

بسمه تعالی

دستورالعمل و راهنمای انجام آزمایشات

ردیابی در کارست و سازندهای سخت

تهیه: کمیته کارست و سازندهای سخت



وزارت نیرو
 موسسه تحقیقات آب
کتابخانه و مرکز اسناد
 شماره ثبت: ۴۵۱۷
 تاریخ ثبت: ۱۳/۱۰/۹

شهریور ماه ۱۳۷۵

کد: ۴۲۰-۲۷۹-۹۸۴

فهرست مندرجات

<u>صفحه</u>	<u>موضوع</u>
-	پیشگفتار
۱	۱- مقدمه
۱	۲- تعریف ردیابی
۱	۳- اهداف ردیابی
۲	۴- تعریف ردیابها
۲	۵- اقسام ردیابها
۵	۶- جایگاه ردیابی در سلسله مراتب مطالعات
۵	۷- نحوه مطالعه ردیابی با روش های مختلف
۱۰	۸- وسائل مورد نیاز ردیابی
۱۱	۹- احتیاط های لازم
۱۱	۱۰- مؤسسات معروف انجام دهنده آزمایش های ردیابی

بسمه تعالی

پیشگفتار:

نظر به اهمیت منابع آب کارست و سازندهای سخت و متدهای مختلفی که در شناخت پتانسیل های آبی آنها بکار گرفته می شود و با توجه به محدودیت منابع آب و شناخت منابع موجود و بمنظور بهره برداری بهینه از آنها و در جهت تعیین خط و مشی کلی و روش های شناخت این منابع ارزشمند از سال ۱۳۶۶ اقدام به تشکیل کمیته ای تحت عنوان کارست و سازندهای سخت متشکل از متخصصین خیره صنعت آب و اساتید دانشگاهها گردید که تاکنون تهیه و تدوین دستورالعمل های متعددی در این مورد حاصل فعالیت های آن بوده است دستورالعمل و راهنمای حاضر تحت عنوان دستورالعمل و راهنمایی انجام آزمایشات ردیابی در کارست و سازندهای سخت نیز یکی دیگر از دستاوردهای این کمیته فنی میباشد. که امید است مورد استفاده دست اندرکاران این مطالعات قرار گیرد.

در خاتمه از کلیه اعضاء کمیته کارست و سازندهای سخت آقایان وحید آغاسی - فرهاد اسفندیاری - عباس افشارحرب - غلامعلی خلخالی - محسن داودی - محمدرضا سپهر - فریدون سبحانی - حمید غفاری پور که در تهیه و تدوین این دستورالعمل همت گماشته اند صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و از خداوند متعال توفیق آنان را در جهت پیشبرد اهداف و خدمت به کشور جمهوری اسلامی ایران مسئلت می نماید.

ناصر رستم افشار

مدیر عامل

بسمه تعالی

راهنمای آزمایش‌های ردیابی در کارست و سازندهای سخت

۱ - مقدمه:

ردیابی یکی از روش‌های اکتشافی است که در مطالعات منابع آب و کارهای ژئوتکنیکی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در برنامه سیستماتیک مطالعات فوق، پس از مطالعات و بررسی‌هایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژی، هیدروژئولوژی، هیدروشیمی، ژئوفیزیک و در صورت لزوم حفاری و چاه‌نگاری چنانچه هنوز نکات مبهمی باقی مانده باشد، بررسی‌های ردیابی می‌تواند مفید واقع گردد. بعبارت دیگر ضرورت انجام بررسی‌های ردیابی را مطالعات قبلی تعیین می‌نماید.

باید توجه داشت اگر عملیات ردیابی طبق دستورالعمل و با رعایت احتیاط‌های لازم انجام نگیرد نه تنها مفید نمی‌باشد بلکه گمراه‌کننده نیز خواهد بود.

۲ - تعریف ردیابی:

ردیابی شامل عملیاتی است که به کمک ردیابها و بمنظور نیل به اهداف ردیابی انجام می‌شود.

۳ - اهداف ردیابی:

بررسی‌های ردیابی به منظور نیل به اهداف کیفی و یا کمی بشرح زیر انجام می‌گیرد:

۳ - ۱ - اهداف کیفی:

- تعیین منشأ آب.
- تعیین محل ورودی آب (محل تغذیه).
- تعیین محل خروجی آب (محل تخلیه).

- تعیین جهت و مسیر جریان آب زیرزمینی.
- تعیین منشأ آلودگی آب زیرزمینی.
- تعیین محل نشت و تراوش آب (Seepage , Leakage).
- تشخیص غار و فضاهاى بزرگ موجود در مسیر جریان آب زیرزمینی.
- تشخیص نوع جریان آب زیرزمینی (افشان یا مجرائی).
- تشخیص درجه کارستی شدن.

۳-۲ - اهداف کمی:

- تعیین سرعت جریان آبهای زیرزمینی.
 - تعیین سهم ورودی یا ورودی‌ها در حجم آب خروجی یا خروجی‌ها.
 - تعیین سن آبها.
- ضمناً ردیابها بخصوص ردیابهای رنگی، در اندازه‌گیری دبی (بده) جریان‌های سطحی نیز کاربرد دارند.

۴ - تعریف ردیابها:

به کلیه مواد طبیعی قابل تشخیص موجود در آب و یا مواد افزوده شده به آب یا محیط برای نیل به اهداف فوق‌الذکر ردیاب گفته می‌شود.

۵ - اقسام ردیابها:

ردیابها بسیار متنوع هستند ولی متداول‌ترین آنها بشرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۵-۱ - ردیاب‌های طبیعی:

۵-۱-۱ - ایزوتوپها و رادیو ایزوتوپهای محیطی: ایزوتوپ به عناصری اطلاق می‌شود که دارای خواص فیزیکی و شیمیایی و عدد اتمی مشابه بوده ولی از نظر جرم اتمی با همدیگر تفاوت دارند. تعداد ایزوتوپهای موجود برای هر عنصر متفاوت است. به عنوان مثال، هیدروژن با سه ایزوتوپ، کربن با پنج ایزوتوپ و اکسیژن با چهار ایزوتوپ مشخص می‌باشند. ایزوتوپ‌هایی که دارای خاصیت رادیواکتیویته هستند به نام ایزوتوپهای

راديو اکتيو يا راديو ايزوتوپها، و آن دسته از ايزوتوپها که فاقد خاصيت راديو اکتيو يته می باشند به ايزوتوپهای پايدار موسومند. راديو ايزوتوپها به دو صورت طبيعي (موجود در طبيعت) و مصنوعي (توليد ناشی از فعاليتهاي انسان) وجود دارند.

دسته ای از ايزوتوپهای راديو اکتيو و پايدار به دليل اينکه به طور طبيعي وارد سيکل هيدرو لوزی می شوند و نسبت ترکيبشان به مرور زمان در محيط تغيير می کند به ايزوتوپها و راديو ايزوتوپهای محيطی موسومند و به عنوان رد ياب طبيعي در تحقيقات آب مورد استفاده قرار می گيرند که عبارتند از راديو ايزوتوپهای هيدروژن يا تري تيوم (^3_1H) و کربن ۱۴ ($^{14}_6\text{C}$) و ايزوتوپهای پايدار اکسيژن ۱۸ ($^{18}_8\text{O}$) و دوتريوم (^2_1H) و کربن ۱۳ ($^{13}_6\text{C}$).

بعضی از ايزوتوپها و راديو ايزوتوپهای محيطی نظير دتريوم (D) و تري تيوم (T) و اکسيژن ۱۸ (O^{18}) با درجه غلظت خبلی کم در آبهای طبيعي يافت می شوند. ايزوتوپها و راديو ايزوتوپهای محيطی بطور موثري جهت حل مسائل مهم هيدروژنولوژيکی ناحیه ای به کار می روند. مقدار ايزوتوپها در محيط تابع تغييرات جوی و ناحیه ای است به اين ترتيب که درصد يا نسبت عناصر ايزوتوپي مورد بحث در آبهای باران بيش از آبهای سطحی و بمراتب بيش از آبهای زیر زمینی بوده و بتدریج نسبت اين عناصر کاهش می يابد. بطور کلی هر اندازه مقدار ايزوتوپهای محيطی در نمونه آبهای برداشت شده بيشتر باشد دليل بر جوان تر بودن آن آبها می باشد.

۵ - ۱ - ۲ - رد يابهای ميکروارگانیک: اين رد يابها شامل موجودات زنده ميکروسکوپي موجود در محيط می باشد. نظير باکتریهای دی سولفو و بيريو.

۵ - ۲ - رد يابهای افزودنی (Addetives)

انواع رد يابهای افزودنی بشرح زیر می باشند:

۵ - ۲ - ۱ - رد يابهای رنگی:

- فلئورسئين سدیم يا اورانين (سبز رنگ). ($\text{C}_{20}, \text{H}_{10}\text{O}_5, \text{Na}_2$) (Sodium Fluorescein)
(Uranin.)

- (Rhodamin . WT.) (C₂₀ ، H₆ Br₄ O₅ Na₂) - رودامین WT (قرمز رنگ).
- (Eocin.) (C₂₀ H₆ Br₄ O₅ Na₂) - ائوسین (نارنجی رنگ).
- (Doicin.) - دواسین . (فرمول ملکولی آن مشخص نیست)
- (Fuksin.) - فوکسین.
- (Eritrizon.) - ارتریزون (قرمز کنگو).

۵-۲-۲ - ردیاب‌های جامد:

- پودر یونولیت.
- خاک اره.
- هاگ‌ها.
- کاه.
- دانه گرده گیاهان.

۵-۲-۳ - نمک‌های معدنی:

- نمک طعام.
- کلرور کلسیم.
- کلرور پتاسیم.
- کلرور لیتیم.

۵-۲-۴ - ردیاب‌های دودی و گازی

ویژگی‌های ردیاب‌های افزودنی:

اهم ویژگی‌های ردیاب‌های افزودنی بطور اختصار عبارتند از:

- پایداری شیمیایی.
- بی‌خطر بودن برای محیط زیست.
- عدم جذب در سازند.
- ترکیب نشدن با آب و یا سازند.

- امکان استفاده توام از ردیاب‌های مختلف.
- بی اثر بودن تغییرات یونی در آنها.
- قابل تشخیص بودن بمقدار کم و با دقت زیاد.

۶- جایگاه ردیابی در سلسله مراتب مطالعات:

مطالعات ردیابی هنگامی در مناطق کارستی و سازند سخت انجام می‌شود که مطالعات زیر قبلاً در منطقه مورد نظر انجام گرفته باشد و علی‌رغم انجام آنها جهت روشن شدن بعضی ابهامات نیاز به بررسی‌های ردیابی تشخیص داده شود.

- بررسی‌های زمین شناسی.
 - بررسی‌های هیدروژئولوژی با تأکید بر هیدروشیمی.
 - بررسی‌های هیدرولوژی.
 - بررسی‌های ژئوفیزیکی.
 - عملیات حفاری اکتشافی و چاه نگاری.
- بعبارت دیگر با انجام بررسی‌های فوق‌الذکر مسائل مطروحه را در منطقه مورد بررسی محدودتر نموده و سپس برای روشن نمودن مسائل مبهم از ردیاب استفاده می‌کنیم. این عمل باعث صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها خواهد گردید. بهمین جهت ردیابی از جمله روش‌های اکتشافی است که در مراحل پایانی مطالعات منابع آب و ژئوتکنیک بکار گرفته می‌شود.
- در ردیابی ابتدا از ایزوتوپهای محیطی و سپس از ردیاب‌های غیر رنگی و در نهایت از ردیاب‌های رنگی استفاده می‌گردد.

۷- نحوه مطالعه ردیابی با روش‌های مختلف:

۷-۱- روش کار با ایزوتوپ‌های محیطی:

۷-۱-۱- تریتیوم (T) یا هیدروژن سه (H^3):

تریتیوم یک ایزوتوپ رادیواکتیو هیدروژن می‌باشد که دارای نیمه عمر ۱۲/۳ سال است و از طریق انتشار

اشعه بتا با انرژی پائین مشخص می‌گردد. تریتیوم تحت شرایط طبیعی و غلظت کم تحت تاثیر اشعه کیهانی تولید می‌شود. از سال ۱۹۵۲ که آزمایشهای هسته‌ای در جهان شروع شد و منجر به غنی شدن آب‌ها از تریتیوم گردید، استفاده از تریتیوم در ردیابی معمول گشته است.

مقدار تریتیوم موجود در منابع آب متناسب با مقدار بارندگی است. تریتیوم در محاسبه میانگین سن آبهای زیرزمینی در نواحی مختلف به کار می‌رود، بطوری که مقدار تریتیوم در آب زیرزمینی با مقدار آن در آب باران توسط یک روش ساده قابل مقایسه می‌باشد. بطور کلی میزان زیاد تریتیوم در نمونه‌آبهای زیرزمینی نشان می‌دهد که آب زیرزمینی جدید است و چنانچه مقدار تریتیوم کمتر از ۵ T.U باشد (*) نشان می‌دهد که هم آبهای زیرزمینی قدیمی (آبهای زیرزمینی قبل از سال ۱۹۵۲) و هم آبهای جوان در تغذیه آبخوان مشارکت دارند.

در اعماق مخازن کارستی مقدار تریتیوم بسیار جزئی است و این بدان معنی است که عمر آب بیش از ۵۰ سال می‌باشد.

۷-۱-۲- کربن ۱۴ (C^{14}):

کربن ۱۴، ایزوتوپ سنگین و رادیواکتیو کربن است و کاملاً همانند کربن معمولی (C^{12}) در فعل و انفعالات شیمیایی وارد می‌گردد. این رادیوایزوتوپ با پرتو دهی بتا (β) تجزیه شده و به ازت (N) تبدیل می‌شود. نیمه عمر آن ۷۵۳۰ سال است. کربن ۱۴ در جو ازت ۱۴ که یک پروتون از دست می‌دهد تولید می‌شود، کربن پس از ترکیب شدن با اکسیژن به گاز کربنیک تبدیل می‌گردد که با کربن ۱۲ موجود در موجودات آلی نسبت ثابتی را در جو تشکیل می‌دهد، سپس بر اثر بارندگی و رسیدن به زمین وارد چرخه طبیعت شده و وارد ارگانسیم‌های حیوانی و گیاهی می‌گردد و پس از مردن این ارگانسیم‌ها بر اثر تجزیه شدن بدن آنها مجدداً به چرخه طبیعت برمی‌گردد. با توجه به اندازه‌گیری نسبت کربن ۱۴ به کربن ۱۲ در بقایای موجودات آلی، زمان طی شده را می‌توان تعیین نمود. کربن ۱۴ در طبقات بالای جو بر اثر فعل و انفعالات هسته‌ای نیز ایجاد گردیده و بلافاصله تبدیل به گاز کربنیک شده و وارد چرخه هیدرولوژی می‌گردد. همانطور که اشاره گردید اندازه‌گیری کربن ۱۴

(*) - (T.U) غلظت یک اتم از هیدروژن سنگین (H^3) در برابر هر 10^{18} اتم هیدروژن (H^1) و برابر با $3/2 \times 10^{-3}$ میکرو میکرو کوری در هر میلی لیتر است.

می تواند جهت تعیین سن آبهای زیرزمینی به کار رود. روش کربن ۱۴ جهت تعیین سن آبهای زیرزمینی جوان تر از ۳۰/۰۰۰ سال به کار می رود. این روش جهت مطالعه حرکت آب در آبخوان های تحت فشار نیز کاربرد دارد. سنجش کربن ۱۴ در نمونه آبها معمولاً به روش گازی صورت می گیرد.

۷-۱-۳- اکسیژن ۱۸ (O^{18}):

ایزوتوپ پایدار و طبیعی اکسیژن ۱۸ در اقیانوس ها با غلظتی در حدود ۲۰۰۰ (PPM) وجود دارد. اکسیژن ۱۸ بصورت ($H_2 O^{18}$) می باشد و تغییرات این نسبت ها با دستگاه طیف سنج جرمی (Mass Spectrometry) اندازه گیری می شود. نسبت اکسیژن ۱۸ به اکسیژن ۱۶ با علامت δ نشان داده می شود. دقت اندازه گیری اکسیژن ۱۸ حدود $\pm 0/2$ درصد می باشد.

از آنجائیکه ترکیب ایزوتوپ پایدار اکسیژن ۱۸ آبها وابسته به زمان نبوده، یعنی در اثر مرور زمان کم نمی شود، می توان در مواردی که تغییرات فصلی تحت شرایط مساعدی بر آن اثر گذاشته باشد، براساس مقدار آن به زمان تغذیه آب زیرزمینی پی برده و مدت زمانی را که آب زیرزمینی درون سفره بسر برده است بدست آورد.

۷-۲- ردیاب های میکروارگانیک:

بعضی از موجودات زنده میکروسکوپی که در مسیر جریان آبهای زیرزمینی حرکت می کنند می توانند بعنوان نوعی ردیاب مورد استفاده قرار گیرند.

۷-۳- ردیاب های افزودنی:

موادی هستند که در محیط بطور طبیعی وجود ندارند و بمنظور بررسی اکتشافی مقداری از آنها به محیط اضافه می گردد. دسته ای از آنها ردیابهای رنگی هستند که برعکس ایزوتوپ های محیطی در محدوده کوچک و برای فواصل نزدیک (حداکثر ده کیلومتر) به کار می روند. اهم ردیاب های مصنوعی عبارتند از: ردیاب های رنگی، ردیاب های جامد، نمکهای معدنی و ردیابهای دودی و گازی.

ذیلاً بطور اختصار به شرح روش کار با هریک از ردیابهای فوق می پردازیم:

۷-۳-۱ - روش کار با استفاده از ردیابهای رنگی:

الف - برای اهداف کیفی: برای تعیین مسیر و سرعت جریان آب زیرزمینی در یک نقطه مقداری محلول مواد رنگی تزریق می شود و در فاصله مشخصی از آن در مظهر چشمه یا چاه دیگر یا مظهر قنات و نظایر آن نمونه برداری می شود. برای این منظور مقداری از ماده رنگی با غلظت مناسب (در حدود ۵۰ گرم در لیتر) تهیه می گردد و حجم مورد لزوم با توجه به وسعت و جنس سازندهای زمین شناسی و فاصله نقطه تزریق تا نقاط نمونه گیری و دبی جریان متفاوت بوده و بعنوان مثال برای فاصله ورودی و خروجی معادل ۵ کیلومتر و دبی جریان حدود ۱۰ متر مکعب در ثانیه مقدار ماده رنگی مورد لزوم برای هر محل تزریق حدود ۱۰ کیلوگرم در ۲۰۰ لیتر (ده کیلوگرم در یک بشکه ۲۰۰ لیتری) می باشد و یا حسب نظر (Drew and Smith 1969) برای مسیر آب زیرزمینی یک کیلومتر و دبی ۰/۱۵ متر مکعب در ثانیه، مقدار ماده رنگی مورد نیاز ۶۰ گرم می باشد. برای هر یک از نقاط نمونه برداری، منحنی غلظت ماده رنگی در نمونه آبهای برداشت شده برحسب زمان رسیدن ماده رنگی از نقطه تزریق به نقطه نمونه برداری ترسیم می شود و مورد تعبیر و تفسیر قرار می گیرد (شکل های ۲ و ۳ و ۴ و ۵).

ب - برای اهداف کمی: در بررسی کمی معمولاً برای اندازه گیری دبی و سرعت جریانهای سطحی و زیرزمینی اعم از چشمه یا رودخانه و یا فرار آب و نظایر آن از مواد رنگی استفاده می شود. بدینمعنی در یک نقطه مقداری محلول مواد رنگی تزریق می شود و در مظهر چشمه و یا چاه دیگر یا مظهر قنات نمونه برداری می شود. در صورتی که در نمونه های برداشت شده مواد رنگی تشخیص داده شود با توجه به زمان رسیدن ماده رنگی به نقطه نمونه برداری و فاصله آن تا نقطه تزریق سرعت تقریبی جریان آب زیرزمینی معین می گردد.

۷-۳-۲ - ردیابهای جامد:

ردیابهای جامد متداول عبارتند از پودر یونولیت - خاک اره - کاه - گرده گیاهان و هاگ ها و مواد نظیر آن. این ردیابها معمولاً به لحاظ سبک بودنشان در روی آب بصورت معلق قرار می گیرند و بهمین جهت برای

ردیاب رنگی با غلظت 10 mg/lit با چشم غیر مسلح مرئی است و با کمک دستگاه، غلظت تا 0.02 mg/m^3 قابل تشخیص می باشد.

مشخص نمودن منطقه فرار آب از دریاچه سدها و یا مخازن بکار می‌روند. به این ترتیب که مقداری از مواد فوق‌الذکر را در سطح مخزن یا دریاچه می‌باشند و پس از مدتی این مواد بطرف منطقه فرار آب می‌روند و یا از نقاط ورودی عبور نموده و در نقاط خروجی ظاهر می‌شوند. باین ترتیب محل ورودی، مسیر و محل خروجی آب مشخص می‌گردد.

۷-۳-۳- نمکهای معدنی:

متداول‌ترین نمکهای غیر آلی (معدنی) که در ردیابی بکار می‌روند عبارتند از:
نمک طعام (NaCl)، کلرور پتاسیم (KCl)، کلرور کلسیم ($CaCl_2$) و کلرور لیتیم (LiCl).
طرز عمل باین ترتیب است که بر حسب مقدار جریان آب زیرزمینی و سرعت آن مقدار متناسب از یکی از نمکهای معدنی فوق در یک چاه یا منبع آب ریخته شده و در چاه دیگر یا چشمه و نظایر آن نمونه برداری می‌شود. نمونه‌های برداشت شده مورد تجزیه شیمیائی کامل قرار می‌گیرد و با نتیجه تجزیه شیمیائی نمونه آبی که قبل از ریختن نمکهای معدنی بعمل آمده مقایسه گردیده و باین ترتیب رسیدن یا عدم رسیدن نمک معدنی تزریق شده به چاه دوم و یا چشمه و نظایر آن مشخص می‌گردد و براساس آن مسیر کلی جریان آب زیرزمینی و سرعت نسبی آن مشخص می‌شود.

نظر باینکه نمکهای معدنی و ردیابهای رنگی در اندازه‌گیری دبی آبهای سطحی نیز کاربرد دارند لذا اختصاراً نحوه کار تشریح می‌گردد:

الف - اندازه‌گیری سرعت و دبی جریان آب سطحی با نمک طعام:

در این روش مقداری نمک طعام که به صورت محلول تهیه شده باشد در نقطه‌ای از رودخانه به داخل آب ریخته می‌شود. نمک با آب مخلوط شده و با سرعتی معادل سرعت متوسط حرکت آب به جلو می‌رود. اگر در نقطه‌ای در پائین دست هدایت الکتریکی آب مرتب اندازه‌گیری شود، مشاهده خواهد شد که پس از رسیدن نمک به آن نقطه هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد و سپس با گذشتن نمک از آن نقطه دوباره کاهش پیدا می‌کند. از روی جداول مربوط به هدایت مخصوص الکتریکی، سرعت و همچنین دبی جریان در نقطه اندازه‌گیری مشخص می‌شود.

ب - اندازه‌گیری سرعت و دبی جریان آب سطحی با ردیاب‌های رنگی:
این روش اساساً مشابه با روش استفاده از نمک طعام می‌باشد با این تفاوت که هزینه انجام آن بیشتر و در ضمن دقت عمل نیز بالاتر است.
در نقطه‌ای از مسیر جریان آب مقداری ماده رنگی به آب اضافه می‌شود و در نقطه‌ای در پائین دست در فاصله‌ای که ماده رنگی خوب با آب مخلوط شود نمونه برداری شده و غلظت ماده رنگی در آب اندازه‌گیری می‌شود و سپس از روی جداول مربوط به غلظت ماده رنگی در نقاط تزریق و نقاط نمونه برداری. سرعت جریان و همچنین دبی در نقطه اندازه‌گیری مشخص می‌گردد.

۷- ۳- ۴ - ردیابهای دودی و گازی:

ردیاب‌های دودی و گازی معمولاً برای شناسایی محل ورودی و خروجی غارها و مغاره‌ها و افق تهویه بکار می‌رود ولی نمی‌توان آنرا روش واقع‌بینانه با مفهوم کلاسیک از این واژه تصور نمود.
روش کار باین ترتیب است که مقداری مواد دودزا، نظیر لاستیک و یا فضولات حیوانی در مدخل غار یا مغاره و یا افق تهویه سوزانده می‌شود و دود با گردش طبیعی و یا مصنوعی هوا با جریان هوا داخل آنها شده و چون این دود سبک‌تر از هوا است بسطح زمین راه یافته و باین ترتیب مجاری و خروجی‌ها مشخص می‌شوند.

۸- وسایل مورد نیاز ردیابی:

به منظور آگاهی از ابزار و وسایل مورد نیاز برای انجام آزمایش ردیابی با مواد رنگی، حداقل وسایل مورد نیاز برای آن بشرح زیر می‌باشد:

- بشکه ۲۰۰ لیتری ۲ عدد برای رقیق کردن مواد رنگی.
- لوله پلاستیکی به قطر ۲ اینچ و بطول ۱۵۰ متر، برای ریختن ماده رنگی در سطح آب زیرزمینی مورد نظر.
- ظروف نمونه برداری نیم‌لیتری به تعداد نمونه‌های مورد نیاز (یکبار مصرف).
- لوله آزمایشگاهی به تعداد آزمایش مواد رنگی مورد نظر (یکبار مصرف).
- نمونه بردار اتوماتیک در جاهای صعب الوصول.
- دستگاه آشکار ساز (فلورومتر - اسپکترومتر).



- کیسه‌های کربن فعال شده به تعداد کافی، جهت نصب در اعماق مختلف چاه نمونه‌گیری و یا چشمه‌ها و نظایر آن بمنظور آگاهی از رسیدن ماده رنگی بمحل نصب کیسه ذغال.
- کامپیوتر در صورت امکان.
- در صورتی که نقطه تزریق مستغرق در آب باشد باید از قایق و وسائل تزریق خاصی استفاده شود (شکل شماره ۱).

۹- احتیاط‌های لازم:

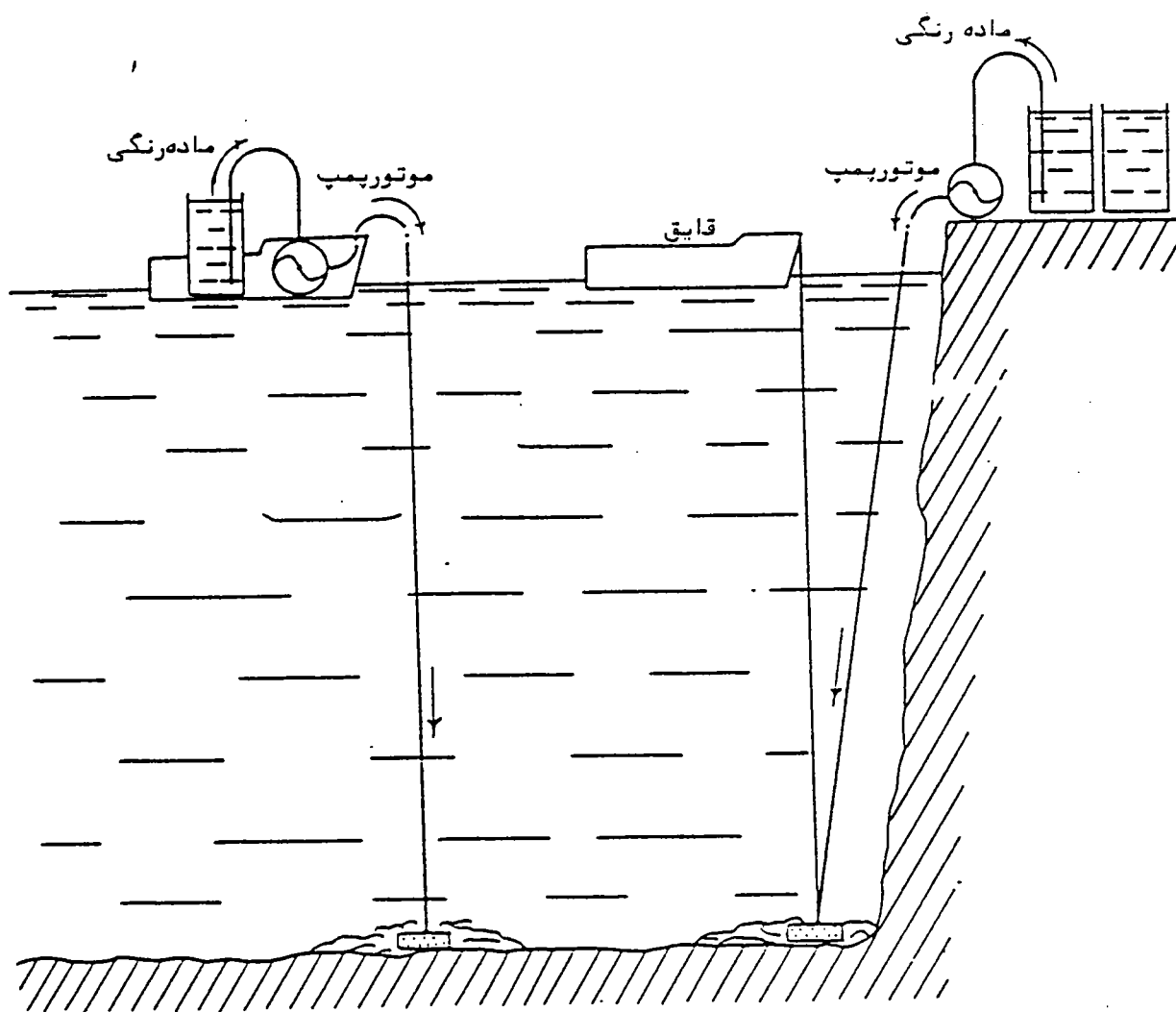
- اهم احتیاط‌های لازم در بررسی‌های ردیابی به اختصار بشرح زیر می‌باشد:
- اکیپ تهیه‌کننده و تزریق‌کننده مواد ردیاب باید مستقل از گروه نمونه‌بردار و آزمایش‌کننده باشد.
- مواد ردیاب رنگی باید ابتدا در آب حل شده و سپس تزریق گردد.
- از لوله‌های آزمایشگاهی و ظروف نمونه‌بردار فقط یک‌بار استفاده شود.
- مواد ردیاب بطور آهسته بوسیله لوله پلاستیکی در نقطه تزریق تخلیه شود.
- وسائل و ظروف مورد استفاده در رقیق کردن و تزریق مواد باید از وسائل نمونه‌برداری و آزمایشگاهی مجزا باشد.

۱۰- موسسات معروف انجام دهنده آزمایشات ردیابی:

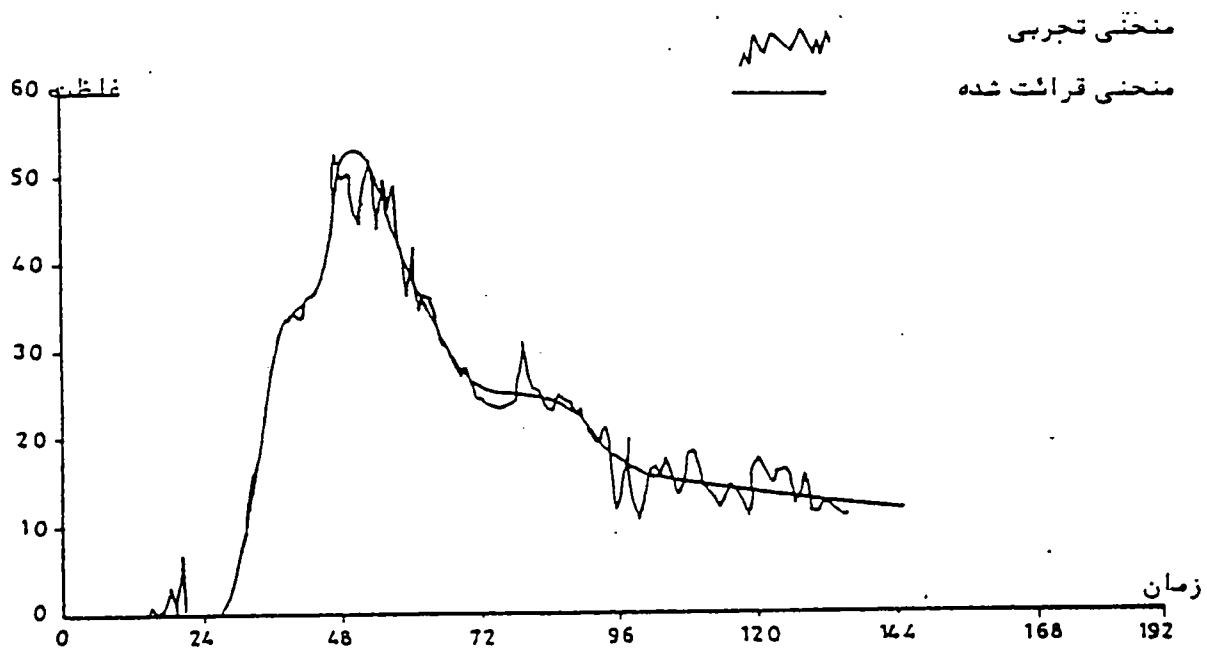
- ۱۰-۱ - موسسات ایرانی:
- الف - مرکز تحقیقات منابع آب وابسته به وزارت نیرو.
- ب - دانشگاه شیراز.

۱۰-۲ - موسسات خارجی:

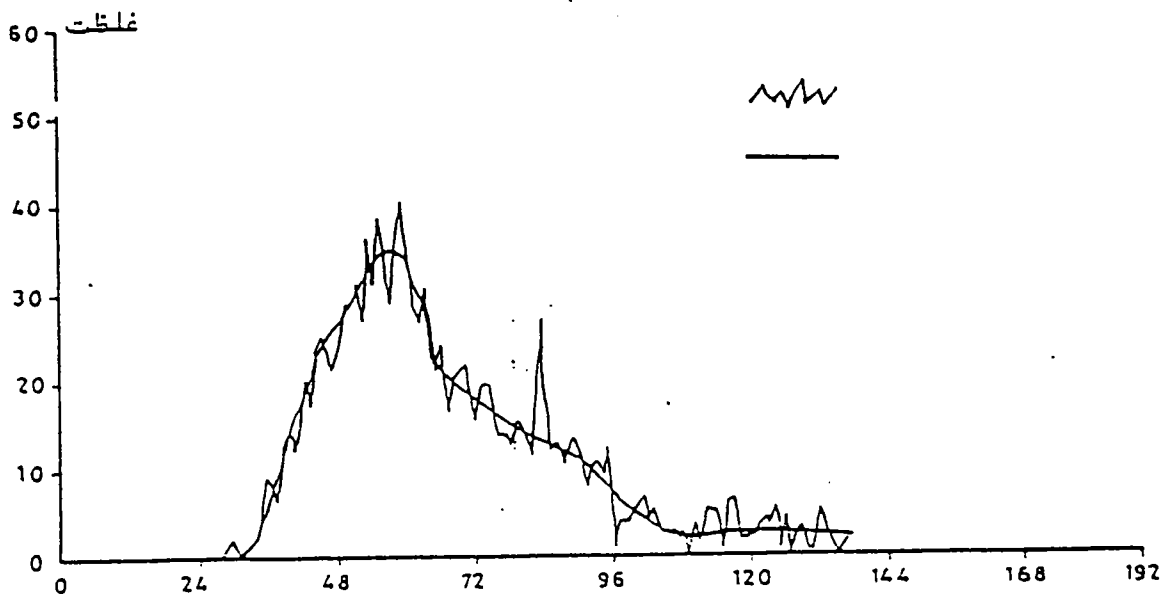
- از بین موسسات خارجی معروفترین آنها بشرح زیر می‌باشند:
- الف - مرکز انرژی اتمی شهر گرونوبل فرانسه.
- ب - موسسه مطالعات کارست شهر گراتس اطریش.
- ج - موسسه مطالعات منابع آب در شهر مونیخ آلمان.



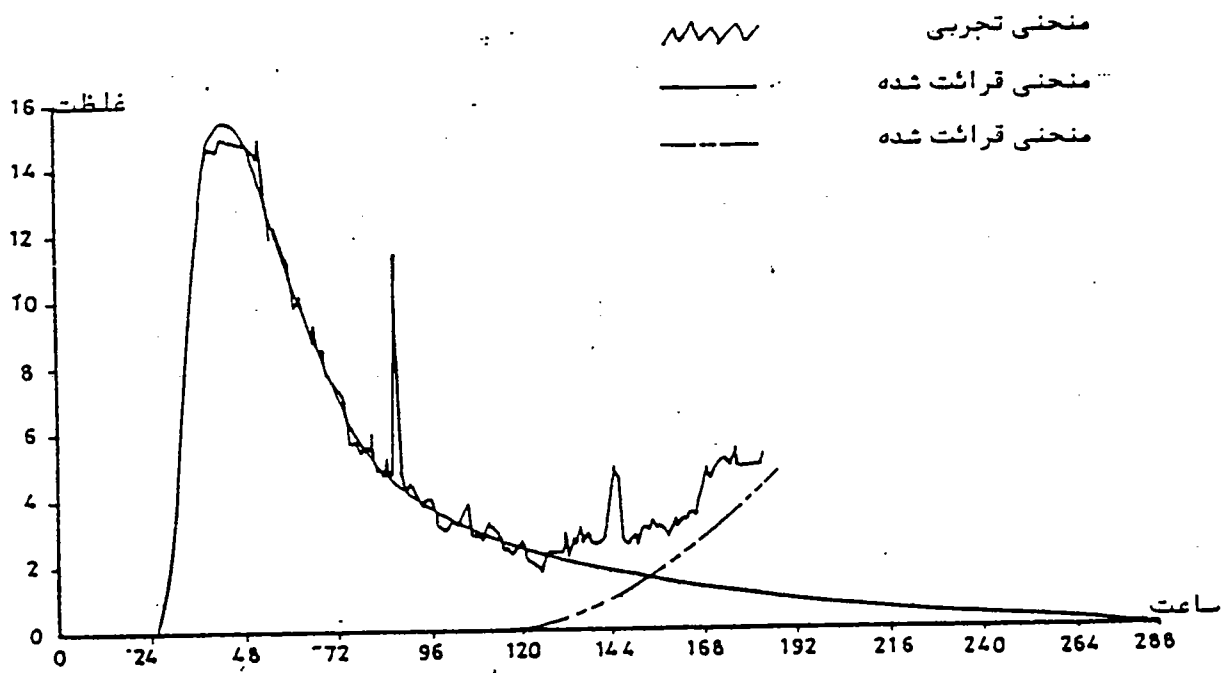
شکل (۱) نحوه انجام تزریق مواد رنگی



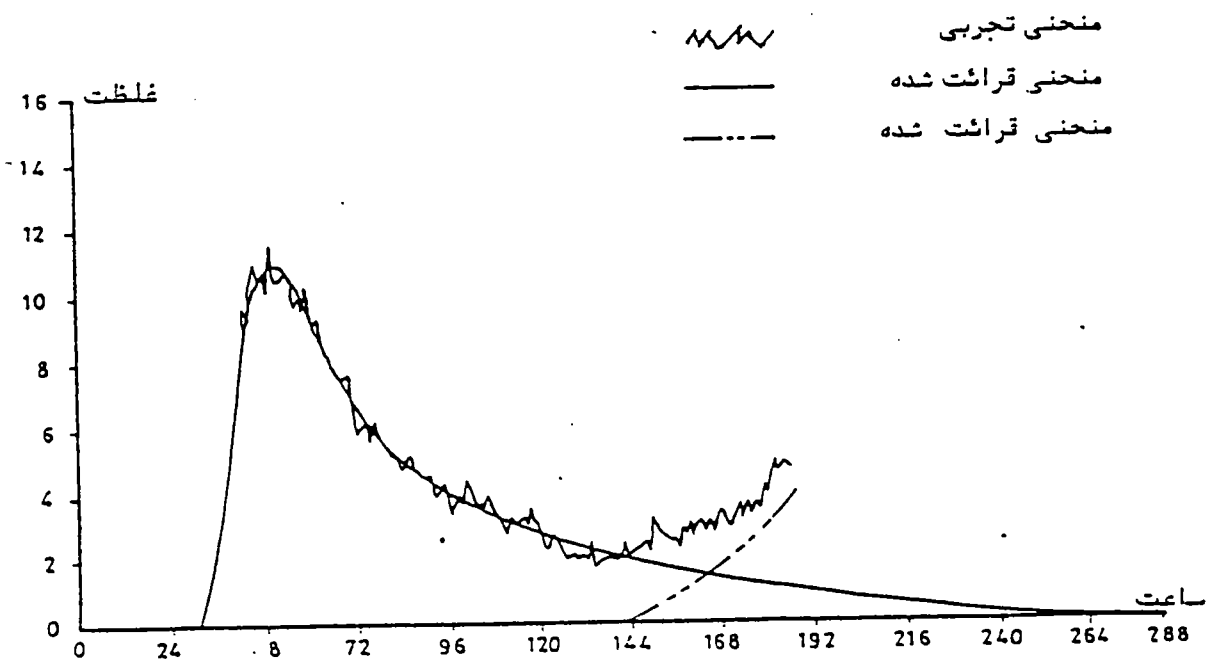
شکل ۲ - نمونه‌ای از منحنی غلظت فلئورسین بر حسب زمان در یک نقطه نمونه برداری



شکل ۳ - نمونه‌ای از منحنی غلظت فلئورسین بر حسب زمان در نقطه دیگر نمونه برداری



شکل ۴ - نمونه‌ای از منحنی غلظت ماده رنگی (رودامین) برحسب زمان در یک نقطه نمونه برداری



شکل ۵ - نمونه‌ای از منحنی غلظت ماده رنگی (رودامین) برحسب زمان در نقطه دیگر نمونه برداری