همچنین با استفاده از محتوای کربن-۱۳ و کربن-۱۴ نمونه‌ها می‌توان سن ظاهری حاصل از کربن-۱۴ نمونه‌ها را تصحیح نمود.

ب- اکسیژن-۱۸ و دوتریوم

با استفاده از خط آب جوی ناحیه 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 شده‌اند
 - آب‌های ژئوترمال (یا با تبادل ژئوترمال)
 - تغذیه آب از نواحی سرد
 - تغذیه آب از نواحی گرم
 - تشخیص حوضه‌های بسته
 - ارتباط منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با یکدیگر
 - ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌ها با یکدیگر
 - تعیین ترکیب ایزوتوپی آب باران تغذیه کننده، منطقه مورد مطالعه (محل تقاطع خط آب جوی منطقه با خط آب نمونه)
 - تعیین اثرات قاره‌ای^۱، 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 مولفه آب شور در آب زیرزمینی با توجه به میزان اکسیژن-۱۸
 - سن یابی آب‌های زیرزمینی خیلی عمیق با استفاده از تغییرات اکسیژن-۱۸ و محتوای کربن-۱۴ نمونه‌ها
- در نمودارهای تغییرات محتوای اکسیژن-۱۸ نسبت به دوتریوم، آب زیرزمینی مسن عموماً زیر خط آب جوی قرار می‌گیرد.

۹-۲-۳- یون‌ها و نمک‌های معدنی

با توجه به نتایج به دست آمده از تجزیه کامل شیمیایی نمونه آب‌ها و محاسبات مربوطه 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 تأثیرپذیری آب زیرزمینی از سازندهای در بر گیرنده آن و مسیر جریان
- تعیین تیپ منابع آبی مختلف منطقه بر اساس کیفیت شیمیایی و تعیین ارتباط هیدرولیکی بین منابع آب سطحی و زیرزمینی
- تعیین سرحد آب‌های شور در آبخوان‌های ساحلی
- تعیین منشأ آلاینده‌های شیمیایی آبخوان و پراکندگی آن
- ارتباط شیرابه زباله‌های شهری با آب‌های زیرزمینی

۹-۲-۴- ردیاب‌های رنگی

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز اسپکتروفلئوریمتری نمونه‌ها و محاسبات و رسم دیاگرام‌های مربوطه می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

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 آبرگیر آن
- تعیین و تفسیر میزان رنگ بازیافت نشده
- مقایسه سرعت جریان آب زیرزمینی با سرعت‌های به دست آمده در دیگر مناطق
- مقایسه نمودارهای آبنمود چشمه‌ها، بارش نمود^۱ و منحنی‌های زمان - غلظت و تفسیر آنها
- تعیین منطقه حفاظتی چاه‌های آب آشامیدنی
- متوسط زمان تاخیر
- تخلخل مفید
- قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی

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 تخلل و نوع دانه‌بندی با توجه به شکل منحنی زمان - غلظت و سرعت جریان آب زیرزمینی
- تعبیر و تفسیر مقایسه‌ای ضریب پخشیدگی ردیاب 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
- ارتباط شیرابه زباله شهری با آب‌های زیرزمینی

۹-۳- تهیه گزارش

گزارش نهایی هر پروژه ردیابی باید شامل مطالب زیر باشد:

- پیشگفتار
 - لیست افراد شرکت کننده و تخصص آنها در مطالعات ردیابی
- فصل اول (کلیات)
 - مقدمه
 - هدف
 - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
 - مروری بر ادبیات فنی و خلاصه ای از مطالعات ردیابی قبلی در منطقه
 - زمین‌شناسی کلی منطقه مورد مطالعه (چینه شناسی، زمین ساخت، زمین‌شناسی ساختمانی، زمین ریخت شناسی، زمین‌شناسی مهندسی)
 - هیدروکلیماتولوژی (هواشناسی، منابع آب سطحی)
 - هیدروژئولوژی (سطح آب زیرزمینی، مناطق تغذیه و تخلیه، مسیر عمومی جریان، موقعیت چشمه‌ها- گمانه‌ها- چاه‌ها، ژئوفیزیک و حفاری)
- فصل دوم (روش اجرا)
 - خلاصه‌ای از بررسی‌های اولیه صحرائی
 - انتخاب روش ردیابی
 - انتخاب ردیاب (ردیاب‌ها)
 - انتخاب نقاط نمونه‌برداری و تزریق
 - تشریح روش ردیابی و مراحل اجرا کار میدانی (صحرائی)
 - ارائه روش‌ها و نتایج آزمایشگاه
- فصل سوم (تجزیه و تحلیل داده‌ها)
 - رسم دیاگرام‌ها، گراف‌ها، نقشه‌ها و ارائه محاسبات

- تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده
 - فصل چهارم (نتیجه‌گیری)
 - نتیجه‌گیری از داده‌ها
 - پیشنهادها
 - پیوست‌ها
 - منابع و مآخذ

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 رفتار سنجی کیفی آب‌های زیرزمینی نشریه شماره ۱۸۷ ۱۳۷۸
- ۷- عزیزبیلگو، فرهاد، مدنژاد، مهرافرز، 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، پاکزاد، مرتضی، 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 Wiley & 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 1998, Document code RIALHYI04.02.002 IAEA's laboratories at seibersdorf and vienna, Quality Assurance System Instructions
- 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 For Application of Groundwater Tracing Methods in Alluvial Aquifers Studies

No.552

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>

2011

این نشریه

ردیابی 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 ردیابی، فراهم آوردن امکان دسترسی مستقیم به داخل سیستم آب‌زیرزمینی است. از جمله کاربردهای اصلی روش‌های ردیابی 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 آبدهی جریان‌های سطحی، مطالعات فرار آب در سدها، تعیین مرزهای آبخوان، بررسی نقش ساختارهای تکتونیکی در جریان آب‌های زیرزمینی و ... اشاره نمود.