



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد

بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر شرایط

محیطی به منظور کاربرد در مطالعات ردیابی منابع آب

فاطمه جعفری

اساتید راهنما:

دکتر غلامعباس کاظمی

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

مهندس حمیدرضا جهانی

بهار ۱۳۸۸





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین
گروه زمین‌شناسی زیست محیطی و آب‌شناسی

بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر شرایط

محیطی به منظور کاربرد در مطالعات ردیابی منابع آب

دانشجو:

فاطمه جعفری

اساتید راهنما:

دکتر غلامعباس کاظمی

دکتر غلامحسین کرمی

استاد مشاور:

مهندس حمیدرضا جهانی

پایان‌نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهار ۱۳۸۸

ت

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: علوم زمین

گروه: زمین‌شناسی زیست محیطی و آب‌شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم فاطمه جعفری

تحت عنوان: بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر شرایط محیطی به

منظور کاربرد در مطالعات ردیابی منابع آب

در تاریخ ۱۳۸۸/۲/۲۳ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی

و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	حمیدرضا جهانی		غلامعباس کاظمی
			غلامحسین گرمی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	فرج اله فردوست		ناصر حافظی مقدس
			حمیدرضا ناصری

تقدیم به

پدرم، مادرم، همسر و

تمامی دانش‌پژوهان سرزمینم...

قدردانی

و انّ من الحجارة لما يتفجر منه الانهار...

و همانا از برخی سنگ‌ها چشمه‌ها برآید...

بقره ۷۲

بپاس خدای را که منت نرهاد هستی بخشید و توفیق کسب علم و دانش داد. اکنون که به فضل خدا در این موقعیت قرار گرفته‌ام بر خود لازم می‌دانم تا از تمامی عزیزانی که در این تحقیق از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ایشان بهره‌برده‌ام قدردانی نمایم.

بدین وسیله از استاذ گرانقدرم جناب آقای دکتر کاظمی، جناب آقای دکتر کرمی و بویزه جناب آقای مهندس جبرانی که در تمام مراحل همواره پشتیبان و حامی بنده بودند بی نهایت سپاسگزارم. هم چنین از معاون محترم پژوهشی مؤسسه تحقیقات آب جناب آقای دکتر صباغ‌زاده، رئیس محترم پژوهشگاه منابع آب جناب آقای دکتر علی‌محمدی، رئیس محترم گروه آب‌های زیرزمینی جناب آقای مهندس جبرانی، رئیس محترم گروه تحقیقات صحرایی جناب آقای مهندس پورمندی، کارشناس محترم آزمایشگاه شیمی و رسوب‌شناسی خانم‌ها ناصح، مدرسی، احمدی، معزی و مصلحتی، معاون محترم تصفیه خانه‌های آب شماره ۲ و ۳ تهران‌بارس جناب آقای مهندس گودرزی، استاد ارجمند گروه شیمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر جناب آقای دکتر روح‌الربی، کارشناس آزمایشگاه شیمی سازمان زمین‌شناسی کشور خانم شوشتریان و سایر عزیزانی که بنده را در گردآوری این مجموعه یاری نموده‌اند نهایت تقدیر و تشکر را دارم.

در پایان از زحمات بی دریغ پدر، مادر و همسر عزیزم که همواره پشتیبان و یاری دهنده من بوده‌اند بی نهایت سپاسگزارم. امید که توانسته باشم در سایه لطف خداوند گامی هرچند کوچک در راستای توسعه و تعالی کشورم بردارم.

فاطمه جعفری

۱۳۸۸

دانشجو تایید می نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایش ها و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد.

بهار ۱۳۸۸

چکیده

عملیات ردیابی از دقیق‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌های موجود در شاخه هیدروژئولوژی است که در آن انتخاب ردیاب مناسب، از مهمترین و حیاتی‌ترین عوامل است. برای این هدف، باید شناخت همه جانبه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ردیاب‌ها در شرایط محیطی مختلف داشت. با این اطلاعات علاوه بر این که می‌توان ردیابی متناسب با شرایط محیطی و هیدروژئولوژیکی منطقه انتخاب کرد، می‌توان اطمینان بیشتری به نتایج داشت و هم چنین از آلودگی محیط زیست و افزایش هزینه‌ها پرهیز نمود. در این پژوهش اثر فاکتورهای محیطی همچون pH، نور، دما، شوری، جذب در محیط رسوبی، زمان و همچنین عوامل مصنوعی همچون کلر آزاد، آلودگی هیدروکربوری و مخلوط‌های شستشوی ذغال بر تعدادی از ردیاب‌های عمده‌ی مورد استفاده در مطالعات ردیابی کشور در پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو در تهران بررسی شد. ردیاب‌های مورد بررسی عبارتند از اورانین، ائوزین و رودامین B (از ردیاب‌های رنگی فلورسنت)، پرمنگنات پتاسیم (از ردیاب‌های رنگی غیر فلورسنت) و کلرید سدیم و پتاسیم (از ردیاب‌های شیمیایی). نتایج به دست آمده از آزمایش‌های متعدد نشان داد که اورانین در محیط اسیدی ویژگی فلورسنس خود را به مقدار زیاد از دست می‌دهد، در حالی که شدت فلورسنس آن در محیط قلیایی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که ائوزین ناپایدارترین ردیاب در برابر تابش نور خورشید بوده و به شدت دچار واپاشی فتوشیمیایی می‌گردد. پرمنگنات پتاسیم نیز در اثر تابش نور خورشید و افزایش دما تبدیل به پودر قهوه‌ای رنگ اکسید منیزیم می‌شود و عملاً ویژگی خود را به عنوان ردیاب از دست می‌دهد. شدت فلورسنس رودامین B در اثر افزایش دما و شوری ناشی از NaCl و KCl کاهش می‌یابد در حالی که اورانین و ائوزین در برابر افزایش دما و شوری محیط از مقاومت بالایی برخوردارند. به دلایل فوق توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب نقش تعیین کننده‌ای در موفقیت عملیات ردیابی خواهد داشت.

یکی از مهم‌ترین فاکتورهای محدود کننده ردیاب‌ها در عملیات ردیابی آب‌های زیرزمینی، جذب آن‌ها در محیط متخلخل است. از میان ردیاب‌های فلورسنت، رودامین B یک ردیاب کاتیونی بوده و در محیط ریزدانه جذب می‌شود. در حالی که اورانین و ائوزین از مقاومت بالایی نسبت به جذب برخوردارند. در صورتیکه پرمنگنات پتاسیم به راحتی جذب محیط می‌شود. کلر مورد استفاده در تصفیه آب می‌تواند به عنوان یک اکسید کننده قوی حتی در غلظت‌های کم نیز منجر به از بین رفتن ویژگی فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B شود. بررسی حضور نفت به عنوان یکی از آلودگی‌های هیدروکربنی رایج در آب‌های زیرزمینی نشان داد که شدت رنگ پرمنگنات پتاسیم با افزایش درصد اندکی نفت، به صورت کاذب افزایش می‌یابد. اما وجود نفت تغییری در ویژگی فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B ندارد. همچنین، پرمنگنات پتاسیم منجر به از بین رفتن ویژگی فلورسنس در این ردیاب‌ها می‌شود. بنابراین استفاده همزمان آن‌ها در عملیات ردیابی توصیه نمی‌شود.

کلید واژه‌ها: ردیابی آب‌های زیرزمینی، ردیاب، عوامل محیطی، pH، نور، دما، شوری، کلر، جذب، آلودگی نفتی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- ۱- مقایسه برخی از ردیاب‌های فلورسنت در شرایط محیطی مختلف به منظور کاربرد در مطالعات ردیابی منابع آب، ۱۳۸۷، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز، ایران.
- ۲- بررسی مقایسه‌ای جذب برخی ردیاب‌های آب زیرزمینی در محیط متخلخل، ۱۳۸۷، دوازدهمین همایش انجمن علمی زمین‌شناسی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ایران.

فهرست مطالب

چکیده	۵
فصل اول: مقدمه	۲۳
۱-۱- بیان مسئله و اهداف مطالعه	۲
۲-۱- روش‌های ردیابی آب‌های زیرزمینی	۳
۳-۱- اهداف عملیات ردیابی	۴
۴-۱- تعریف و ویژگی‌های کلی ردیاب‌ها	۴
۵-۱- انواع ردیاب‌ها	۵
۶-۱- عوامل تعیین کننده انتخاب یک ردیاب	۶
۷-۱- مواد رنگی فلورسنت	۷
۸-۱- روش‌های تشخیص ماده رنگی فلورسنت در نمونه‌های آب	۹
فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی موجود و تحقیقات پیشین	۱۳
۱-۲- تاریخچه‌ای از عملیات ردیابی	۱۴
۲-۲- اثر pH بر ردیاب‌ها	۱۶
۳-۲- اثر نور بر ردیاب‌ها	۲۰
۴-۲- اثر دما بر ردیاب‌ها	۲۳
۵-۲- اثر شوری بر ردیاب‌ها	۲۶
۶-۲- اثر کلر بر ردیاب‌ها	۲۸
۷-۲- جذب ردیاب‌ها توسط مواد رسوبی	۳۰
۸-۲- تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر	۳۳
۹-۲- اثر مخلوط‌های شستشوی ذغال بر ردیاب‌های فلورسنت	۳۴

- فصل سوم: ردیاب‌ها، مواد، سیستم‌های سنجش، واسنجی و روش انجام آزمایش‌ها ۳۵
- ۱-۳- ردیاب‌های مورد بررسی در این پژوهش ۳۶
- ۲-۳- مواد مورد استفاده در آنالیزها ۴۱
- ۳-۳- سیستم‌های سنجش آزمایشگاهی ۴۲
- ۴-۳- روش‌های بکارگرفته شده در آزمایش‌ها ۴۸
- ۵-۳- واسنجی سیستم‌های سنجش ۵۰
- فصل چهارم: ارزیابی ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر شرایط محیطی مختلف ۵۶
- ۱-۴- ردیاب‌های مورد استفاده در مطالعات ردیابی کشور ۵۷
- ۲-۴- اثر pH ۵۷
- ۱-۲-۴- اثر تغییرات pH بر اورانین ۶۰
- ۲-۲-۴- اثر تغییرات pH بر فلورسنس اتوزین ۶۲
- ۳-۲-۴- اثر تغییرات pH بر فلورسنس رودامین B ۶۲
- ۴-۲-۴- اثر تغییرات pH بر کلرید سدیم و پتاسیم ۶۴
- ۵-۲-۴- اثر تغییرات pH بر شدت رنگ پرمنگنات پتاسیم ۶۴
- ۳-۴- اثر نور خورشید ۶۶
- ۱-۳-۴- اثر نور بر فلورسنس اورانین ۶۷
- ۲-۳-۴- اثر نور بر فلورسنس اتوزین ۶۷
- ۳-۳-۴- اثر نور بر فلورسنس رودامین B ۶۸
- ۴-۳-۴- اثر نور بر کلرید سدیم و پتاسیم ۷۰
- ۵-۳-۴- اثر نور بر پرمنگنات پتاسیم ۷۰
- ۴-۴- اثر دما ۷۱
- ۱-۴-۴- اثر دما بر فلورسنس اورانین ۷۳
- ۲-۴-۴- اثر دما بر فلورسنس اتوزین ۷۳
- ۳-۴-۴- اثر دما بر فلورسنس رودامین B ۷۴

- ۷۶-۴-۴- اثر دما بر کلرید سدیم و پتاسیم ۷۶
- ۷۶-۴-۵- اثر دما بر پرمنگنات پتاسیم ۷۶
- ۷۷-۴-۵- اثر شوری ۷۷
- ۷۷-۴-۵-۱- اثر شوری بر فلورسنس اورانین ۷۷
- ۷۸-۴-۵-۲- اثر شوری بر فلورسنس ائوزین ۷۸
- ۷۹-۴-۵-۳- اثر شوری بر فلورسنس رودامین B ۷۹
- ۷۹-۴-۵-۴- اثر شوری بر پرمنگنات پتاسیم ۷۹
- ۸۳-۴-۶- جذب در محیط ریزدانه ۸۳
- ۸۷-۴-۶-۱- اندازه‌گیری میزان جذب اورانین ۸۷
- ۸۸-۴-۶-۲- اندازه‌گیری میزان جذب ائوزین ۸۸
- ۸۹-۴-۶-۳- اندازه‌گیری میزان جذب رودامین B ۸۹
- ۸۹-۴-۶-۴- اندازه‌گیری میزان جذب کلرید سدیم و پتاسیم ۸۹
- ۹۰-۴-۶-۵- اندازه‌گیری میزان جذب پرمنگنات پتاسیم ۹۰
- ۹۷-۴-۷- اثر زمان ۹۷
- فصل پنجم: ارزیابی ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر عوامل مصنوعی مختلف ۱۰۱
- ۱۰۲-۵-۱- اثر کلر آزاد باقی‌مانده ۱۰۲
- ۱۰۳-۵-۱-۱- اثر کلر آزاد باقی‌مانده بر ردیاب‌های فلورسنت ۱۰۳
- ۱۰۴-۵-۱-۲- اثر کلر آزاد باقی‌مانده بر کلرید سدیم و پتاسیم ۱۰۴
- ۱۰۵-۵-۱-۳- اثر کلر آزاد باقی‌مانده بر پرمنگنات پتاسیم ۱۰۵
- ۱۰۵-۵-۲- اثر آلودگی نفتی ۱۰۵
- ۱۰۸-۵-۲-۱- اثر نفت بر ردیاب‌های فلورسنت ۱۰۸
- ۱۰۹-۵-۲-۲- اثر نفت بر کلرید سدیم و پتاسیم ۱۰۹
- ۱۰۹-۵-۲-۳- اثر نفت بر پرمنگنات پتاسیم ۱۰۹
- ۱۱۲-۵-۳- بررسی تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر ۱۱۲

۱۱۲	۱-۳-۵- تداخل ردیاب‌های فلورسنت بر یکدیگر
۱۱۶	۲-۳-۵- تداخل پرمنگنات پتاسیم با ردیاب‌های فلورسنت
۱۱۸	۱-۴-۵- اثر مخلوط‌های شستشو بر اورانین
۱۱۹	۲-۴-۵- اثر مخلوط‌های شستشو بر ائوزین
۱۲۲	۳-۴-۵- اثر مخلوط‌های شستشو بر رودامین B
۱۲۳	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۱۲۴	۱-۶- نتیجه‌گیری
۱۲۷	۲-۶- پیشنهادها
۱۳۳	فهرست منابع

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱- طول موج برانگیختگی و پرتودهی اورانین ۷
- شکل ۲-۱- فلوریمترهای صحرایی برای آشکار سازی ردیاب در آب سطحی و زیرزمینی ۱۱
- شکل ۳-۱- دانه‌های ذغال فعال ۱۱
- شکل ۱-۲- اثر pH بر فلورسنس برخی ردیاب‌ها ۱۷
- شکل ۲-۲- طیف برانگیختگی و پرتودهی پیرانین با تغییرات pH ۱۸
- شکل ۳-۲- تغییرات FI رودامین WT در pH های مختلف با استفاده از چند نوع اسید ۱۸
- شکل ۴-۲- شدت فلورسنس پیرانین در pH های مختلف ۱۹
- شکل ۵-۲- زوال فلورسنس چند ردیاب مختلف در برابر نور روزانه مصنوعی ۲۲
- شکل ۶-۲- فروپاشی انواع رودامین در محلول آب در برابر نور روزانه مصنوعی ۲۳
- شکل ۷-۲- وابستگی فلورسنس اورانین و رودامین B به دما ۲۵
- شکل ۸-۲- نمودار تصحیح دما برای تعدادی از ردیاب‌های فلورسنت ۲۵
- شکل ۹-۲- اثر کلرید سدیم و پتاسیم بر روی فلورسنس حاصل از رودامین WT ۲۸
- شکل ۱۰-۲- اثر کلر بر فلورسنس رودامین B و WT ۲۸
- شکل ۱۱-۲- اثر هیپوکلرید سدیم بر روی شدت فلورسنس اورانین ۲۹
- شکل ۱۲-۲- اثر هیپوکلرید سدیم بر روی شدت فلورسنس سولفورودامین G ۳۰
- شکل ۱۳-۲- اثر مقدار رسوب بر میزان جذب رودامین B ۳۲
- شکل ۱۴-۲- اثر مقدار رسوبات معلق بر درصد جذب رودامین B ۳۲
- شکل ۱۵-۲- درصد جذب لیسامین FF در هفت نوع رسوب مختلف ۳۳
- شکل ۱-۳- ساختمان مولکولی اورانین ۳۷
- شکل ۲-۳- ساختمان مولکولی اتوزین ۳۷
- شکل ۳-۳- ساختمان مولکولی رودامین B ۳۸
- شکل ۴-۳- محلول‌های مادر اتوزین، رودامین B و اورانین، با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر ۳۹
- شکل ۵-۳- محلول پرمنگنات پتاسیم از غلظت ۱۰۰۰ تا ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر ۴۰
- شکل ۶-۳- اسپکتروفلوئورومتتر Shimadzu RF-۱۵۰۱ ۴۳

- شکل ۳-۷- دیاگرام شماتیک یک اسپکتروفلوئوریمتر و اجزاء آن ۴۴
- شکل ۳-۸- اندازه‌گیری سیگنال به نوبز اسپکتروفلوئوروفتومتر پیش از سنجش جهت ارزیابی دستگاه ۴۵
- شکل ۳-۹- تغییرات سیگنال به نوبز دستگاه در طول مدت انجام آنالیزها ۴۶
- شکل ۳-۱۰- اسپکتروفتومتر Hach DR/۲۰۱۰ ۴۷
- شکل ۳-۱۱- نمودار واسنجی اورانین ۵۱
- شکل ۳-۱۲- نمودار واسنجی اتوزین ۵۱
- شکل ۳-۱۳- نمودار واسنجی رودامین B ۵۱
- شکل ۳-۱۴- نمودار واسنجی کلرید سدیم ۵۳
- شکل ۳-۱۵- نمودار واسنجی کلرید پتاسیم ۵۴
- شکل ۳-۱۶- نمودار واسنجی پرمنگنات پتاسیم با هدایت سنج ۵۴
- شکل ۳-۱۷- نمودار واسنجی پرمنگنات پتاسیم با اسپکتروفتومتر ۵۴
- شکل ۴-۱- ساختار اورانین در شرایط اسیدی و قلیایی ۶۰
- شکل ۴-۲- تغییرات شدت فلورسنس اورانین با pH ۶۳
- شکل ۴-۳- تغییرات درصد فلورسنس اولیه اورانین با pH ۶۳
- شکل ۴-۴- تغییرات شدت فلورسنس اتوزین با pH ۶۳
- شکل ۴-۵- تغییرات درصد فلورسنس اولیه اتوزین با pH ۶۳
- شکل ۴-۶- تغییرات شدت فلورسنس رودامین B با pH ۶۳
- شکل ۴-۷- تغییرات درصد فلورسنس اولیه رودامین B با pH ۶۳
- شکل ۴-۸- تغییرات درصد هدایت الکتریکی NaCl با pH ۶۵
- شکل ۴-۹- تغییرات درصد هدایت الکتریکی KCl با pH ۶۵
- شکل ۴-۱۰- تغییرات شدت رنگ KMnO_۴ با pH ۶۵
- شکل ۴-۱۱- تغییرات درصد شدت رنگ KMnO_۴ با pH ۶۵
- شکل ۴-۱۲- اثر نور بر فلورسنس اورانین ۶۹
- شکل ۴-۱۳- اثر نور بر درصد فلورسنس اولیه اورانین ۶۹
- شکل ۴-۱۴- اثر نور بر فلورسنس اتوزین ۶۹
- شکل ۴-۱۵- اثر نور بر درصد فلورسنس اولیه اتوزین ۶۹

- شکل ۴-۱۶- اثر نور بر فلورسنس رودامین B ۶۹
- شکل ۴-۱۷- اثر نور بر درصد فلورسنس اولیه رودامین B ۶۹
- شکل ۴-۱۸- اثر نور بر هدایت الکتریکی NaCl ۷۲
- شکل ۴-۱۹- اثر نور بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl ۷۲
- شکل ۴-۲۰- اثر نور بر هدایت الکتریکی KCl ۷۲
- شکل ۴-۲۱- اثر نور بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl ۷۲
- شکل ۴-۲۲- اثر نور بر شدت رنگ KMnO_۵ ۷۲
- شکل ۴-۲۳- اثر نور بر درصد شدت رنگ اولیه KMnO_۵ ۷۲
- شکل ۴-۲۴- تغییر رنگ پرمنگنات پتاسیم در اثر تابش نور خورشید ۷۳
- شکل ۴-۲۵- اثر دما بر فلورسنس اورانین ۷۵
- شکل ۴-۲۶- اثر دما بر درصد فلورسنس اولیه اورانین ۷۵
- شکل ۴-۲۷- اثر دما بر فلورسنس ائوزین ۷۵
- شکل ۴-۲۸- اثر دما بر درصد فلورسنس اولیه ائوزین ۷۵
- شکل ۴-۲۹- اثر دما بر فلورسنس رودامین B ۷۶
- شکل ۴-۳۰- اثر دما بر درصد فلورسنس اولیه رودامین B ۷۵
- شکل ۴-۳۱- اثر دما بر هدایت الکتریکی NaCl ۸۱
- شکل ۴-۳۲- اثر دما بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl ۸۱
- شکل ۴-۳۳- اثر دما بر هدایت الکتریکی KCl ۸۱
- شکل ۴-۳۴- اثر دما بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl ۸۱
- شکل ۴-۳۵- اثر دما بر شدت رنگ KMnO_۵ ۸۲
- شکل ۴-۳۶- اثر دما بر درصد شدت رنگ اولیه KMnO_۵ ۸۱
- شکل ۴-۳۷- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر فلورسنس اورانین ۸۲
- شکل ۴-۳۸- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر فلورسنس ائوزین ۸۲
- شکل ۴-۳۹- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر فلورسنس رودامین B ۸۲
- شکل ۴-۴۰- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر شدت رنگ KMnO_۵ ۸۳
- شکل ۴-۴۱- مدل ستون رسوبی به منظور اندازه‌گیری مقاومت ردیاب‌ها در برابر جذب ۸۶

- شکل ۴-۴۲- دانه بندی مربوط به رسوبات تیپ A، محتوی حدود ۰/۵ درصد رس ۸۶
- شکل ۴-۴۳- دانه بندی مربوط به رسوبات تیپ B، محتوی حدود ۲/۵ درصد رس ۸۷
- شکل ۴-۴۴- دانه بندی مربوط به رسوبات تیپ C، محتوی حدود ۵ درصد رس ۸۷
- شکل ۴-۴۵- نمودار غلظت اورانین عبوری از رسوب A ۹۲
- شکل ۴-۴۶- نمودار غلظت اورانین عبوری از رسوب B ۹۱
- شکل ۴-۴۷- نمودار غلظت اورانین عبوری از رسوب C ۹۲
- شکل ۴-۴۸- نمودار غلظت ائوزین عبوری از رسوب A ۹۲
- شکل ۴-۴۹- نمودار غلظت ائوزین عبوری از رسوب B ۹۲
- شکل ۴-۵۰- نمودار غلظت ائوزین عبوری از رسوب C ۹۲
- شکل ۴-۵۱- نمودار غلظت رودامین B عبوری از رسوب A ۹۳
- شکل ۴-۵۲- نمودار غلظت رودامین B عبوری از رسوب B ۹۲
- شکل ۴-۵۳- نمودار غلظت رودامین B عبوری از رسوب C ۹۳
- شکل ۴-۵۴- نمودار غلظت NaCl عبوری از رسوب A ۹۳
- شکل ۴-۵۵- نمودار غلظت NaCl عبوری از رسوب B ۹۳
- شکل ۴-۵۶- نمودار غلظت NaCl عبوری از رسوب C ۹۳
- شکل ۴-۵۷- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب A ۹۴
- شکل ۴-۵۸- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب B ۹۴
- شکل ۴-۵۹- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب B ۹۴
- شکل ۴-۶۰- نمودار غلظت KMnO_۷ عبوری از رسوب A ۹۴
- شکل ۴-۶۱- نمودار غلظت KMnO_۷ عبوری از رسوب B ۹۴
- شکل ۴-۶۲- نمودار غلظت KMnO_۷ عبوری از رسوب C ۹۴
- شکل ۴-۶۳- تغییرات درصد جذب اورانین با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی ۹۵
- شکل ۴-۶۴- تغییرات درصد جذب ائوزین با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی ۹۵
- شکل ۴-۶۵- تغییرات درصد جذب رودامین B با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی ۹۵
- شکل ۴-۶۶- تغییرات درصد جذب NaCl با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی ۹۵
- شکل ۴-۶۷- تغییرات درصد جذب KCl با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی ۹۵

- شکل ۴-۶۸- تغییرات درصد جذب KMnO_4 با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی ۹۵
- شکل ۴-۶۹- مقایسه حداقل درصد جذب ردیاب‌ها ۹۶
- شکل ۴-۷۰- تغییرات فلورسنس اورانین در کوتاه مدت ۹۸
- شکل ۴-۷۱- تغییرات فلورسنس اورانین در طولانی مدت ۹۸
- شکل ۴-۷۲- تغییرات فلورسنس ائوزین در کوتاه مدت ۹۸
- شکل ۴-۷۳- تغییرات فلورسنس ائوزین در طولانی مدت ۹۸
- شکل ۴-۷۴- تغییرات فلورسنس رودامین B در کوتاه مدت ۹۸
- شکل ۴-۷۵- تغییرات فلورسنس رودامین B در مدت ۹۸
- شکل ۴-۷۶- هدایت الکتریکی NaCl در کوتاه مدت ۹۹
- شکل ۴-۷۷- هدایت الکتریکی NaCl در طولانی مدت ۹۹
- شکل ۴-۷۸- هدایت الکتریکی KCl در کوتاه مدت ۹۹
- شکل ۴-۷۹- هدایت الکتریکی KCl در طولانی مدت ۹۹
- شکل ۴-۸۰- شدت رنگ محلول KMnO_4 در کوتاه مدت ۱۰۰
- شکل ۴-۸۱- شدت رنگ محلول KMnO_4 در طولانی مدت ۹۹
- شکل ۵-۱- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس اورانین ۱۰۶
- شکل ۵-۲- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد فلورسنس اولیه اورانین ۱۰۶
- شکل ۵-۳- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس ائوزین ۱۰۶
- شکل ۵-۴- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد فلورسنس اولیه ائوزین ۱۰۶
- شکل ۵-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس رودامین B ۱۰۶
- شکل ۵-۶- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد فلورسنس اولیه رودامین B ۱۰۶
- شکل ۵-۷- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر هدایت الکتریکی NaCl ۱۰۷
- شکل ۵-۸- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl ۱۰۷
- شکل ۵-۹- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر هدایت الکتریکی KCl ۱۰۷
- شکل ۵-۱۰- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl ۱۰۷
- شکل ۵-۱۱- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر شدت رنگ محلول KMnO_4 در کوتاه مدت ۱۰۷
- شکل ۵-۱۲- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد شدت رنگ اولیه KMnO_4 در کوتاه مدت ۱۰۷

- شکل ۵-۱۳- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر شدت رنگ محلول $KMnO_4$ در دراز مدت ۱۰۸
- شکل ۵-۱۴- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد شدت رنگ اولیه $KMnO_4$ در دراز مدت ۱۰۸
- شکل ۵-۱۵- اثر نفت بر فلورسنس اورانین ۱۱۰
- شکل ۵-۱۶- اثر نفت بر درصد فلورسنس اولیه اورانین ۱۱۰
- شکل ۵-۱۷- اثر نفت بر فلورسنس ائوزین ۱۱۰
- شکل ۵-۱۸- اثر نفت بر درصد فلورسنس اولیه اورانین ۱۱۰
- شکل ۵-۱۹- اثر نفت بر فلورسنس رودامین B ۱۱۰
- شکل ۵-۲۰- اثر نفت بر درصد فلورسنس اولیه اورانین ۱۱۰
- شکل ۵-۲۱- اثر نفت بر هدایت الکتریکی NaCl ۱۱۱
- شکل ۵-۲۲- اثر نفت بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl ۱۱۱
- شکل ۵-۲۳- اثر نفت بر هدایت الکتریکی KCl ۱۱۱
- شکل ۵-۲۴- اثر نفت بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl ۱۱۱
- شکل ۵-۲۵- اثر نفت بر شدت رنگ محلول $KMnO_4$ ۱۱۱
- شکل ۵-۲۶- اثر نفت بر شدت رنگ محلول $KMnO_4$ ۱۱۱
- شکل ۵-۲۷- نمودار برانگیختگی و پرتودهی اورانین ۱۱۴
- شکل ۵-۲۸- نمودار برانگیختگی و پرتودهی ائوزین ۱۱۴
- شکل ۵-۲۹- نمودار پرتودهی و برانگیختگی رودامین B ۱۱۴
- شکل ۵-۳۰- نمودار تداخل پرتودهی اورانین و ائوزین ۱۱۴
- شکل ۵-۳۱- حذف تداخل ائوزین از اورانین ۱۱۴
- شکل ۵-۳۲- حذف تداخل اورانین از ائوزین ۱۱۴
- شکل ۵-۳۳- نمودار تداخل اورانین و رودامین B ۱۱۵
- شکل ۵-۳۴- نمودار تداخل ائوزین و رودامین B ۱۱۶
- شکل ۵-۳۵- حذف تداخل پیک پرتودهی ائوزین از پیک پرتودهی رودامین B ۱۱۶
- شکل ۵-۳۶- تغییرات شدت فلورسنس اورانین در اثر تداخل با پرمنگنات پتاسیم ۱۱۷
- شکل ۵-۳۷- تغییرات شدت فلورسنس ائوزین در اثر تداخل با پرمنگنات پتاسیم ۱۱۸
- شکل ۵-۳۸- تغییرات شدت فلورسنس رودامین B در اثر تداخل با پرمنگنات پتاسیم ۱۱۸

- شکل ۵-۳۹- پیک برانگیختگی و پرتودهی اورانین در شرایط اولیه ۱۲۰
- شکل ۵-۴۰- پیک پرتودهی اورانین پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی A ۱۲۰
- شکل ۵-۴۱- پیک پرتودهی اورانین پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی B ۱۲۱
- شکل ۵-۴۲- پیک برانگیختگی و پرتودهی ائوزین در شرایط اولیه ۱۲۰
- شکل ۵-۴۳- پیک پرتودهی ائوزین پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی A ۱۲۱
- شکل ۵-۴۴- پیک پرتودهی ائوزین پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی B ۱۲۰
- شکل ۵-۴۵- پیک برانگیختگی و پرتودهی رودامین B در شرایط اولیه ۱۲۲
- شکل ۵-۴۶- پیک پرتودهی رودامین B پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی A و B ۱۲۲

فهرست جدول‌ها:

- جدول ۱-۱- گزیده‌ای از ویژگی‌های برخی ردیاب‌ها در شرایط مختلف ۸
- جدول ۲-۱- محدوده تشخیص تعدادی از مواد رنگی فلورسنت در حلال آب ۱۰
- جدول ۱-۲- ضریب واپاشی ردیاب‌های مختلف در برابر نور ۲۰
- جدول ۲-۲- ثابت دمایی برخی از ردیاب‌ها ۲۶
- جدول ۳-۲- درصد فلورسنس در آب شور ۲۷
- جدول ۴-۲- تغییرات شدت فلورسنس سولفورودامین G با گذشت زمان ۳۰
- جدول ۱-۳- واسنجی کلرید سدیم و کلرید پتاسیم ۵۲
- جدول ۲-۳- واسنجی پرمنگنات پتاسیم با هدایت سنج ۵۳
- جدول ۳-۳- واسنجی پرمنگنات پتاسیم با اسپکتروفتومتر ۵۴
- جدول ۴-۳- معادلات نمودارهای واسنجی ردیاب‌های مورد بررسی ۵۴
- جدول ۱-۴- ردیاب‌های مورد استفاده در برخی از عملیات ردیابی در کشور در ۲۰ سال گذشته ۵۸
- جدول ۲-۴- آنالیز هزینه ردیاب‌های مورد نظر در سال ۱۳۸۶ ۵۹
- جدول ۳-۴- تغییرات ویژگی ردیاب‌ها در pH های مختلف ۶۶
- جدول ۴-۴- درصد جذب ردیاب‌ها با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی به روش ستون رسوبی ۹۶
- جدول ۱-۶- بررسی تداخل ردیاب‌ها به منظور انتخاب ردیاب‌های مناسب برای استفاده همزمان از چند ردیاب ۱۳۱
- جدول ۲-۶- معرفی محیط‌های مناسب و نامناسب ردیاب‌ها ۱۳۱
- جدول ۳-۶- کارایی ردیاب‌ها در شرایط محیطی و مصنوعی مختلف ۱۳۲

فهرست علائم و نشانه‌ها:

FI	Fluorescence Intensity	شدت فلورسنس
Ex.	Excitation	برانگیختگی
Em.	Emission	پرتو دهی
N	Normality	نرمالیت
M	Molarity	مولاریته
T	Temperature	دما
t	Time	زمان
ppb	Part per billion	قسمت در بیلیون
ppm	Part per million	قسمت در میلیون
°C	Degree of Centigrade	درجه سانتی‌گراد
Conc.	Concentration	غلظت

فصل اول

مقدمه

۱-۱- بیان مسئله و اهداف مطالعه

عملیات ردیابی یکی از دقیق‌ترین و مطمئن‌ترین روش‌های موجود در شاخه هیدروژئولوژی و از متداول‌ترین روش‌های کاربردی برای شناخت خصوصیات آبخوان‌ها و به طور کلی منابع آب می‌باشد. یکی از مهمترین مولفه‌های یک پروژه ردیابی، انتخاب ردیاب مناسب است که این امر در بسیاری از موارد نقشی حیاتی در موفقیت آزمایش ردیابی دارد. وضعیت‌های هیدروژئولوژیکی گوناگون، شرایط مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب‌ها و سرانجام مخاطرات زیست محیطی از مؤثرترین عوامل در گزینش یک ردیاب می‌باشند که بی‌توجهی به هر یک از آن‌ها موجب شکست و یا عدم موفقیت کامل پروژه و یا متأثر شدن آن و یا تهدید جدی برای محیط زیست بوده است. پیچیدگی‌های سیستم طبیعی مورد مطالعه به همراه عوامل مختلفی که ردیاب‌ها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند باعث شده انتخاب یک ردیاب مناسب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شود. در این پژوهش تلاش بر آن است تا با توجه به ویژگی‌های محیط جریان و خصوصیات ردیاب‌ها معیارهای مناسبی برای انتخاب ردیاب ارائه شود. ردیاب‌های زیادی در مطالعات منابع آب بکار گرفته شده‌اند اما نمی‌توان همیشه یک یا چند ردیاب را به طور مطلق به عنوان ردیاب مناسب معرفی کرد (Laughlin ۱۹۸۲). برای مثال ردیاب‌هایی که در محیط ریز دانه توسط محققین توصیه شده‌اند عبارتند از پیرانین (Reynolds ۱۹۶۶) و لیسامین زرد (Smettem and Trudgill ۱۹۸۳). یک ردیاب مناسب برای یک هدف خاص، ممکن است برای رسیدن به هدف دیگر مناسب نباشد (به عنوان مثال استفاده از رودامین B به جای اورانین در مناطقی که منطقه نمونه‌برداری از محل ظهور چشمه فاصله داشته باشد و ردیاب در معرض نور قرار بگیرد). با انتخاب ردیاب مناسب قضاوت بهتری نسبت به نتایج صورت خواهد گرفت. هم چنین می‌توان هزینه عملیات را کاهش داد. در این پژوهش شش ردیاب که در کشور ما معمولاً در عملیات ردیابی مورد استفاده قرار می‌گیرند، شامل اورانین، اتوزین، رودامین B (از ردیاب‌های فلورسنت) پرمنگنات پتاسیم (ردیاب رنگی غیر فلورسنت)، کلرید سدیم و کلرید پتاسیم (از ردیاب‌های شیمیایی) انتخاب شد. این

ردیاب‌ها در شرایط متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و رفتار هر کدام در برابر عوامل محیطی عمده‌ای که ممکن است در طول یک عملیات ردیابی با آن روبرو شوند همچون، pH، دما، شوری، تابش نور خورشید و جذب در محیط متخلخل و نیز عوامل مصنوعی همچون کلر آزاد باقی‌مانده (ناشی از تصفیه آب)، آلودگی‌های نفتی و مخلوط‌های شستشوی ذغال فعال به طور جداگانه با یکدیگر مقایسه شده، محدودیت‌ها و برتری‌های هر کدام از این ردیاب‌ها در شرایط گوناگون محیط طبیعی و عوامل مصنوعی، ارائه شده است.

۲-۱- روش‌های ردیابی آب‌های زیرزمینی

آزمون ردیابی یک روش صحرایی برای تعیین پارامترهای هیدروژئولوژیکی منابع آب زیرزمینی است (Weight and Sonderegger ۲۰۰۱). روش ردیابی به عنوان یکی از قابل اطمینان‌ترین روش‌های موجود در هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرزمینی هم اکنون در ارزیابی ویژگی‌های هیدرودینامیکی محیط جریان در سطح جهانی مورد توجه می‌باشد. یکی از امتیازات این روش که منجر به گسترش کاربرد آن به ویژه در هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی شده است همراهی ردیاب با مولکول‌های آب در طول مسیر جریان می‌باشد به گونه‌ای که بر هیدرولیک جریان تأثیر نگذاشته و اطلاعات بلاواسطه‌ای از محیط جریان در اختیار قرار می‌دهد. روش‌های ردیابی را می‌توان به دو گروه عمده ردیابی طبیعی^۱ و ردیابی مصنوعی^۲ تقسیم نمود. در روش‌های ردیابی طبیعی (یا ردیابی محیطی) از ردیاب‌هایی که به طور طبیعی در ساختمان مولکول آب و یا همراه با آن می‌باشند استفاده می‌شود. در حالی که در روش ردیابی مصنوعی، ردیاب در نقطه‌ای تزریق شده و پس از ورود به آبخوان و همراهی با جریان آب زیرزمینی در نقاط دیگری در پایین دست نمونه برداری می‌شود.

۱- Environmental

۲- Artificial

۱-۳- اهداف عملیات ردیابی

از جمله مهمترین اهداف عملیات ردیابی می‌توان موارد زیر را نام برد:

تعیین منشأ آب (Molares et al. ۲۰۰۷)، ارتباط هیدرولیکی آبخوان‌ها (Buzády et al. ۲۰۰۶) و یا حوضه‌های آبریز (Einsiedl ۲۰۰۵)، تعیین گستره حوضه آبریز چشمه‌ها، تعیین مناطق تغذیه و تخلیه آبخوان، ارتباط هیدرولیکی بین جریان‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی (Seiler et al. ۱۹۸۹)، تعیین نوع تغذیه آبخوان (Charideh and Rhman ۲۰۰۷)، تعیین گستره آبخوان، تعیین جهت و مسیر جریان آب، سرعت جریان (Weiler and Flühler ۲۰۰۳)، نوع جریان (Ammann and Koch ۲۰۰۳)، تعیین نقش عوامل تکتونیکی در هدایت جریان، تعیین منشأ آلودگی (Jeffrey and Berian ۲۰۰۱)، تشخیص درجه کارستی شدن و هم‌چنین تشخیص وجود غار و فضا‌های فراخ در مسیر جریان آب زیرزمینی (نشریه الف-۲۵۷ وزارت نیرو ۱۳۸۲).

۱-۴- تعریف و ویژگی‌های کلی ردیاب‌ها

ردیاب‌ها مواد و یا نوعی از انرژی می‌باشند که به منظور تعیین توزیع زمانی و مکانی آب و مواد آلاینده آن در مطالعات منابع آب بکار می‌روند. موادی که به عنوان ردیاب مورد استفاده قرار می‌گیرند ویژگی‌هایی دارند که مهمترین آن‌ها مشخص بودن رفتار فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در استفاده از ردیاب فرض بر این است که با همان سرعت و جهتی که آب حرکت می‌کند حرکت کرده و با محیط اطرافش واکنش نمی‌دهد. هم‌چنین سمی نبودن و با تکنولوژی ساده قابل تشخیص بودن نیز از ویژگی‌های ردیاب مناسب می‌باشد. به علاوه ردیاب باید نسبتاً ارزان بوده و در دسترس باشد. تا جای ممکن در آب طبیعی وجود نداشته و غلظت زمینه‌ای^۱ آن در آب و محیط

۱- Background level

مورد مطالعه کم باشد. هم چنین ردیاب نباید شرایط هیدرولیکی و سایر پارامترهای محیط را تغییر دهد (Davis et al. ۱۹۸۵). ردیابی که دارای تمام ویژگی‌های فوق باشد به طور طبیعی یافت نمی‌شود.

۱-۵- انواع ردیاب‌ها

ردیاب‌های متداول در مطالعات ردیابی (نشریه ۲۶-الف وزارت نیرو، ۱۳۸۲):

الف- ردیاب‌های طبیعی (محیطی)

الف-۱- ایزوتوپ‌های محیطی پایدار مانند اکسیژن ۱۸، دوتریوم، کربن ۱۳ و ...

الف-۲- ایزوتوپ‌های محیطی پرتوزا (ناپایدار) مانند کربن ۱۴، تریتیوم و ...

الف-۳- ردیاب‌های میکرو ارگانیک مانند باکتری‌ها و ویروس‌ها

الف-۴- یون‌های موجود در آب (شیمی آب)

الف-۵- گازهای کمیاب موجود در آب مانند کریپتون، هلیوم و آرگون

الف-۶- دمای آب

الف-۷- پالس‌ها

ب- ردیاب‌های مصنوعی (افزودنی)

ب-۱- ردیاب‌های رنگی

ب-۱-۱- ردیاب‌های رنگی فلورسنت مانند اورانین، ائوزین و رودامین B

ب-۱-۲- ردیاب‌های رنگی غیر فلورسنت مانند پرمنگنات پتاسیم، متیلن آبی و اریتروزین

ب-۲- ردیاب‌های ایزوتوپی پرتوزا مانند: طلا ۱۹۸ (Au_{198})، کرم ۵۱ (Cr_{51}) و تریتیوم (H_3)

ب-۳- ایزوتوپ‌های قابل فعال شدن مانند: برم ۸۲ (Br_{82})، لانتانیوم ۱۳۹ (La_{139}) و ید ۱۳۱ (I_{131})

ب-۴- ردیاب‌های جامد (نامحلول) مانند: باکتری‌ها، مخمرها، ویروس‌ها و بیوکلوئیدها^۱

ب-۵- نمک‌های معدنی مانند: نمک خوراکی (NaCl) و کلرور کلسیم (CaCl₂)

ب-۶- پاک‌کننده‌ها^۲

ب-۷- هالوکربن‌ها

ب-۸- کلروفلوروکربن (CFC)

۱-۶- عوامل تعیین‌کننده انتخاب یک ردیاب

با توجه به تنوع ردیاب‌ها، یک انتخاب مناسب با در نظر گرفتن موارد زیر صورت می‌گیرد:

هدف از مطالعه، ابعاد مطالعه، خصوصیات هیدروژئولوژیکی منطقه، امکان تشخیص سریع ردیاب با غلظت کم در آب و در محل، قیمت ردیاب، دسترسی آسان و عدم پیچیدگی وسایل مورد نیاز برای تشخیص ردیاب، غلظت زمینه ردیاب در آب، کمیت آب زیرزمینی، سهولت انحلال در آب، عدم رسوب ردیاب در محیط آبخوان و سهولت انجام عملیات صحرائی و آزمایشگاهی (نشریه الف-۲۶۳ وزارت نیرو ۱۳۸۲).

با توجه به کاربرد گسترده مواد فلورسنت در ردیابی منابع آب در ادامه به ذکر جزئیات بیشتری در مورد آن‌ها پرداخته می‌شود. برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر در مورد سایر ردیاب‌ها به کتاب *ردیاب‌های آب زیرزمینی^۳ و هم‌چنین تکنیک‌های ردیابی در آب‌های زیرزمینی^۴* مراجعه شود.

۱- Bio-colloids

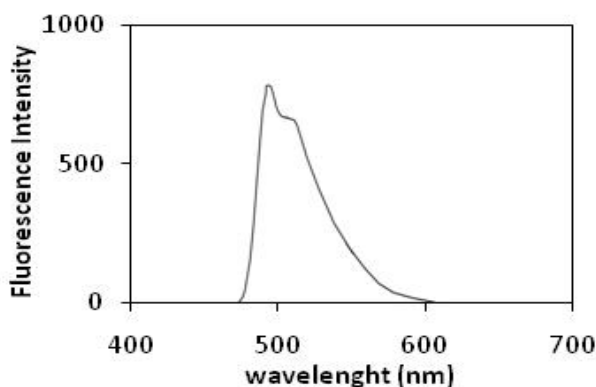
۲- Detergents

۳- Groundwater tracers, Davis et al. ۱۹۸۰

۴- Tracing technique in geohydrology, Käss ۱۹۹۸

۷-۱- مواد رنگی فلورسنت

مواد فلورسنت موادی هستند که برخورد نور به آن‌ها باعث افزایش تراز الکترون‌ها و ذخیره انرژی آن‌ها شده و پس از بازگشت الکترون‌ها به سطح تراز اولیه، انرژی به صورت نور گسیل شود. در صورتی انتشار این نور را فلورسنس می‌نامند که نیمه عمر آن حداقل یک نانو ثانیه باشد (Benischke ۲۰۰۱). شدت فلورسنس در حقیقت شدت نور ساطع شده در اثر این پدیده است که با غلظت ماده فلورسنت رابطه مستقیم دارد. هر ماده فلورسنت در یک طول موج خاص دارای حداکثر برانگیختگی است که این طول موج برای آن ماده ثابت است. هنگامی که ماده فلورسنت در این طول موج برانگیخته شود حداکثر پرتودهی را خواهد داشت. با توجه به این طول موج‌ها ماده فلورسنت شناسایی می‌شود. برای مثال طول موج برانگیختگی و پرتودهی اورانین به ترتیب ۴۹۰ و ۵۱۲ نانومتر می‌باشد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- طول موج برانگیختگی و پرتودهی اورانین

طیف‌سنجی فلورسنس، به عنوان بخش کوچکی از طیف‌سنجی نوری، خواص موادی را که تحت شرایط فیزیکی و یا در اثر واکنش‌های شیمیایی از خود نور منتشر می‌نمایند را بررسی می‌کند. از اواخر سال ۱۸۰۰ تا کنون مواد رنگی مختلفی برای ردیابی آب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی بکار رفته‌اند. کاربردهای گسترده مواد رنگی فلورسنت در ردیابی آب‌ها حدوداً از سال ۱۹۶۰ شروع شد.

از جمله مهمترین عواملی که ردیاب‌های فلورسنت را از سایر ردیاب‌ها متمایز می‌کند می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (نشریه ۲۵۷-الف وزارت نیرو، ۱۳۸۲):

- در مقایسه با نمک‌ها، در غلظت‌های کمتر از میکروگرم بر لیتر قابل اندازه‌گیری هستند.
 - استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سریع و آسان بوده و نیاز به آماده‌سازی نمونه ندارد.
 - در برخی موارد خصوصیات شیمیایی رنگ‌ها بهتر از نمک‌ها می‌باشد زیرا قسمت کاتیونی نمک‌ها در رسوبات رسی تحت تاثیر عمل تبادل یونی قرار می‌گیرد.
- برخی از ویژگی‌های ردیاب‌های فلورسنت در جدول ۱-۱ ارائه شده است.

جدول ۱-۱- گزیده‌ای از ویژگی‌های برخی ردیاب‌ها در شرایط مختلف (Ford and Williams ۱۹۹۲)

نام ردیاب	اورانین	پیرانین	اُوزین	رودامین B	رودامین WT
بیشترین طول موج برانگیختگی (nm)	۴۹۲	۴۰۵ و ۴۶۵	۵۱۵	۵۵۵	۵۵۴
بیشترین طول موج پرتودهی (nm)	۵۱۳	۵۱۲	۵۳۵	۵۸۲	۵۸۰
اثر pH بر شدت فلورسنس	در محیط اسیدی به سمت صفر	حداکثر	در محیط اسیدی در $pH > 5/5$ به سمت صفر	بدون اثر	بدون اثر
کاهش در اثر جذب	کم	کم	کم	خیلی زیاد	-
تجزیه فتوشیمیایی	زیاد	خیلی زیاد	-	کم	کم
حساسیت به دما	کم و معکوس	کم و معکوس	-	خیلی زیاد و معکوس	-

۸-۱- روش‌های تشخیص ماده رنگی فلورسنت در نمونه‌های آب

روش‌های مختلفی برای تشخیص ماده فلورسنت وجود دارد که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود:

الف- تشخیص بدون وسیله یا با لامپ UV

مواد رنگی در غلظت بالا با چشم غیر مسلح نیز قابل تشخیص می‌باشند. اگر نگاه به طرف یک زمینه سیاه باشد، به این ترتیب که نمونه روی صفحه سیاه رنگ قرار بگیرد تشخیص راحت‌تر و در غلظت کمتر نیز امکان‌پذیر می‌گردد. روش دقیق‌تر تابش نور فرابنفش با یک لامپ فرابنفش می‌باشد.

ب- تشخیص به وسیله یک فلوریمتر فیلتری

سنجش ردیاب‌ها در آب غالباً با استفاده از فلوریمترهای فیلتری^۱ انجام می‌شود. این دستگاه دارای کاربردی ساده بوده و با یک ژنراتور قابل حمل در محل نمونه برداری بکار گرفته می‌شود. در این فلوریمترها انرژی برانگیزنده توسط منبع نور قابل تعویضی ایجاد می‌شود که معمولاً یک لامپ جیوه‌ای فشار پایین یا بدون حفاظ فسفری می‌باشد. پرتو نور قبل از اینکه وارد سلول نمونه شود از درون یک فیلتر اولیه^۲ عبور می‌کند. فیلتر اولیه تحت زاویه قائمه نسبت به مسیر پرتو نور اولیه قرار دارد. شدت نور عبوری از فیلتر دوم^۳ با یک تقویت کننده نوری^۴ اندازه‌گیری و با یک پرتو نور استاندارد مقایسه می‌گردد. حساسیت دستگاه با تغییر مقدار انرژی برانگیزنده کنترل می‌گردد. نور لامپ برانگیزنده از فیلتری که نور عبوری از آن در نزدیکی جذب ماکزیمم رنگ است عبور کرده و ملکول‌های رنگ موجود در محلول را برمی‌انگیزد و سپس توسط فیلتر ثانویه یا مونوکروماتور فلورسنس پراکنده می‌شود (Benischke ۲۰۰۵).

۱- Filter fluorometer

۲- Primary filter

۳- Secondary filter

۴- Photomultiplier

ج- تشخیص توسط یک اسپکتروفلوریمتر دو مونوکروماتوری

در آنالیزهای ردیابی بهتر است که از یک اسپکتروفلوریمتر دو مونوکروماتوری^۱ جهت برانگیختگی و پرتودهی استفاده گردد. امروزه برای تشخیص یک ردیاب معین در نمونه‌ها از روشی که توسط لوید (Lloyd, ۱۹۷۱) ارائه شد، استفاده می‌شود. بر اساس این روش طول موج‌های برانگیختگی و پرتودهی همزمان در یک ناحیه طیفی مورد نظر تغییر می‌نمایند. مواد رنگی فلورسنت مورد استفاده طوری هستند که اختلاف بین طول موج حداکثر برانگیختگی و پرتودهی آن‌ها کم و بیش ثابت است. برتری این روش این است که تنها یک نمونه و یک طیف برای تشخیص اورانین، ائوزین، سولفورودامین و رودامین مورد نیاز است. جدول ۱-۲ حد تشخیص تعدادی از مواد رنگی فلورسنت را در آب نشان می‌دهد. این مقادیر ممکن است بسته به کیفیت آب، مقدار زمینه طبیعی و نوع دستگاه اندازه‌گیری تغییر یابند.

جدول ۱-۲- محدوده تشخیص تعدادی از مواد رنگی فلورسنت در حلال آب (Benischke ۱۹۹۱)

ردیاب	محدوده تشخیص (mg/m ^۳)
Uranine	۰،۰۰۱ - ۰،۰۲۵
Eosine	۰،۰۵۰ - ۰،۵
AmidorhodamineG	۰،۰۰۱ - ۰،۰۵
RhodamineB	۰،۰۱۰ - ۰،۵
Pyranine	۰،۰۰۸ - ۰،۵
Tinopal CBS-X	۰،۴

۱- Two monochromator spectrofluorometer

امروزه فلوریمترهای صحرایی پیشرفته‌ای برای استفاده در چاه و جریان‌های سطحی ساخته شده‌اند^۱ (شکل ۱-۲).

این دستگاه‌ها به طور اتوماتیک غلظت ردیاب را با فواصل زمانی قابل تنظیم در آب نشان می‌دهند.



شکل ۱-۲ - فلوریمترهای صحرایی برای آشکار سازی ردیاب در آب سطحی (سمت راست) و زیرزمینی (سمت چپ)

د- تشخیص توسط ذغال فعال

ردیاب‌های فلورسنت می‌توانند به وسیله کربن فعال جذب شوند. در این روش کیسه‌های کوچک حاوی دانه‌های کربن فعال در آب قرار داده می‌شوند. پس از جمع آوری و شستشوی نمونه‌ها فلورسنس محلول حاصل از شستشوی آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. روش کار به این نحو است که در آزمایشگاه حدود ۰/۵ گرم ذغال خشک شده را داخل لوله‌های آزمایش ریخته و پس از اضافه کردن حجم معینی از مخلوط شستشو (۷ میلی‌لیتر) نمونه را بخوبی تکان داده و به مدت ۲ ساعت در تاریکی قرار می‌دهند. پس از ته نشین شدن مواد جامد فلورسنس، محلول مورد آنالیز قرار می‌گیرد.

۱- <http://www-Geo.Unine.ch/GEOMAGNETISME/tract.html>



شکل ۱-۳- دانه‌های ذغال فعال

فصل دوم

مروري بر ادبيات فني موجود و تحقيقات پيشين

۲-۱- تاریخچه‌ای از عملیات ردیابی

نخستین تجربه‌های ثبت شده بشر در زمینه ردیابی، در زمره روش‌های ردیابی مصنوعی بوده است. یکی از این تجربه‌ها که بیش از ۱۹۰۰ سال از آن می‌گذرد و مربوط به شخصی به نام فیلیپوس می‌باشد. او برای پی بردن به منشأ چشمه‌ای در منطقه اردن اقدام به تزریق گاه در برکه‌ای نمود. گاه مزبور از محل چشمه‌ای در غار پانیوم^۱ که سرچشمه رودخانه اردن شناخته می‌شد، خارج گردید. برکه فوق‌الذکر امروزه دریاچه برخات رام^۲ نامیده می‌شود که در بانیا س قرار دارد (Käss ۱۹۹۸).

تجربه فیلیپوس قرن‌ها بعد در سده هفده میلادی به وسیله مایر^۳ در سوابین آلب^۴ در جنوب غرب آلمان با تزریق گاه و خاک اره در یک دولین^۵ و دریافت آن در چشمه‌ای در پایین دست تکرار شد. نخستین تجربه علمی ردیابی آب زیرزمینی که نتایج نیمه کمی^۶ نیز از آن به دست آمد در تابستان ۱۸۷۲ در شمال سوئیس و به منظور پی‌جویی سرچشمه میکروب حصبه انجام شد. در سال ۱۸۷۷ سه ردیاب روغن شیلی^۷، نمک و اورانین به طور همزمان در منطقه دانوب که امروزه یکی از شناخته شده‌ترین مکان‌های مطالعاتی برای ردیابی جریان‌های فرورو در اروپا می‌باشد تزریق گردید و پس از دو روز در چشمه آخ^۸ آشکار شد. در این آزمایش اورانین نخستین بار به عنوان ردیاب مورد استفاده قرار گرفت. از آن پس تا کنون اورانین به عنوان یکی از پر کاربردترین ردیاب‌ها در مطالعات آب‌های زیرزمینی به کار گرفته می‌شود. در سال ۱۹۰۱ با اختراع فلئوئروسکوپ توسط تریلیت^۹ و افزایش دقت اندازه‌گیری فلورسنس مواد رنگی، استفاده از این مواد به عنوان ردیاب‌های آب زیرزمینی کاربرد

۱- Panium

۲- Berekhat Ram

۳- M. J. Mayer

۴- Swabian alb

۵- Doline

۶- Semi quantitative

۷- Shale oil

۸- Aach

۹- Trillate

گسترده‌ای یافت. در ۱۹۰۴ باکتری‌ها همراه با اورانین به عنوان ردیاب آب زیرزمینی برای ردیابی منشاء آلودگی در استراسبورگ مورد استفاده قرار گرفتند. پس از جنگ جهانی دوم روش‌های ردیابی به سرعت توسعه یافتند. در کشور ما نیز در سال ۱۳۶۵ نخستین تجربه ردیابی آب‌های زیرزمینی در کرمانشاه و پس از آن در تکیه‌گاه سد لار در شمال تهران انجام شد. در ۱۹۵۰ ردیاب‌های رادیواکتیو همچون ید ۱۳۱ به کار گرفته شدند. در مراحل نخست غلظت‌های مورد استفاده بسیار زیاد بوده ولی امروزه به خاطر ملاحظات زیست‌محیطی، استفاده از غلظت‌های بالا مجاز نمی‌باشد. در پایان دهه پنجاه میلادی با ابداع شتاب دهنده‌های فتوالکترونیک، روش‌های سنجش آزمایشگاهی پیشرفت چشمگیری نمود و سرعت اندازه‌گیری‌ها بسیار زیاد شد. نخستین استفاده‌های نمک پتاسیم و آنالیز آن به روش نشر شعله‌ای^۱ در سال ۱۹۶۴ صورت گرفت (Käss ۱۹۹۸).

در دهه‌های گذشته استفاده از گازهای CFC^۲ به عنوان ردیاب که به صورت مصنوعی از آغاز دهه ۶۰ وارد اتمسفر شده‌اند رواج یافته که البته به دلیل پیچیدگی و پرهزینه بودن روش سنجش، بویژه در کشور ما رواج پیدا نکرد. یکی از بهترین و دقیق‌ترین کارهای انجام شده بر روی ردیاب‌ها و کارایی آن‌ها به وسیله اسمارت و لیدلا (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷) از دانشگاه‌های بریستول و شفیلد انگلستان ارائه شد. در این پژوهش مشترک کارایی هشت ردیاب رنگی فلورسنت آمینو جی اسید، فوتین، اورانین، لیسامین، پیرانین، رودامین B، رودامین WT و سولفورودامین G در شرایط آزمایشگاهی و صحرایی ارزیابی و مقایسه شد. در سال ۱۹۸۵ چهار تن از پژوهشگران دانشگاه آریزونا در یک پروژه مشترک با آزمایشگاه تحقیقات زیست‌محیطی کر^۳ در آمریکا مجموعه‌ای از ردیاب‌های مهم و کاربردی در مطالعات آب‌های زیرزمینی شامل ذرات جامد، باکتری‌ها، ویروس‌ها، یون‌ها، ردیاب‌های رنگی و ... را در گزارش خود معرفی نمودند (Davis ۱۹۸۵). یکی از جدیدترین مطالعات صورت گرفته بر روی

۱- Flame Photometry

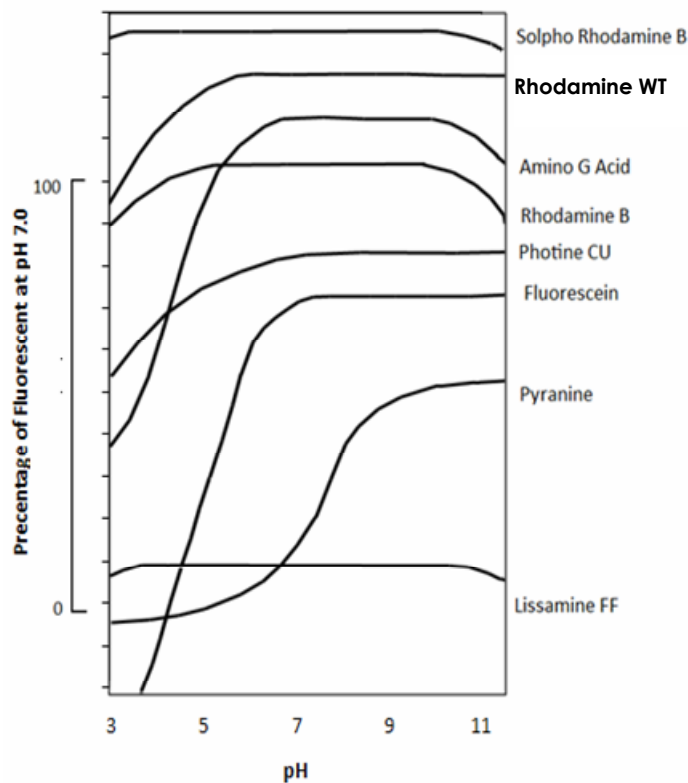
۲- Chlorofluorocarbons

۳- Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory

ویژگی‌های ردیاب‌ها در سال ۲۰۰۶ توسط آماتاچ و کولا (Kola and Amataj ۲۰۰۶) ارائه شد. این محققین در پژوهش خود اثر pH، دما و اکسیداسیون را بر روی اورانین، رودامین WT و سولفورودامین G بررسی کردند. با رواج تکنیک‌های ردیابی و گسترش استفاده از ردیاب‌های فلورسنت، شناخت نقاط قوت و ضعف هر ردیاب در برابر شرایط مختلف محیط زمین‌شناسی و ارزیابی کارایی آن‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای است. امروزه نیز این تحقیقات از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و با جزئیات بیشتری ادامه دارد.

۲-۲- اثر pH بر ردیاب‌ها

لیندکوئیست (Lindqvist ۱۹۶۰) از افرادی بود که ارتباط شدت فلورسنس با تغییرات pH را به طور کامل مورد بررسی قرار داد. شکل ۱-۲ توسط فورستین و سیلک (Feuerstein and Selleck ۱۹۶۳) به دست آمده است که تغییرات شدت فلورسنس تعدادی از ردیاب‌ها را با pH نشان می‌دهد.

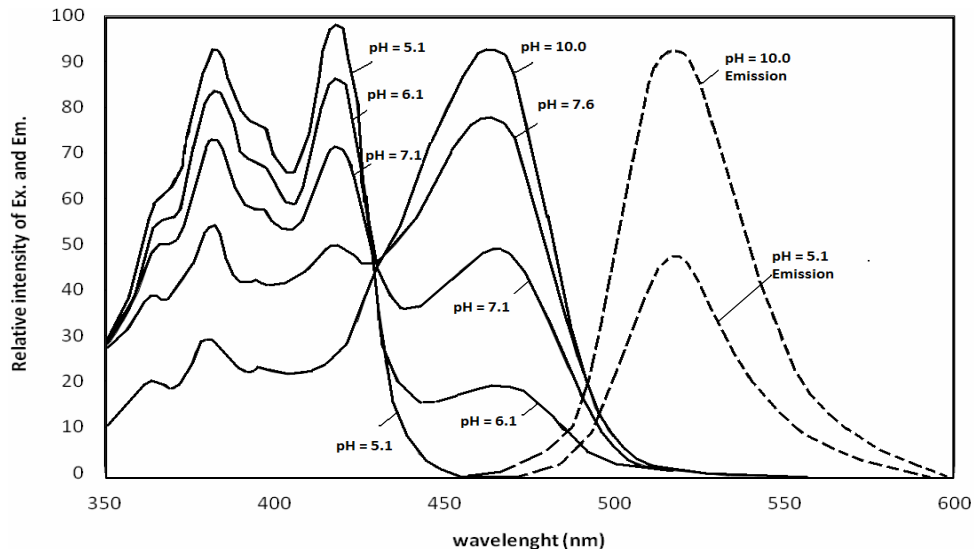


شکل ۲-۱- اثر pH بر فلورسنس برخی ردیابها (Feuerstein and Selleck ۱۹۶۳) این دو محقق برای تغییر دادن pH از HCl و NaOH استفاده کردند. طبق نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در pH های ۴ تا ۱۰ در فلورسنس حاصل از لیسامین FF و سولفورودامین B تغییر قابل توجهی به وجود نمی‌آید. فلورسنس حاصل از رودامین B و رودامین WT در pH های کمتر از ۵، آمینواسید G در pH های کمتر از ۶ و اورانین و فوتین CU در pH های کمتر از ۶/۵ به شدت کاهش پیدا می‌کنند. پیرانین همان طور که در شکل ۲-۱ دیده می‌شود، حتی در pH های معمول آب‌های طبیعی نیز به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد.

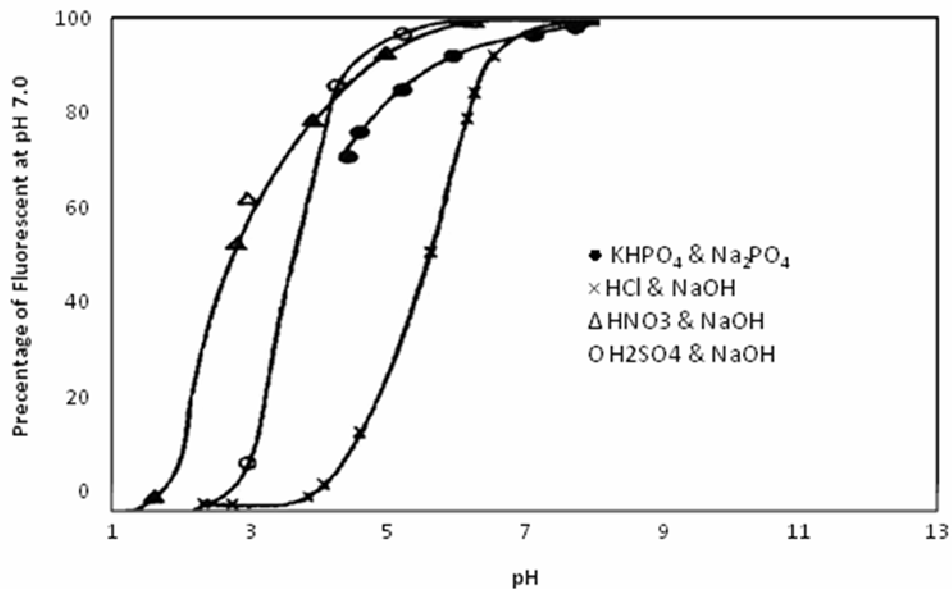
اسمارت و لیدلا (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷) با بررسی اثر pH بر پیرانین و رودامین WT نشان دادند با افزایش یا کاهش pH، تغییری در میزان شدت فلورسنس رودامین WT به وجود نمی‌آید در حالی که با تغییرات pH پیرانین به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد (شکل‌های ۲-۲ و ۲-۳).

طبق نتایج تحقیقات ولفبیس و همکاران (Wolfbeis et al. ۱۹۸۳) کاهش pH منجر به از بین رفتن فلورسنس پیرانین خواهد شد (شکل ۲-۴). فورد و ویلیامز (Ford and Williams ۱۹۸۹) با

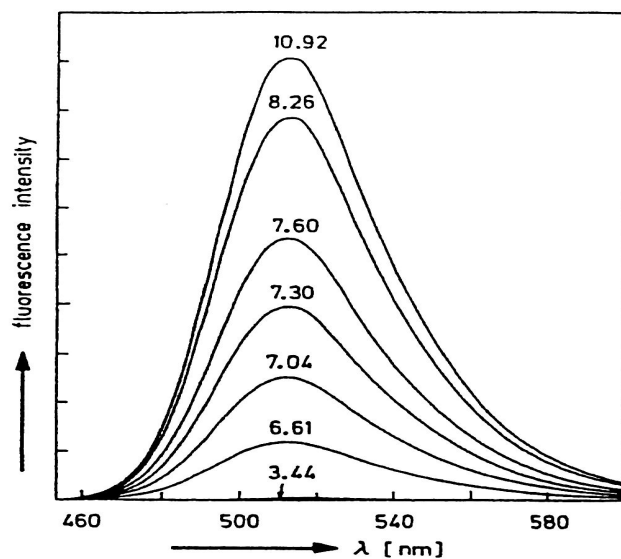
بررسی اثر pH بر رودامین B بیشترین پرتودهی این ردیاب را در pH بین ۵-۹ و کاهش پرتودهی اورانین را در pH های اسیدی گزارش کردند.



شکل ۲-۲- طیف برانگیختگی و پرتودهی پیرانین با تغییرات pH (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷)



شکل ۲-۳- تغییرات FI رودامین WT در pH های مختلف با استفاده از چند نوع اسید (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷)



شکل ۲-۴- شدت فلورسنس پیرانین در pH های مختلف (Wolfbeis et. al ۱۹۸۳)

طبق عقیده الی (Aley ۱۹۹۹) مقدار فلورسنس یک ردیاب به pH محلولی که ردیاب در آن حل شده و نوع و ترکیب آن محلول بستگی دارد. او پنج ردیاب را در آزمایشگاهی^۱، مورد آزمایش قرار داد و نتیجه گرفت که این ردیابها در pH بالاتر از ۱۰ حداکثر فلورسنس خود را دارند و کاهش pH منجر به کاهش شدت فلورسنس خواهد شد. طبق تحقیقات بنیشکه (Benischke ۲۰۰۱) در غلظت‌های بالا، اثر pH بر روی شدت فلورسنس کمتر می‌شود و با افزایش pH شدت فلورسنس محلول تغییر چندانی نمی‌کند. آماتاج و کولا (Kola and Amataj ۲۰۰۶) اثر pH بر روی شدت فلورسنس سه ردیاب اورانین، رودامین WT و سولفورودامین G را بررسی کردند. طبق نتایج آن‌ها در pH کمتر از ۷/۸۷ شدت فلورسنس اورانین به شدت کاهش می‌یابد تا اینکه در pH حدود ۱/۶۶ به ۳/۵٪ مقدار اولیه خود می‌رسد و در pH بالاتر از ۷/۸۷ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. لیونز و همکاران (Lyons ۱۹۹۳) نیز از دیگر محققینی هستند که اثر pH بر تعدادی از ردیابها را گزارش کرده‌اند. با توجه به تحقیقات فوق می‌توان نتیجه گرفت، pH از جمله فاکتورهای مؤثر بر ویژگی فلورسنس ردیابها بوده و اثر آن بر ردیابهای مختلف متفاوت است. به طور کلی ردیابها حداکثر فلورسنس

۱- The Ozark Underground Laboratory

خود را در محیط قلیایی به دست می‌آورند. در حالی که محیط اسیدی منجر به از بین رفتن ویژگی فلورسنس آن‌ها می‌شود. هوگان و زیمرمن (Hogan and Zimmermman ۱۹۷۷) نیز از دیگر محققینی هستند که اثر pH بر اورانین را مورد بررسی قرار داده‌اند.

۲-۳- اثر نور بر ردیاب‌ها

نور ممکن است باعث تجزیه فتوشیمیایی ماده رنگی شود. این تجزیه ممکن است ناشی از تابش طبیعی نور خورشید و یا در اثر نور موجود در آزمایشگاه و یا هر نور مصنوعی دیگری باشد. نرخ تجزیه فتوشیمیایی بسیاری از ردیاب‌ها از رابطه زیر پیروی می‌کند:

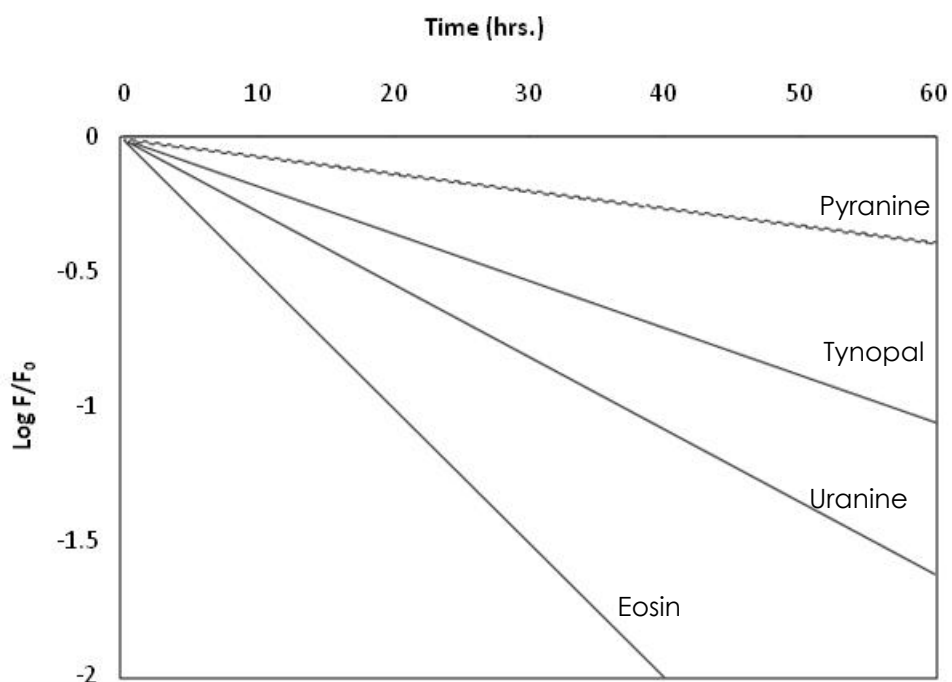
$$F = F_0 \cdot e^{-kt} \quad (۱-۲)$$

در این رابطه F_0 فلورسنس اولیه، F فلورسنس در زمان t و k ضریب واپاشی می‌باشد. جدول ۱-۲ ضریب واپاشی چند نوع ردیاب را که توسط محققین مختلف به دست آمده نشان می‌دهد. طبق تحقیقات بنیشکه (Benischke ۲۰۰۱) نرخ واپاشی اورانین بسیار بالاست، و در معرض نور خورشید به سرعت دچار واپاشی می‌شود. سولفورودامین B کمتر از رودامین B و لیسامین FF کمتر از آن دو دچار واپاشی می‌شود. فوتین CU و اورانین در معرض نور به شدت دچار واپاشی می‌شوند، که این ویژگی، مانع استفاده از آن‌ها در مطالعات کیفی ردیابی آب‌های سطحی خواهد شد (Davis et al ۱۹۸۰). پیرانین از گذشته به عنوان یک ردیاب پایدار در نور معرفی شده است (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷). رودامین B، رودامین WT، سولفورودامین B و لیسامین FF دارای نرخ تجزیه فتوشیمیایی کمی هستند نرخ این فروپاشی تا اندازه‌ای است که در آزمایش‌هایی که تا یک هفته طول بکشد مشکلی ایجاد نمی‌شود (Benischke ۲۰۰۵).

جدول ۱-۲- ضریب واپاشی ردیاب‌های مختلف در برابر نور

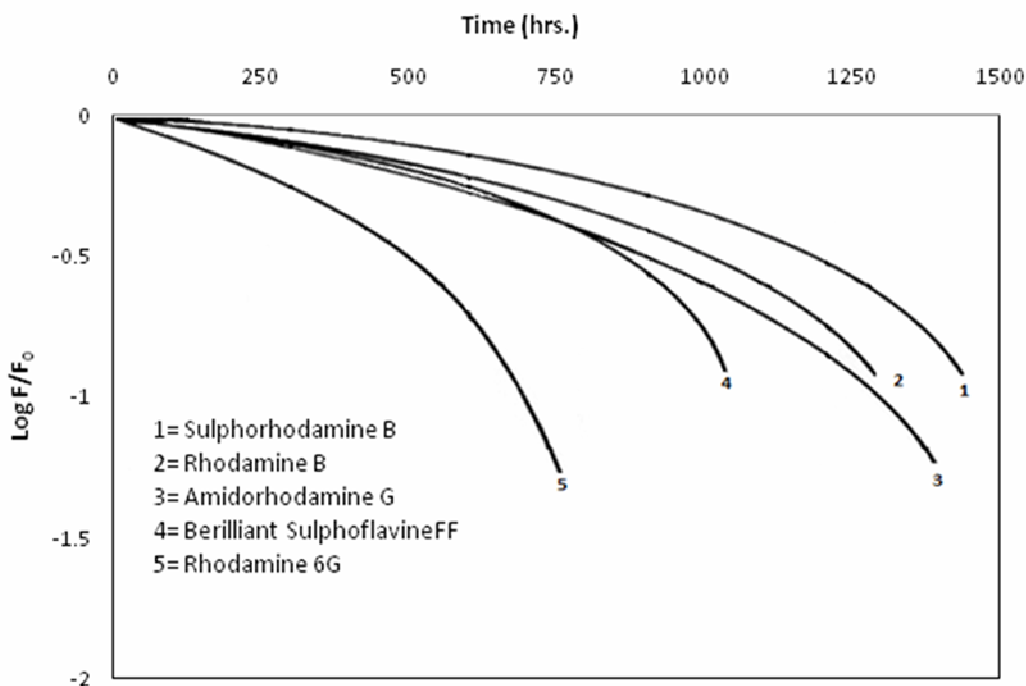
شرایط	نام ردیاب							منبع
	AminoG acid	Uranine	Lissamine FF	Pyranine	Rhodamine B	Rhodamine WT	SulphoRhodamine B	
Artificial light					1.7×10^{-5}			Pritchard and Carpenter (1960)
Sunny		1.3×10^{-1}			1.7×10^{-4}			
Cloudy		5.1×10^{-2}			4.5×10^{-3}		2.0×10^2	Feuerstein and Selleck (1963)
Sunny		2.6×10^{-1}			2.2×10^{-2}		1.0×10^2	
Minimum rate		4.5×10^{-2}	.		3.6×10^{-2}		4.4×10^2	Yates and Akesson (1963)
Maximum rate		3.9×10^{-1}	4.6×10^{-1}		1.2×10^0		6.4×10^1	
Sunny $10 \mu\text{gl}^{-1}$					5.6×10^{-4}		5.6×10^4	Watt (1965)
Sunny					3.4×10^{-4}		3.4×10^4	
Cloudy		1.5×10^{-2}	8.0×10^{-4}				1.8×10^2	Smat and Laidlaw (1977)
Sunny		2.6×10^{-1}					1.0×10^2	
6 hours under Sunny	1.6×10^{-2}	9.5×10^{-2}	1.0×10^{-4}	1.2×10^{-1}	8.3×10^{-3}	1.5×10^3	5.6×10^2	Aboud et al. (1969)
6 hours under 600 W lamp	3.7×10^{-4}	1.3×10^{-2}	1.0×10^{-4}	1.6×10^{-2}	1.5×10^{-4}	$< 1.0 \times 10^4$	$< 1.0 \times 10^4$	

در شکل ۲-۵ نمودار مربوط به نتایج آزمایش بررسی نرخ تجزیه و فروپاشی فتوشیمیایی چهار نوع ردیاب شامل اورانین، اتوزین، پیرانین و تینوپال CBX در برابر نور مصنوعی نشان داده شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است نرخ فروپاشی اتوزین نسبت به سه ردیاب دیگر یعنی اورانین، تینوپال CBSX و پیرانین بیشتر است. پایدارترین ردیاب از بین این چهار نوع، پیرانین می باشد و تینوپال CBSX و اورانین در رده های بعدی از نظر پایداری فتوشیمیایی قرار دارند.



شکل ۲-۵- زوال فلورسنس چند ردیاب مختلف در برابر نور روزانه مصنوعی. (Benischke ۲۰۰۱)

شکل ۲-۶ تغییرات شدت فلورسنس برخی از انواع رودامین را در اثر تجزیه فتوشیمیایی با نور مصنوعی نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای شکل ۲-۶ سولفورودامین B از بین ردیاب‌های رودامین B، آمیدورودامین G، بریلیان سولفوفلاوین FF و رودامین ۶G با سرعت کمتری دچار واپاشی شده و بنابراین دارای مقاومت بیشتری در برابر تجزیه فتوشیمیایی می‌باشد.



شکل ۲-۶- فروپاشی انواع رودامین در محلول آب در برابر نور روزانه مصنوعی (Beischke ۲۰۰۱)

۴-۲- اثر دما بر ردیاب‌ها

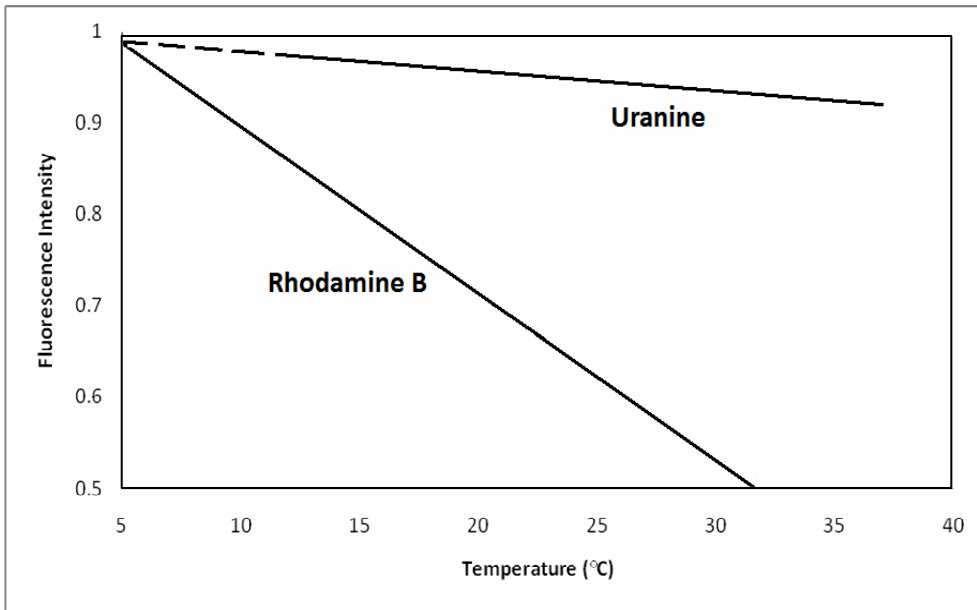
پایداری در برابر دما، از ویژگی‌های مهم یک ردیاب است که در شرایطی مثل بالا رفتن دمای دستگاه اسپکتروفلئورومتتر و نیز تزریق در سیستم‌های هیدروترمال اهمیت خود را نشان می‌دهد. دان و واپل (Dunn and Vaupel ۱۹۶۵) نشان دادند تغییرات دما بر روی عملکرد فیلتر فلوریمتر اثر می‌گذارد. بازده دستگاه فلوریمتر با روشن شدن و گرم شدن تدریجی دستگاه به تدریج افزایش می‌یابد. این محققین روشی را برای تصحیح قرائت‌های دستگاه فلوریمتر بر اساس دمای سلول نمونه‌ی دستگاه فلوریمتر ارائه کردند. آویلوف و همکارانش (Avilov et al. ۲۰۰۵) نشان دادند با افزایش دما ساختار ردیاب تغییر می‌کند و بخشی از خاصیت فلورسنس خود را از دست می‌دهد. در سال ۱۹۷۹ کاربرد اورانین در آمریکا در دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۹۸۹ استفاده از آن را در ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد در آلمان گزارش شده است. فلورسنس رودامین B شدیداً به دما وابسته می‌باشد. به همین دلیل آنالیز نمونه‌های رودامین B باید در دمای استاندارد یعنی ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد صورت

گیرد (Benischke ۲۰۰۱). شکل ۲-۷ تغییرات شدت فلورسنس دو ردیاب اورانین و رودامین B را در دماهای مختلف نشان می‌دهد. فلورسنس فوتین CU نیز تحت تاثیر تغییرات دما قرار می‌گیرد بنابراین این مسئله باید در آنالیزهای کیفی مورد نظر باشد. شکل ۲-۸ نمودارهای تصحیح دما را برای هشت ردیاب نشان می‌دهد. طبق عقیده اسمارت و لیدلا (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷) وابستگی شدت فلورسنس به دما از رابطه زیر پیروی می‌کند:

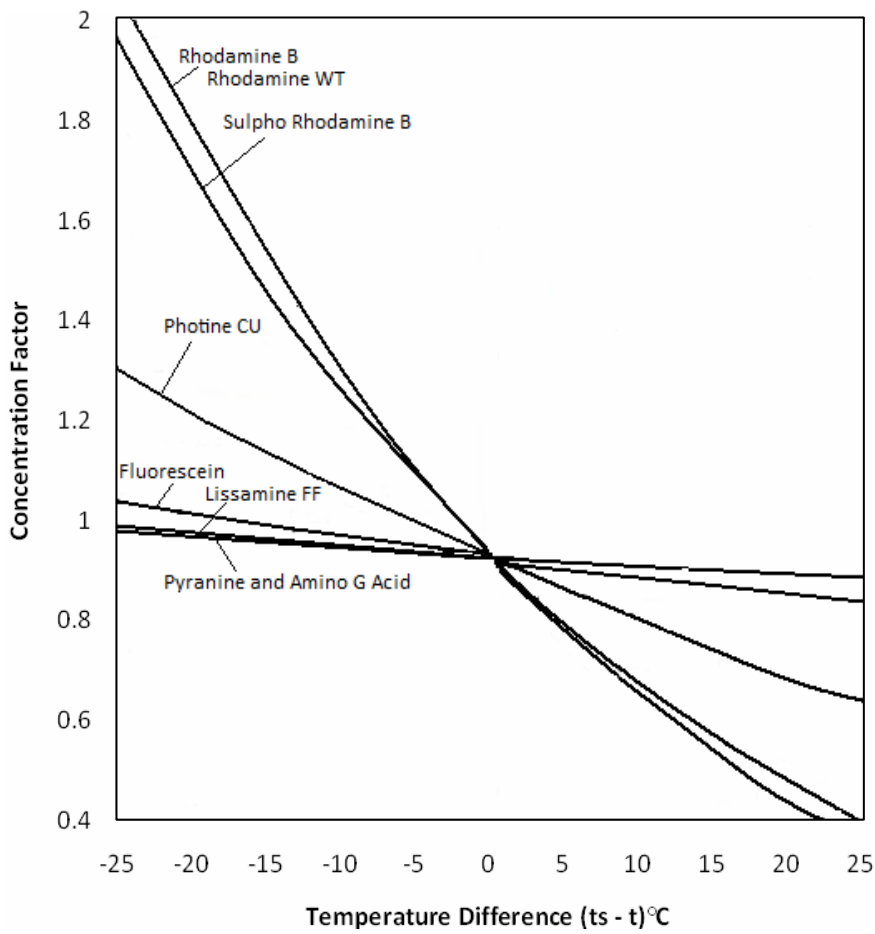
$$F = F_0 \cdot e^{nt} \quad (2-2)$$

در این رابطه F فلورسنس در دمای t و F_0 فلورسنس در صفر درجه و n ثابتی است که برای هر ردیاب به دست می‌آید. ثابت دمایی تعدادی از ردیاب‌ها در جدول ۲-۲ ارائه شده است. هدایت و مقاومت الکتریکی آب که در این پژوهش به عنوان شاخصی از غلظت ردیاب‌های نمکی در نظر گرفته شده است به شدت به دما وابسته می‌باشد، به همین دلیل همه اندازه‌گیری‌ها در ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌شود. چگونگی تغییر هدایت الکتریکی با دما به ترکیب ماده حل شده در آب و غلظت آن وابسته است (Thornton and Light ۱۹۸۹). به این ترتیب در آب‌هایی با هدایت الکتریکی ۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر یا کمتر هدایت الکتریکی آب به ازای هر درجه سانتی‌گراد در حدود ۰.۲٪ افزایش می‌یابد و در آب‌هایی با هدایت الکتریکی بیشتر از ۵ میکروزیمنس بر سانتی‌متر این پارامتر به ازای هر درجه سانتی‌گراد حدود ۵ درصد افزایش خواهد یافت (ASTM ۲۰۰۰). با توجه به افزایش هدایت الکتریکی به ازای افزایش دما، در اندازه‌گیری‌های هدایت الکتریکی دما را با تعریف ثابت دمایی مربوط به هر دستگاه، ثابت می‌گیرند. بنابراین با تغییر درجه حرارت برای یک غلظت خاص، تغییری در هدایت الکتریکی قرائت شده به وجود نمی‌آید. در این صورت افزایش هدایت الکتریکی تنها متناظر با افزایش غلظت یون‌ها خواهد بود.

به این ترتیب با توجه به نتایج این تحقیقات در واقع دما، یکی دیگر از فاکتورهای مؤثر بر ویژگی فلورسنس ردیاب‌ها می‌باشد. افزایش دما می‌تواند منجر به از بین رفتن بخشی از فلورسنس ردیاب‌ها شود. نرخ کاهش فلورسنس ردیاب‌ها بسته به ضریب دمایی آن‌ها متفاوت است.



شکل ۲-۷- وابستگی فلورسنس اورانین و رودامین B به دما (Benischke ۲۰۰۱)



شکل ۲-۸- نمودار تصحیح دما برای تعدادی از ردیاب‌های فلورسنت (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)

جدول ۲-۲- ثابت دمایی برخی از ردیاب‌ها (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)

ردیاب	ثابت دمایی (°C ⁻¹)
Amino G Acid	-۰.۰۰۱۹
Photine CU	-۰.۰۱۲
Fluoresceine	-۰.۰۰۳۶
Lissamine FF	-۰.۰۰۲۰
Pyranine	-۰.۰۱۹
Rhodamine B	-۰.۰۲۷
Rhodamine WT	-۰.۰۲۷
Sulpho Rhodamine B	-۰.۰۲۹

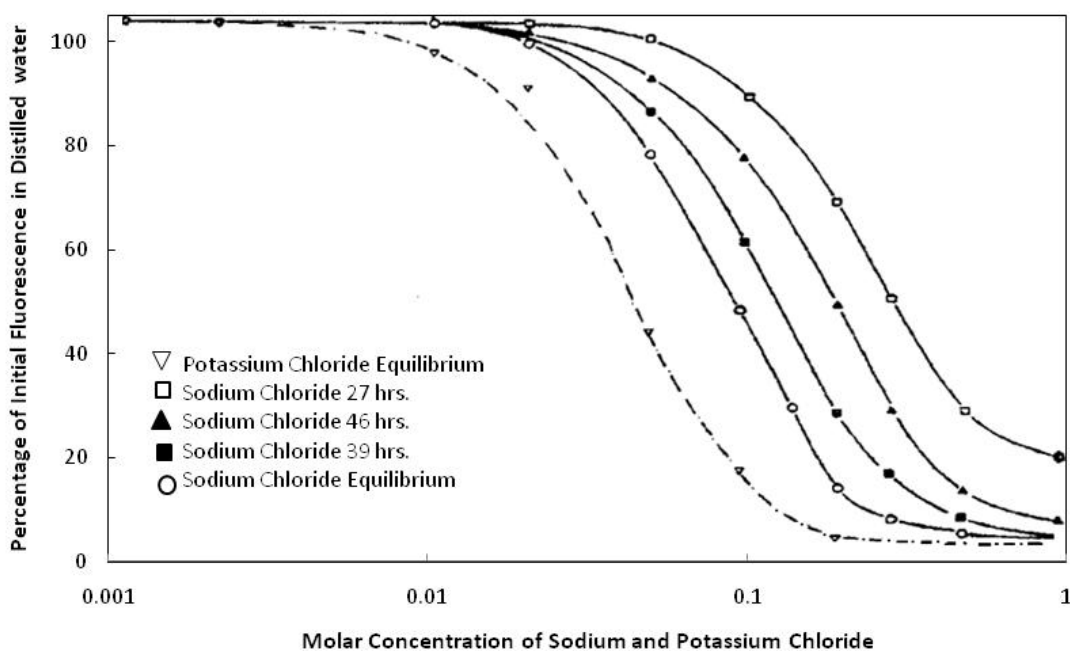
۲-۵- اثر شوری بر ردیاب‌ها

فورستین و سلک (Feuerstein and Selleck ۱۹۶۳) با ارزیابی اثر شوری بر روی تعدادی از ردیاب‌های فلورسنت به این نتیجه رسیدند که در آب‌های با کلر بیشتر از ۱۸ گرم بر لیتر، ردیاب‌هایی مثل رودامین B، سولفورودامین B به طور مشخصی تحت تاثیر قرار می‌گیرند. اسمارت و لیدلا (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷) اثر دو غلظت متفاوت کلر را بر روی فلورسنس حاصل از هشت ردیاب مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج تحقیق آن‌ها، افزایش شوری شدت فلورسنس رودامین B، رودامین WT و سولفورودامین B را کاهش می‌دهد اما بر روی سایر ردیاب‌های مورد بررسی اثری ندارد. جدول ۲-۳ نتایج حاصل از آزمایش‌های مزبور را نشان می‌دهد. شکل ۲-۹ اثر کلرید سدیم و کلرید پتاسیم را در زمان‌های مختلف بر روی فلورسنس حاصل از رودامین WT نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودار دیده می‌شود تفاوت عمده‌ای بین اثر شوری حاصل از کلرید سدیم و کلرید پتاسیم بر روی این ردیاب وجود دارد بنابراین نوع کاتیون نمک نیز بر کاهش شدت فلورسنس مؤثر است. هم چنین نتایج حاصل از این آزمایش نشان می‌دهد که تاثیر نمک به صورت آنی نبوده و با گذشت زمان بر روی ردیاب اثر می‌گذارد. به این ترتیب در محیط‌های شور بعد از گذشت یک دوره زمانی ۳۰۰ ساعته، کاهش زیادی در مقدار ردیاب به وجود خواهد آمد.

از این مطالب می‌توان نتیجه گرفت که شوری نیز از دیگر فاکتورهای مؤثر بر ویژگی فلورسنس است که می‌تواند ردیاب‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. افزایش شوری می‌تواند منجر به کاهش فلورسنس در تعدادی از ردیاب‌ها شود. علاوه بر درصد شوری محیط، نوع ماده‌ای که منجر به شوری در محلول شده نیز در عملکرد ردیاب‌ها مؤثر است.

جدول ۲-۳- درصد فلورسنس در آب شور (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)

ردیاب	غلظت کلرید سدیم	
	۰.۱M	۰.۵M
Amino G Acid	۱۰۰	۱۰۰
Photine CU	۱۰۰	۱۰۰
Fluorescein	۱۰۰	۱۰۰
Lissamine FF	۱۰۰	۱۰۰
Pyranine	۱۰۰	۱۰۰
Rhodamine B	۱۰۰	۹۸
Rhodamine WT	۹۷	۹۲
Sulpho rhodamine G	۱۰۰	۹۶

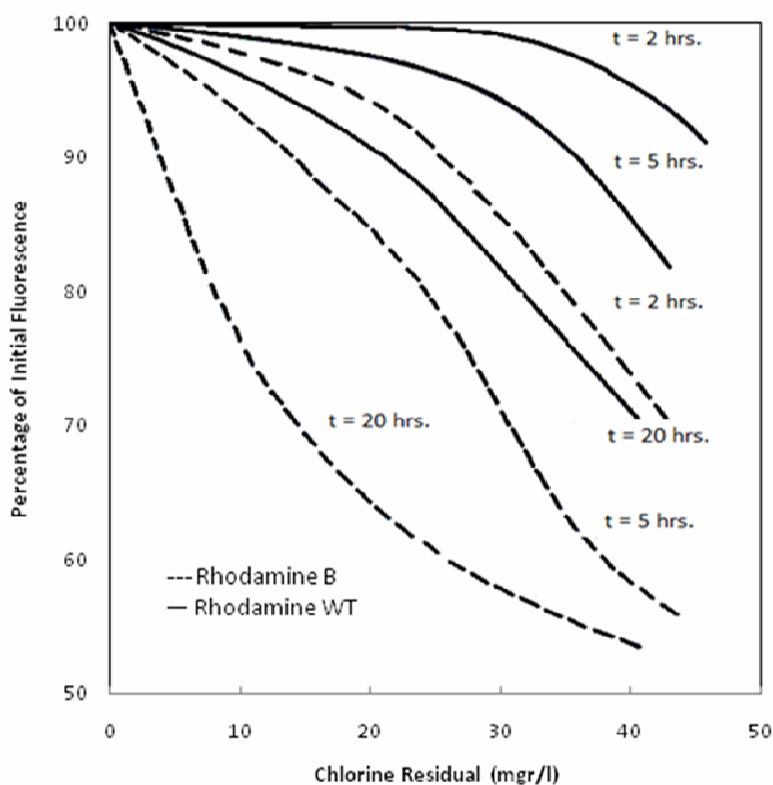


شکل ۲-۹- اثر کلرید سدیم و پتاسیم بر روی فلورسنس حاصل از رود امین WT (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)

۲-۶- اثر کلر بر ردیابها

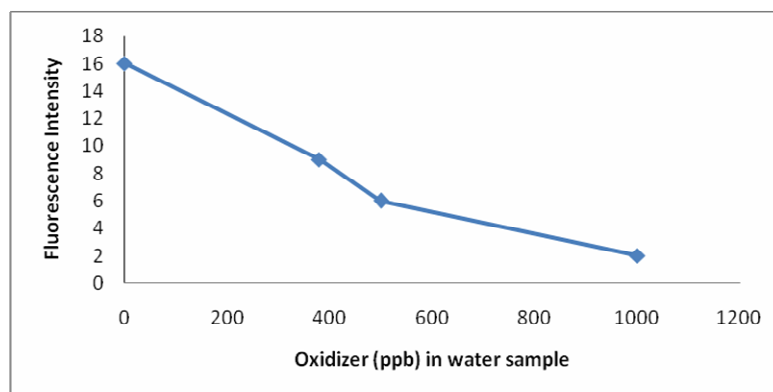
کلر یکی از مهمترین مواد تصفیه آب می باشد که دارای ویژگی گندزدایی بالایی است. در مواردی ممکن است عملیات ردیابی آب در منطقه ای صورت بگیرد که آب آن مورد تصفیه قرار گرفته و حاوی کلر آزاد باقی مانده باشد. به همین دلیل مطالعات محدودی بر روی تاثیر این ماده بر روی ردیابها صورت گرفته است که در ادامه به آنها اشاره می شود.

دینر (Deaner ۱۹۷۳) اثر کلر باقی مانده را بر روی رود امین B و رود امین WT بررسی کرد. او نشان داد که افزایش کلر باقی مانده کاهش شدیدی در شدت فلورسنس این ردیابها به وجود می آورد که از غلظت اولیه آنها مستقل است (شکل ۲-۱۰). طبق این تحقیقات، رود امین WT مقاومت بیشتری نسبت به رود امین B در برابر اکسیداسیون دارد.

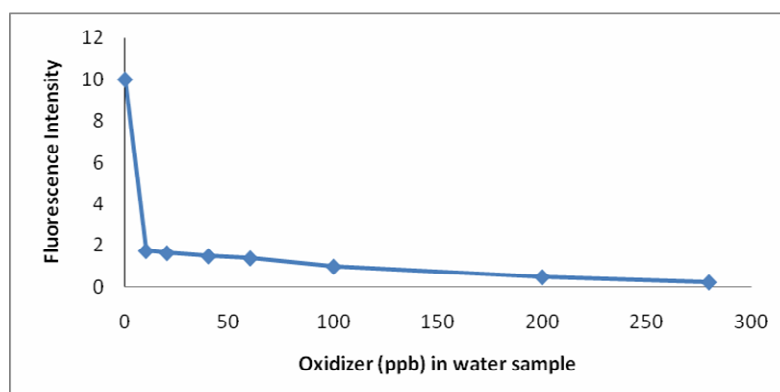


شکل ۲-۱۰- اثر کلر بر فلورسنس رود امین B و WT (Deaner ۱۹۷۳)

آماتاج و کولا (Amataj and Kola ۲۰۰۶) اثر اکسیداسیون را بر روی شدت فلورسنس اورانین، رودامین WT و سولفورودامین G بررسی کردند. آن‌ها از هیپوکلرید سدیم (NaOCl) (یکی از ضد عفونی کننده‌های منابع آب) به عنوان اکسیدکننده استفاده کردند. با افزایش تدریجی غلظت ماده اکسیدکننده شدت فلورسنس کاهش یافت. با رسیدن غلظت ماده اکسیدکننده به ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر شدت فلورسنس اورانین به ۴/۴ درصد مقدار اولیه خود رسید. شکل‌های ۲-۱۱ و ۲-۱۲ تغییرات شدت فلورسنس اولیه اورانین و سولفورودامین G را با اضافه کردن هیپوکلرید سدیم نشان می‌دهند. هم چنین با افزایش زمان ماندگاری، عامل اکسیدکننده در محلول شدت فلورسنس بیشتر کاهش می‌یابد. بنابراین زمان، عامل مهمی در تغییرات شدت فلورسنس است (جدول ۲-۴).



شکل ۲-۱۱- اثر هیپوکلرید سدیم بر روی شدت فلورسنس اورانین (Kola and Amataj ۲۰۰۶)



شکل ۲-۱۲- اثر هیپوکلرید سدیم بر روی شدت فلورسنس سولفورودامین G
(Kola and Amataj ۲۰۰۶)

جدول ۲-۴- تغییرات شدت فلورسنس سولفورودامین G با گذشت زمان (Kola and Amataj ۲۰۰۶)

نام نمونه	غلظت (میکروگرم بر لیتر)	شدت فلورسنس	زمان (دقیقه)
TFSRG	۰,۱۰۰	۶,۲۶۱	۰
TFSRG	۰,۰۵۵	۳,۴۲۹	۱۵
TFSRG	۰,۰۳۴	۲,۱۱۴	۳۰

۲-۷- جذب ردیاب‌ها توسط مواد رسوبی

در ردیابی، مقاومت و پایداری در برابر جذب یکی از مهمترین پارامترها برای انتخاب ردیاب مناسب است. فرایند جذب ردیاب توسط رسوبات برگشت ناپذیر است (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷). به دلیل اهمیت این موضوع، تست‌های آزمایشگاهی زیادی توسط محققین انجام شده است. تکنیک مورد استفاده در اکثر این آزمایش‌ها استفاده از ستون شستشو بوده که به دلیل تفاوت در غلظت ردیاب‌ها و هم چنین تکنیک آزمایشگاهی و رسوبی که مورد استفاده قرار گرفته نمی‌توان نتایج این تحقیقات را به یکدیگر تعمیم داد. از جمله این آزمایش‌ها می‌توان به تحقیقات زیر اشاره نمود:

Dole and Fuller ۱۹۰۶, Feuerstein and Selleck ۱۹۶۳, Wright and Collings ۱۹۶۴, Watt ۱۹۶۵, Scanlan ۱۹۶۸, Talbot and Henry ۱۹۶۸, Scott et al. ۱۹۶۹, Smart and Lidlaw ۱۹۷۷, Tanthapanichakoon et al. ۲۰۰۵, Mon et al. ۲۰۰۶ Liu et al. ۲۰۰۷ Müller et al. ۲۰۰۸.

در اکثر تحقیقات یکی از دو روش زیر بکار گرفته شده است:

یکی از روش‌های متداول تخمین میزان جذب روش مخلوط کردن^۱ نامیده می‌شود و در آن مقدار مشخصی از رسوب را با غلظت معینی از ردیاب به مدت ۱۲۰ دقیقه، به هم زده و اجازه داده می‌شود که ردیاب با رسوب به تعادل برسد. سپس به وسیله دستگاه سانتریفیوژ یا فیلتر، مواد رسوبی را از آب

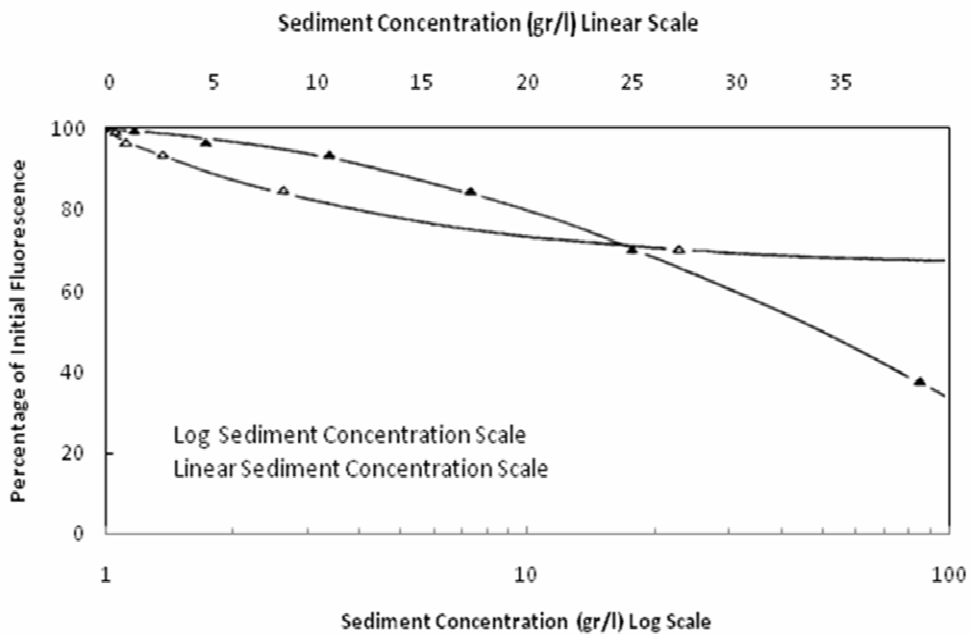
۱- Batch

جدا کرده و غلظت ردیاب اندازه‌گیری می‌شود. به این ترتیب درصد ردیاب جذب شده به دست خواهد آمد. موادی که در آزمایشگاه به عنوان جذب کننده ردیاب به کار گرفته می‌شوند رسوباتی می‌باشند که از الک شماره ۲۰۰ (ذرات با قطر کمتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر) عبور کرده‌اند. رسوبات بکار گرفته شده در این آنالیزها می‌توانند از مواد مختلفی مثل کوارتز، کربنات، کائولینیت، بنتونیت و ... تشکیل شده باشند.

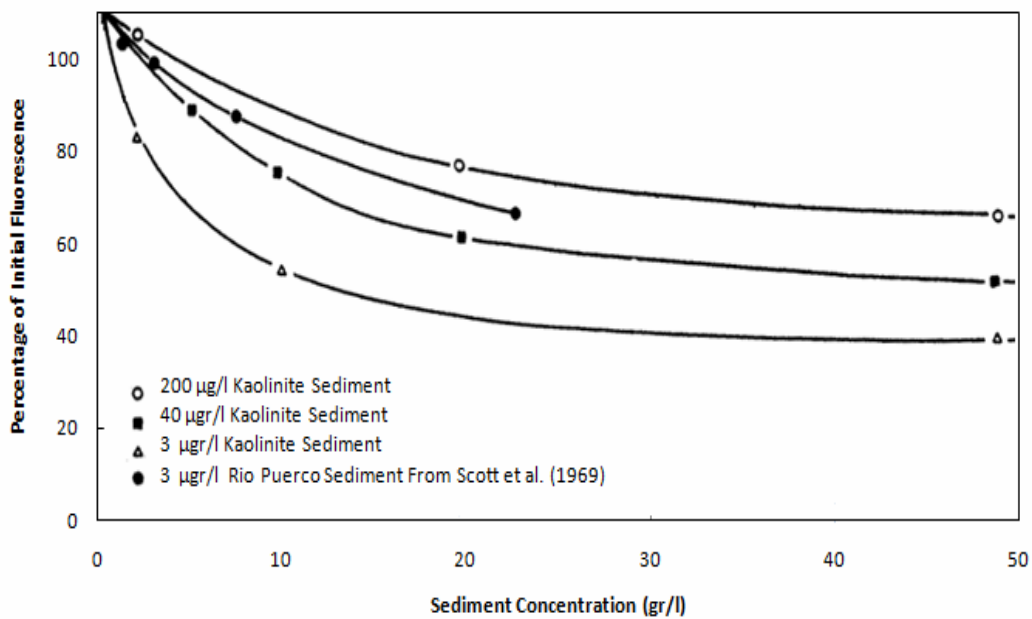
فاکتورهای مختلفی که میزان جذب را در چنین سیستمی کنترل می‌کنند شامل pH، دما، کیفیت آب، غلظت ردیاب، مقدار رسوب، نوع رسوب و نوع ردیاب است (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷).

اسکات و همکاران (Scott et al. ۱۹۶۹) اثر مقدار رسوب را بر روی میزان جذب رودامین B بررسی کردند (شکل ۲-۱۳). شکل ۲-۱۴ نیز که توسط اسمارت و لیدلا (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷) به دست آمده اثر غلظت اولیه ردیاب را بر روی میزان جذب نشان می‌دهد. شکل ۲-۱۵ نیز درصد جذب لیسامین FF را در هفت نوع رسوب مختلف نشان می‌دهد که توسط همین دو محقق ارائه شده است.

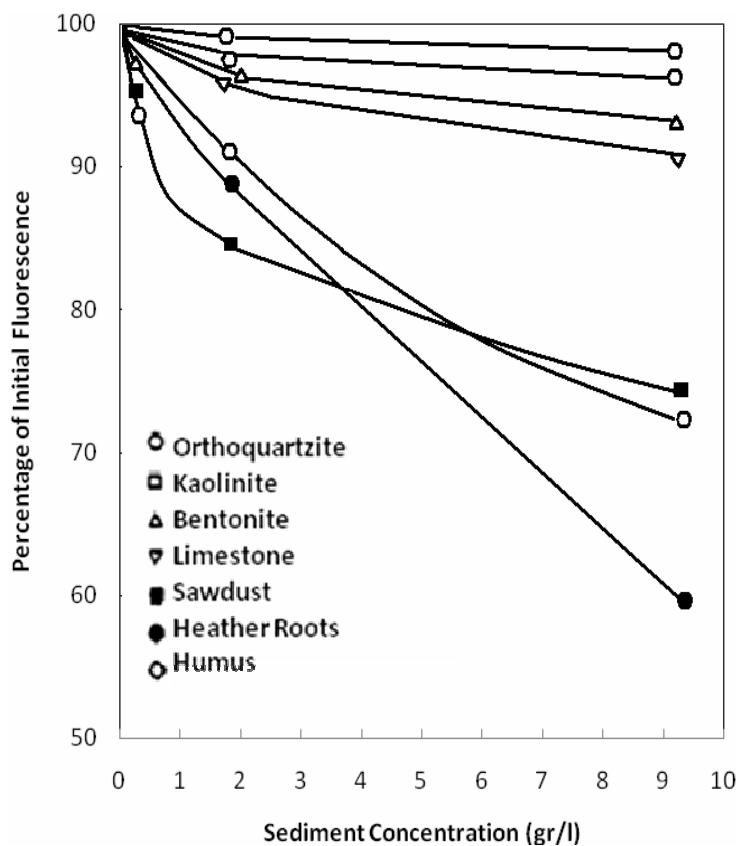
تحقیقات فوق‌الذکر نشان می‌دهد که ردیابها توسط محیط رسوبی جذب می‌شوند. میزان جذب ردیابها با توجه به نوع ردیاب، غلظت اولیه آن و نوع رسوبات متفاوت است و افزایش مقدار رسوب منجر به افزایش جذب ردیاب توسط محیط می‌شود.



شکل ۲-۱۳- اثر مقدار رسوب بر میزان جذب رودامین B (Scott et al. ۱۹۶۹)



شکل ۲-۱۴- اثر مقدار رسوبات معلق بر درصد جذب رودامین B (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)



شکل ۲-۱۵- درصد جذب لیسامین FF در هفت نوع رسوب مختلف (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)

۲-۸- تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر

بررسی تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر بیشتر در مورد ردیاب‌های فلورسنت مطرح شده است. تداخل در ردیاب‌های فلورسنت زمانی مطرح می‌شود که طول موج پرتودهی آن‌ها به یکدیگر نزدیک باشد. در این حالت پیک پرتودهی دو ردیاب با یکدیگر تداخل پیدا کرده و بسادگی نمی‌توان غلظت هریک از آن‌ها را به تنهایی مشخص کرد.

روش‌های متفاوتی برای حذف تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر وجود دارد که به عنوان مثال روش‌های کروماتوگرافی، روش‌های محاسباتی و عملیات جداسازی نوری را می‌توان نام برد. بعضی از روش‌ها شامل اقداماتی می‌شود که به صورت عملیات تکمیلی شیمیایی بر روی نمونه و استاندارد مربوط به آن صورت می‌گیرد. در اینجا به روش‌های جداسازی نوری بر اساس تغییرات pH که توسط محققین ارائه شده است اشاره می‌شود. برای تعیین ائوزین در کنار اورانین بنیشکه (Benischke ۲۰۰۱) به این

نتیجه رسید که با اسیدی کردن محلول تا pH حدود پنج، فلورسنس اورانین که با ائوزین تداخل ایجاد می‌کند از بین رفته و پیک ائوزین قابل مشاهده خواهد بود. تعیین رودامین B در کنار ائوزین با کاهش pH محلول تا حدود دو به منظور حذف فلورسنس ائوزین صورت می‌گیرد. هم چنین برای تعیین شدت فلورسنس اورانین در کنار ائوزین محلول را تا pH دو، اسیدی و سپس فلورسنس اورانین با طول موج برانگیختگی ۴۴۰ نانومتر و پرتودهی ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شود.

۹-۲- اثر مخلوط‌های شستشوی ذغال بر ردیاب‌های فلورسنت

به منظور نمونه برداری توسط ذغال، کیسه‌های حاوی چند گرم ذغال فعال را در مناطق نمونه برداری درون منابع آبی (چاه، چشمه، رودخانه و ...) قرار داده و در فواصل زمانی مشخص آن‌ها را تعویض می‌کنند. در واقع ردیاب‌های فلورسنت جذب سطح دانه‌های ذغال شده و پس از انتقال به آزمایشگاه به وسیله مخلوط‌های شستشو از سطح ذغال شسته و آنالیز می‌شوند.

با توجه به اثر حلال بر ویژگی فلورسنس ردیاب‌ها به دلیل اثر مخلوط شستشوی اتانول و هیدرواکسید پتاسیم طول حداکثر پرتودهی اورانین به حدود ۵۲۰ نانومتر و برای ائوزین به حدود ۵۴۵ نانومتر تغییر می‌کند. همچنین در اثر مخلوط شستشوی دی‌متیل‌فرم‌آمید N-N را بر طول موج حداکثر پرتودهی اورانین به ۵۳۰ نانومتر، ائوزین به ۵۵۰ نانومتر، آمیدورودامین G به ۵۵۵-۵۶۰ نانومتر، رودامین B به ۵۷۵ تا ۵۸۲ نانومتر و تینوپال CBSX به ۴۰۴-۴۳۲ نانومتر تغییر می‌یابد (Benischke ۲۰۰۵). با توجه به این نتایج وجود مخلوط شستشو در محلول می‌تواند منجر به تغییر در طول موج برانگیختگی و پرتودهی در ردیاب‌های فلورسنت شود.

فصل سوم

ردیابها، مواد، سیستم‌های سنجش، واسنجی و روش
انجام آزمایش‌ها

۳-۱- ردیاب‌های مورد بررسی در این پژوهش

ردیاب‌های مورد بررسی در این پژوهش عبارتند از:

الف) ردیاب‌های رنگی

- ردیاب‌های فلورسنت: شامل اورانین، ائوزین و رودامین B

- ردیاب رنگی غیر فلورسنت: پرمنگنات پتاسیم

ب) ردیاب‌های شیمیایی: کلرید سدیم و کلرید پتاسیم

الف- اورانین

نام تجاری: اورانین، طول موج بیشترین برانگیختگی^۱: ۴۹۰ نانومتر، طول موج بیشترین پرتودهی:

۵۱۲ نانومتر، شماره راهنمای رنگ: ۴۵۳۵۰، فرمول ملکولی: $C_{20}H_{10}O_5Na_2$ ، وزن ملکولی: ۳۷۶/۲۷

گرم بر مول، نقطه ذوب: ۳۱۵ - ۳۹۵ درجه سانتی‌گراد.

اورانین برای اولین بار در سال ۱۸۷۷ ساخته شد و در همان سال به عنوان یک ردیاب در رودخانه دانوب مورد استفاده قرار گرفت. ساختمان مولکولی اورانین در شکل ۳-۱ ارائه شده است. اورانین به صورت پودر نارنجی رنگ است که به خوبی در آب حل و ایجاد رنگ قرمز متمایل به زرد می‌نماید که نور فلورسنت شدیدی به رنگ سبز مایل به زرد تولید می‌کند. این ماده در محلول‌های با غلظت بیش از یک میلی‌گرم بر لیتر به رنگ سبز فسفری دیده می‌شود. در غلظت کمتر از یک میلی‌گرم بر لیتر با استفاده از یک لامپ فرابنفش قابل تشخیص می‌باشد. اورانین هم چنین در اتانول و دی‌متیل‌فرم‌آمید به راحتی قابل حل است. این ماده بوی مخصوصی ندارد و در غلظت‌های بالا نور فلورسنت ایجاد شده توسط خود محلول جذب می‌گردد که به آن اثر خود فیلتری گویند. بنابراین شدت فلورسنت تنها موقعی به طور دقیق قابل اندازه‌گیری است که غلظت محلول کمتر از صد میکروگرم بر لیتر، باشد در

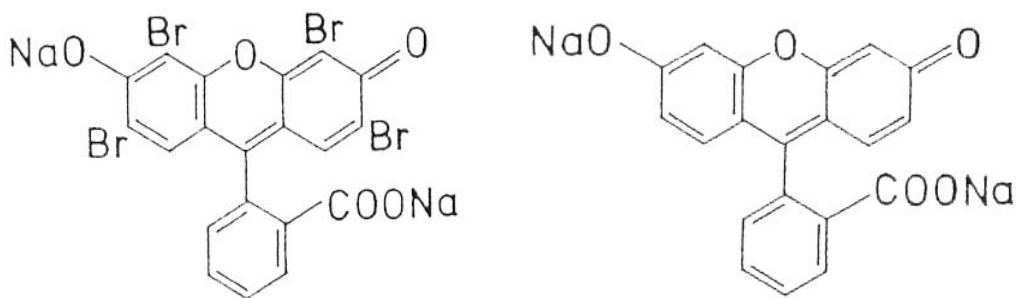
۱- طول موج حداکثر برانگیختگی و پرتودهی برای ردیاب‌های فلورسنت در آزمایشگاه بدست آمده است.

غیر این صورت محلول باید رقیق شود. اسمارت (Smart ۱۹۸۴) از این ماده برای تشخیص بیماری‌های چشمی استفاده کرد. طبق تحقیقات کلارک و بایرن (Clark and Byron ۱۹۸۵) و همچنین نیون و بایرن (Niven and Byron ۱۹۹۰) پودر اورانین توسط شش‌ها جذب می‌شود.

ب- ائوزین

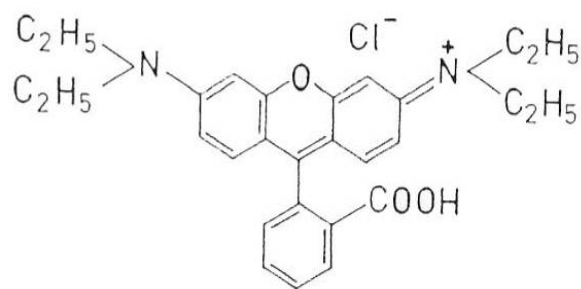
نام تجاری: ائوزین، طول موج بیشترین برانگیختگی: ۵۱۵ نانومتر، طول موج بیشترین پرتودهی: ۵۳۷ نانومتر، شماره راهنمای رنگ: ۴۵۳۸۰، نام راهنمای رنگ: C.I Acid Red ۸۷، فرمول ملکولی: $C_{20}H_6Br_2N_2Na_2O_9$ ، وزن ملکولی: ۶۹۱/۹۱ گرم بر مول، نقطه ذوب: ۲۹۶ درجه سانتی‌گراد.

شکل ۲-۳ ساختمان مولکولی ائوزین را نشان می‌دهد. ائوزین به شکل پودر با کریستال‌های قرمز متمایل به آبی است. محلول غلیظ آن به رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای و محلول رقیق آن به رنگ قرمز متمایل به زرد با فلورسنس متمایل به سبز می‌باشد این ماده به خوبی در آب و دی‌متیل‌فرم‌آمید قابل حل می‌باشد. میزان حلالیت آن در الکل کم و در اتر غیر قابل حل است و بوی مخصوصی ندارد. ائوزین در لوازم آرایش، داروها و صنعت برای رنگ‌آمیزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل ۳-۱- ساختمان مولکولی اورانین
شکل ۳-۲- ساختمان مولکولی ائوزین

پ- رودامین B



نام تجاری: رودامین B، طول موج بیشترین
برانگیختگی: ۵۵۵ نانومتر، طول موج بیشترین
پرتو دهی: ۵۸۰ نانومتر، شماره راهنمای رنگ:
۴۵۱۷۰، نام راهنمای رنگ: C. 1. Basic

۱۰ Violet، فرمول مولکولی: $C_{28}H_{31}ClN_2O_2$ ، وزن مولکولی: ۴۷۹/۰۲ گرم بر مول، نقطه ذوب: ۱۶۵
درجه سانتی گراد. شکل ۳-۳ ساختمان مولکولی رودامین B را نشان می دهد.

شکل ۳-۳ - ساختمان مولکولی رودامین B

این ماده رنگی به صورت پودری به رنگ سبز تیره و یا به صورت کریستال های ارغوانی متمایل به قرمز می باشد. در غلظت بیش از ۱۰ میکروگرم بر لیتر با چشم غیر مسلح قابل دیدن است. برای اندازه گیری دقیق میزان رنگ در غلظت های بیش از ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر لازم است محلول رقیق گردد. میزان حلالیت آن در آب بسیار بالا است و رنگ قرمز متمایل به آبی تولید می نماید. هم چنین میزان حلالیت آن در الکل و دی متیل فرم آمید بسیار زیاد بوده و خیلی کم در NaOH و HCl حل می شود. شکل ۴-۳ محلول های اورانین، ائوزین و رودامین B را با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر نشان می دهد.



شکل ۳-۴ - محلول‌های مادر ائوزین، رودامین B و اورانین، با غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب از راست به چپ

ت- کلرید سدیم

فرمول مولکولی: NaCl، وزن مولکولی: ۵۸/۴۴ گرم بر مول، نقطه ذوب: ۸۰۰/۸ درجه سانتی‌گراد. نمک خوراکی یکی از فراوان‌ترین ترکیب‌های موجود در آب‌های آزاد و عامل اصلی شوری آب دریاها و دریاچه‌ها است. به دلیل آسانی دسترسی به آن، بهای اندک و شیوه ساده اندازه‌گیری، یکی از پرکاربردترین ردیاب‌های شیمیایی در مطالعات منابع آب می‌باشد. میزان زمینه آن در آب‌های زیرزمینی بالا بوده و به همین دلیل در آزمون‌های ردیابی نیاز به استفاده از مقادیر زیاد آن می‌باشد. انحلال نمک خوراکی در محیط آبی منجر به آزاد شدن یون‌های کلر و سدیم شده که این مسئله سبب می‌شود هدایت الکتریکی آب افزایش یابد. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی روش بسیار مناسبی برای سنجش شوری آب و در نتیجه میزان نمک آن می‌باشد. میزان انحلال نمک خوراکی در آب بالا بوده و می‌تواند تا بیش از یک سوم وزن آب در آن حل شود.

ث- کلرید پتاسیم

فرمول مولکولی: KCl، وزن مولکولی: ۷۴/۵۵ گرم بر مول، نقطه ذوب: ۷۷۶ درجه سانتی‌گراد. کلرید پتاسیم یکی از ترکیب‌های شیمیایی است که در ردیابی آب‌های زیرزمینی به کار گرفته

می‌شود. از امتیازهای این نمک همچون نمک خوراکی معمولی می‌توان به ارزان بودن نسبی و حل شدن آسان آن در آب اشاره نمود. پیشینه نمک پتاسیم در ردیابی آب‌های زیرزمینی به اندازه نمک خوراکی نبوده ولی یکی از امتیازهای این ردیاب نسبت به نمک خوراکی، کم بودن میزان زمینه یون پتاسیم نسبت به یون سدیم در آب‌های زیرزمینی است که در نتیجه احتمال خطا در مرحله تفسیر نتایج ردیابی کمتر خواهد شد.

ج- پرمنگنات پتاسیم

فرمول مولکولی: KMnO_4 ، وزن مولکولی: $158/04$ گرم بر مول، نقطه ذوب: 240 درجه سانتی‌گراد، حلالیت در آب: 7 گرم در 100 گرم آب.

پرمنگنات یک اکسیدکننده قوی است که در سال 1659 کشف شد و به عنوان یک اکسیدکننده می‌تواند به یک عنصر یا ترکیب اکسیژن اضافه نموده یا از آن هیدروژن یا الکترون حذف کند. محلول آن به رنگ بنفش بوده و می‌تواند آهن و منگنز محلول موجود در آب آشامیدنی را اکسید نماید. حاصل این واکنش نامحلول بوده و می‌توان به کمک صافی آن را از محیط خارج نمود. شکل ۳-۵ محلول پرمنگنات را در غلظت‌های گوناگون نشان می‌دهد.



شکل ۳-۵- محلول پرمنگنات پتاسیم از غلظت 1000 تا 10 میلی‌گرم بر لیتر

کمترین غلظت قابل مشاهده آن با چشم غیر مسلح، حدود $1/9$ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. پرمنگنات دارای کاربردهای گسترده‌ای از تصفیه آب آشامیدنی گرفته تا تولیدات دارویی می‌باشد. در تصفیه آب آشامیدنی برای اکسید نمودن آهن، منگنز، سولفید هیدروژن و آرسنیک و هم چنین برای

۳-۳- سیستم‌های سنجش آزمایشگاهی

الف- سنجش pH

اندازه‌گیری pH محلول‌ها با دستگاه pH متر ۵۰۰ CyberScan صورت گرفت. قبل از هر آزمایش دستگاه با استفاده از محلول تامپون با pH برابر با ۴ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد و محلول تامپون با pH برابر ۷ در ۲۵ درجه سانتی‌گراد کالیبره می‌شد تا از صحت نتایج اندازه‌گیری‌ها اطمینان حاصل شود.

ب- سنجش هدایت الکتریکی

سنجش هدایت الکتریکی نمونه‌ها به وسیله دستگاه هدایت سنج ۱۵۶ HACH – Sension صورت گرفت. هدایت الکتریکی ویژه آب عکس مقاومت الکتریکی آن است. واحد آن $\mu\text{s}/\text{cm}$ می‌باشد و معمولاً بر اساس دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌شود. غلظت و نوع املاح محلول و دمای آب در هدایت الکتریکی مؤثر می‌باشد. برای واسنجی دستگاه از محلول استاندارد کلرید پتاسیم ۰/۰۱ مولار استفاده می‌گردد. این محلول برای استفاده در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و به عنوان محلول مرجع جهت تعیین ضریب ثابت سلول یا الکتروود بکار برده می‌شود و دارای هدایت الکتریکی ویژه ۱۴۱۳ میکروزیمنس بر سانتی‌متر است. سهولت استفاده و دقت این دستگاه از مزایای اصلی آن می‌باشد.

پ- سنجش کلر

به منظور اندازه‌گیری میزان کلر باقی‌مانده ناشی از تصفیه آب، از کیت سنجش کلر باقی‌مانده ساخت شرکت کاریزاب (مدل ۴۴۵۰) استفاده شد. دامنه اندازه‌گیری این دستگاه ۱-۵ میلی‌گرم بر لیتر و دقت اندازه‌گیری این دستگاه ۰/۱ می‌باشد. روش اندازه‌گیری این دستگاه بر اساس مقایسه رنگ

نمونه با محلول مرجع موجود در دستگاه می‌باشد. به این ترتیب پس از ریختن نمونه در دستگاه و اضافه کردن مقدار مشخصی از محلول‌های معرف، رنگ نمونه متناسب با مقدار کلر آن تغییر می‌کند.

ت- سنجش شدت فلورسنس

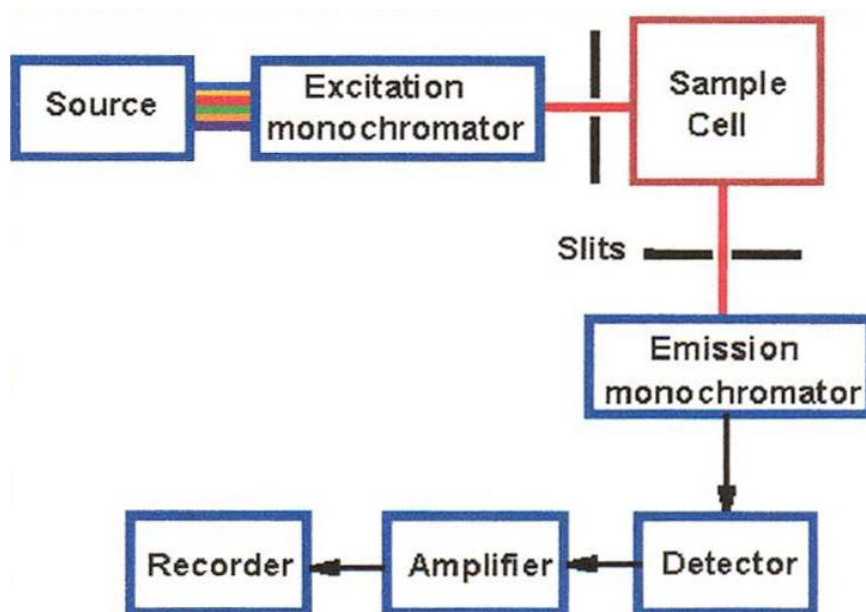
برای اندازه‌گیری نمونه‌های فلورسنت از اسپکتروفلوئوروفتومتر^۱ Shimadzu مدل RF-۱۵۰۱ استفاده شد (شکل ۳-۶). روش اندازه‌گیری فلورسنس توسط این دستگاه به این صورت است که با توجه به نوع ردیاب، طول موج پرتو دهی و برانگیختگی تنظیم شده و سپس نمونه آب مورد نظر داخل سلول کوارتزی ریخته می‌شود. با تابش نور به نمونه، طول موج و شدت نور باز تابش شده از نمونه توسط دستگاه اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری شدت فلورسنس توسط این دستگاه با دقت و سرعت بالا امکان‌پذیر است. اما گرانی و پیچیدگی نسبی، مانع استفاده متداول آن است.



شکل ۳-۶ - اسپکتروفلوئوروفتومتر Shimadzu RF-۱۵۰۱

۱- Spectrofluorophotometer

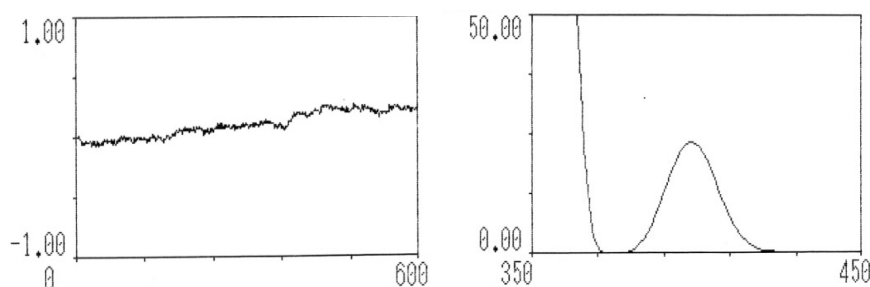
روش فلوریمتری^۱ مهمترین و مطمئن‌ترین روش در سنجش ردیاب‌های فلورسنت است که با پیشینه‌ای بیش از یک سده، امروزه در ردیابی منابع آب به کار گرفته می‌شود. در این بخش با توجه به کاربرد بسیار گسترده‌ای که ردیاب‌های فلورسنت در روش‌های ردیابی دارند و با توجه به کاربرد منحصر به فرد روش فلوئوریمتری در سنجش ردیاب‌های مزبور، کلیات روش اسپکتروفلوئوریمتری مرور خواهد شد. اساس روش فلوئورومتری بر این اصل استوار است که حالت الکترونی^۲ یک مولکول بر اثر دریافت تابش‌های الکترومغناطیس، افزایش تراز یافته و مولکول در بازگشت به حالت اولیه^۳ خود انرژی گرفته شده را بازتابش می‌دهد (شکل ۳-۷). این روش فلوئورومتری بیشتر در بازه طول موج ۲۰۰۰ و ۸۰۰۰ انگستروم بوده و دو طول موج‌های برانگیختگی^۴ و پرتودهی^۵ از ویژگی‌های یک محلول برای شناسایی آن خواهند بود (Benischke ۲۰۰۵).



شکل ۳-۷- دیاگرام شماتیک یک اسپکتروفلوئوریمتر و اجزاء آن (Benischke ۲۰۰۱)

- ۱- Fluorometry
- ۲- Electronic state
- ۳- Ground state
- ۴- Excitation wavelength
- ۵- Emission wavelength

انواع گوناگونی از فلوریمترهای ساده تا دستگاه‌های پیچیده مثل دستگاه اسپکتروفلوئوروفتومتر ممکن است برای سنجش فلوریمتری به کار گرفته شوند ولی همه آن‌ها از چهار بخش کلی تشکیل شده‌اند: الف: چشمه انرژی برانگیختگی، ب: اتاقک^۱ نمونه، پ: آشکارساز برای اندازه‌گیری پرتودهی، ت: یک جفت صافی^۲ برای گزینش طول موج‌های برانگیختگی و پرتودهی. سنجش‌های فلوریمتری معمولاً با استفاده از نمونه‌های استاندارد و واسنجی انجام شده و میزان شدت فلورسنس نمونه‌ها نسبت به فلورسنس نمونه‌های استاندارد سنجیده و غلظت آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود. به منظور پایش عملکرد و ارزیابی دقت دستگاه اسپکتروفلوئوریمتر، اندازه‌گیری طیف رامان^۳ آب مقطر و سنجش میزان سیگنال به نویز دستگاه پیش از آغاز اندازه‌گیری‌های فلوریمتری در آزمایشگاه مربوطه انجام می‌پذیرد. مقادیر بلندی پیک^۴ و نسبت سیگنال به نویز^۵ نشانگر کارایی و دقت دستگاه می‌باشند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸ - اندازه‌گیری سیگنال به نویز اسپکتروفلوئوروفتومتر پیش از سنجش جهت ارزیابی دستگاه

میزان قابل قبول برای S/N مقادیر بیشتر از ۳۰۰ بوده و محدوده مجاز بلندی پیک نیز 35 ± 15 می‌باشد. استفاده از آب آلوده یا با خلوص پایین منجر به افزایش میزان نویز خواهد شد. در چنین مواردی پس از شستشوی سلول نمونه و یا سرویس کردن دستگاه توسط متخصصین مربوطه مجدداً

۱- Cuvette

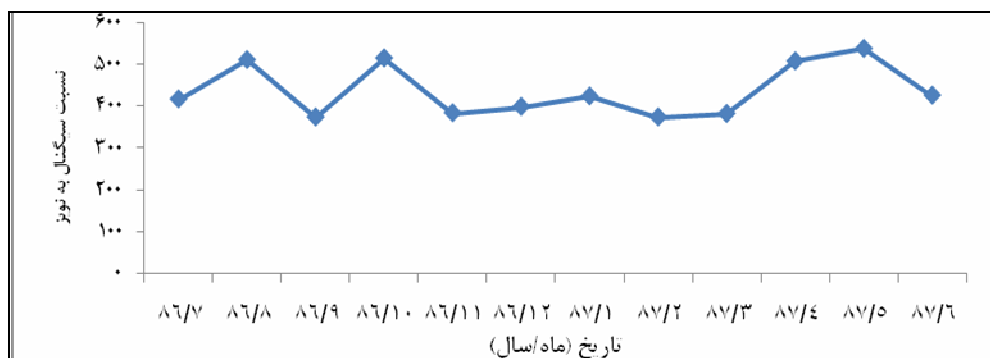
۲- Filter/monochromator

۳- Raman Spectrum

۴- Peak Height

۵- Signal to Noise

S/N دستگاه اندازه‌گیری می‌گردد تا به حد قابل قبول خود برسد و از صحت نتایج دستگاه بتوان اطمینان حاصل کرد. در مراحل مختلف تحقیقات قبل از شروع آزمایش به منظور ارزیابی دستگاه نسبت S/N دستگاه اندازه‌گیری می‌شد (شکل ۳-۹). به منظور اندازه‌گیری شدت فلورسنس ردیاب‌ها با استفاده از این دستگاه حالت‌های متفاوتی از پهنای باند^۱ و حساسیت^۲ مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت پهنای باند ۲۰ و حساسیت بیشینه به عنوان حالت پایه برای دستگاه در نظر گرفته و تمام اندازه‌گیری‌ها در این حالت انجام شد.



شکل ۳-۹- تغییرات سیگنال به نویز دستگاه در طول مدت انجام آنالیزها

ث- دستگاه اسپکتروفتومتر

روش اسپکتروفتومتری برای سنجش غلظت پرمنگنات مورد استفاده قرار گرفت. در این روش از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل ۲۰۱۰-Hach DR استفاده شد (شکل ۳-۱۰). این دستگاه توسط یک ریز پردازنده قوی کنترل می‌شود و یک اسپکتروفتومتر با تابش انفرادی^۳ می‌باشد که برای ۱۲۰ برنامه اندازه‌گیری واسنجی شده است. برای اندازه‌گیری غلظت پرمنگنات توسط این اسپکتروفتومتر از روش رنگ‌سنجی استفاده شد. در حقیقت هنگامی که مواد محلول یا معلق موجود در آب زیاد باشند، آب

۱- Bandwith
 ۲- Sensitivity
 ۳- Single beam

حالت رنگی به خود می‌گیرد. به رنگ ناشی از مواد محلول که بعد از جدا کردن مواد معلق باقی می‌ماند، رنگ حقیقی گویند و به رنگ ناشی از مواد معلق، رنگ ظاهری گویند.



شکل ۳-۱۰- اسپکتروفتومتر Hach DR/2010

در این روش به منظور مقایسه رنگ در نمونه‌های آب ابتدا باید آن‌ها را از فیلتر عبور داد تا رنگ ظاهری خود را از دست بدهند. به این ترتیب نتایج بر اساس واحد رنگ حقیقی^۱ بیان می‌شود. تا دهه ۱۸۹۰ مقیاس مناسبی برای اندازه‌گیری رنگ وجود نداشته و تفسیرهای بسیار زیادی در این مورد ارائه می‌گردید. در سال ۱۸۹۲، یک شیمیدان به نام هیزن یک ضریب برای رنگ آب، در انجمن بهداشت عمومی آمریکا^۲ معرفی کرد، که در آن یک واحد معادل رنگ تولید شده توسط یک میلی‌گرم بر لیتر پلاتین به شکل یون‌های کلروپلاتینات می‌باشد (امیربیگی ۱۳۸۲).

هیزن مقیاس رنگ Apha یا Hazen یا PtCo را با استفاده از یک محلول اسیدی از پتاسیم هگزاکلر-پلاتینات و کبالت کلراید^۳ تهیه کرد. به این ترتیب محلول‌های استاندارد در بازه ۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از پلاتینیم کبالت تعیین شد تا بتوان از آن‌ها برای اندازه‌گیری شدت رنگ استفاده

۲- True Color Unit (T.C.U)

۱- American Public Health Association _APHA

۲- Cobalt chloride

نمود. این محلول‌های استاندارد را می‌توان از شرکت‌های تجاری تهیه کرد (ASTM ۲۰۰۰). این ضریب برای تخمین آلودگی در فاضلاب و یک روش متداول برای مقایسه شدت رنگ در نمونه‌های آب دارای رنگ‌های زرد مایل به قهوه‌ای است. وجود نمک منگنز باعث رنگ قهوه‌ای در آب می‌شود (امیربیگی ۱۳۸۲).

۳-۴- روش‌های بکارگرفته شده در آزمایش‌ها

در این بخش روش‌های سنجش آزمایشگاهی معرفی خواهد شد. در هر مرحله از آنالیزها به منظور ارزیابی رفتاری ردیاب با غلظت‌های متفاوت و اثر غلظت اولیه در نتیجه آزمایش‌ها، غلظت‌های مختلف و مشخص از هر ردیاب تهیه و مورد آزمایش قرار گرفت. این غلظت‌های اولیه بر مبنای رنج اندازه‌گیری دستگاه سنجنده هر ردیاب، و نوع آزمایش مورد نظر، انتخاب می‌شد. در کلیه آزمایش‌ها محلول‌ها با استفاده از آب مقطر تهیه و آنالیزها در دمای آزمایشگاه صورت گرفت.

روش بررسی اثر pH: به منظور بررسی اثر pH بر ردیاب‌ها، ابتدا محلول‌هایی با غلظت‌های اولیه مشخص از ردیاب مورد نظر تهیه کرده و سپس با استفاده از محلول‌های NaOH و HCl مقدار pH محلول را تغییر داده و در هر pH غلظت محلول‌ها با سیستم‌های سنجش مربوطه اندازه‌گیری و به این ترتیب نموداری از تغییرات غلظت ردیاب در pH های مختلف به دست آمد.

روش بررسی اثر نور خورشید: برای بررسی اثر نور خورشید بر ردیاب‌ها، نمونه‌های تحت بررسی در شرایط یکسان در معرض تابش نور خورشید قرار داده شدند. با گذشت زمان، غلظت هر ردیاب اندازه‌گیری و نتیجه به صورت نمودارهای غلظت-زمان به دست آمد. با استفاده از این نمودارها مقاومت هر ردیاب در برابر تابش نور خورشید ارزیابی گردید. در این آزمایش از هر نمونه یک شاهد به منظور مقایسه با نمونه‌های اصلی تهیه و در تاریکی قرار داده شد.

روش بررسی اثر دما: به منظور ارزیابی کارایی ردیاب‌ها در دماهای متفاوت، تغییرات دمایی بر نمونه‌ها اعمال و در هر مرحله با تغییر دما غلظت آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. به این ترتیب نموداری از رفتار ردیاب در دماهای مختلف به دست آمد. با استفاده از این نمودارها ضریب دمایی ردیاب‌ها به دست آمده و با یکدیگر مقایسه شد.

روش بررسی اثر شوری: برای بررسی اثر شوری بر کارایی ردیاب‌ها غلظت‌های مشخصی از هر ردیاب تهیه و به تدریج و به صورت جداگانه کلرید سدیم و پتاسیم به آن‌ها اضافه گردید. در هر مرحله غلظت ردیاب و هدایت الکتریکی محلول مورد سنجش قرار گرفت.

روش بررسی اثر کلر آزاد باقی مانده: به منظور بررسی اثر کلر باقی مانده حاصل از تصفیه آب بر ردیاب‌ها، غلظت‌های معینی از ردیاب‌ها با استفاده از آب حاوی کلر باقی مانده با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر تهیه و با گذشت زمان تغییرات غلظت هر کدام از آن‌ها بررسی شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت اولیه ردیاب‌ها در محیط بدون کلر، نمونه‌های شاهد تهیه و به طور همزمان با نمونه‌های حاوی کلر اندازه‌گیری و در نهایت مقایسه صورت پذیرفت. به این ترتیب نموداری از تغییرات غلظت هر ردیاب در طول زمان با توجه به تاثیر وجود مقدار معینی کلر باقی مانده به دست آمد.

روش بررسی مقاومت در برابر جذب: برای این هدف از روش ستون رسوبی استفاده شد. در این روش مدلی تهیه شد که در نتیجه تغییر در میزان هد (ارتفاع آب)، آب با غلظت معینی از ردیاب از یک ستون رسوبی با دانه بندی مشخص عبور کرده و در نقطه خروجی مدل، نمونه برداری می‌شد. با توجه به مشخص بودن غلظت اولیه ردیاب و مقایسه با غلظت آن پس از عبور از ستون رسوبی، درصد ردیاب جذب شده توسط رسوبات به دست آمد.

روش بررسی اثر زمان: به منظور درک اثر گذشت زمان بر ویژگی‌های ردیاب‌های مورد بررسی، محلول‌هایی حاوی غلظت‌های مختلف از هر ردیاب تهیه و تحت شرایط یکسان در تاریکی و دمای

استاندارد نگهداری شدند. تغییرات غلظت ردیاب‌ها در دو دوره زمانی کوتاه و بلند مدت و با فواصل زمانی مشخص بررسی شد.

روش بررسی اثر آلودگی هیدروکربوری: برای بررسی اثر آلودگی مواد هیدروکربوری در آب زیرزمینی بر روی خواص ردیاب‌ها، ابتدا غلظت معینی از هر ردیاب تهیه و طی مراحل مختلف درصد مشخصی از نفت به آن‌ها اضافه شد. به این ترتیب در هر مرحله تغییرات ردیاب‌ها با افزایش درصد نفت مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی اثر تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر: برای اینکار با مخلوط کردن هر یک از ردیاب‌ها به نسبت‌های مختلف با یکدیگر، تغییرات خصوصیات طیفی و فیزیکی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این آنالیزها به طور جداگانه برای هر ردیاب به صورت تداخل آن ردیاب با سایر ردیاب‌ها انجام شد.

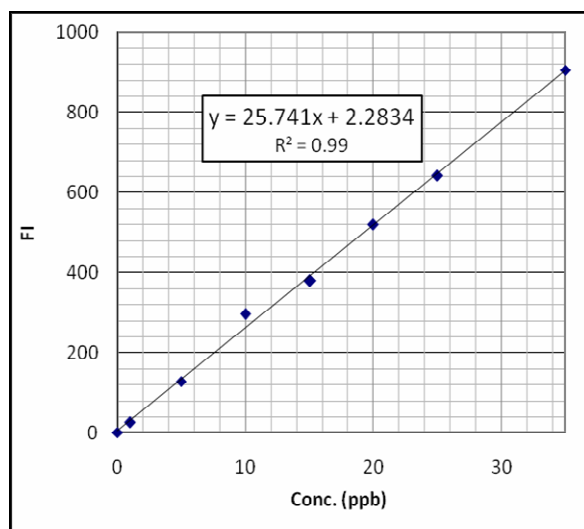
روش بررسی اثر مخلوط‌های شستشو بر ردیاب‌های فلورسنت: به منظور بررسی اثر مخلوط‌های شستشوی ذغال فعال بر خصوصیات طیفی ردیاب‌های فلورسنت ابتدا دو نوع مخلوط شستشوی مورد استفاده در آزمایش‌های ردیابی تهیه شد. پس از تهیه غلظت‌های معینی از اورانین، اتوزین و رودامین B با اضافه کردن این مخلوط‌ها به ردیاب‌ها طی دو مرحله، تغییرات خصوصیات طیفی ردیاب‌ها با بررسی منحنی‌های مربوط به پیک‌های برانگیختگی و پرتودهی مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۵- واسنجی سیستم‌های سنجش

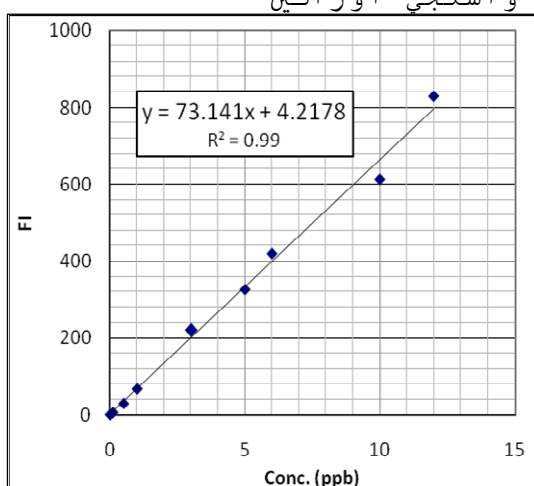
برای اندازه‌گیری غلظت ردیاب‌ها، باید نخست سیستم‌های سنجش را واسنجی کرد. به منظور تهیه نمودار واسنجی، غلظت ماده مورد نظر در برابر فاکتور قابل اندازه‌گیری توسط سیستم سنجنده به صورت نمودار رسم می‌شود. به این ترتیب سیستم‌های سنجنده با اندازه‌گیری پارامتر فیزیکی (مثلاً شدت نور)، غلظت ردیاب یا پارامتر معادل آن را ارائه می‌دهند. این اندازه‌گیری‌ها در دمای استاندارد و در مدت زمان کوتاه انجام شد.

الف - واسنجی سیستم اسپکتروفلوریمتر

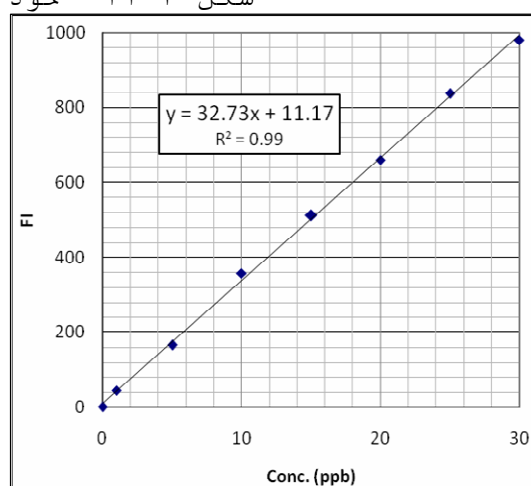
برای کالیبره کردن دستگاه اسپکتروفلوئوروفتومتر ابتدا یک محلول مادر با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر تهیه می شود. در این مرحله غلظت های مشخصی از ردیاب مورد نظر با رقیق سازی محلول مادر در تهیه شده و شدت فلورسنس آنها توسط دستگاه قرائت می شود. به این ترتیب نمودار واسنجی به دست خواهد آمد. از این پس با داشتن شدت فلورسنس مربوط به هر محلول مجهول، غلظت آن ردیاب به دست می آید. شکل های ۳-۱۱، ۳-۱۲ و ۳-۱۳ به ترتیب نمودارهای واسنجی اورانین، اتوزین و رودامین B را نشان می دهند.



شکل ۳-۱۱- نمودار واسنجی اورانین



شکل ۳-۱۲- نمودار واسنجی اتوزین



شکل ۳-۱۳- نمودار واسنجی رودامین B

ب- واسنجی هدایت سنج

برای واسنجی دستگاه Multi meter Hach با هدف اندازه‌گیری غلظت ردیاب‌های کلرید سدیم، کلرید پتاسیم و پرمنگنات پتاسیم ابتدا یک محلول مادر با غلظت 100 g/l تهیه شد. سپس غلظت‌های مشخصی از ماده مورد نظر با رقیق سازی محلول مادر تهیه و مقادیر هدایت الکتریکی مربوطه اندازه‌گیری شد. مقادیر هدایت الکتریکی مربوط به کلرید سدیم و پتاسیم در جدول ۱-۳ و پرمنگنات پتاسیم در جدول ۲-۳ ارائه شده است. نمودار تغییرات هدایت الکتریکی با غلظت طبق شکل‌های ۱۴-۳، ۱۵-۳ و ۱۶-۳ به دست آمد. به این ترتیب با استفاده از این نمودارها، غلظت تقریبی هر محلول با هدایت الکتریکی مشخص به دست می‌آید. با توجه به تمایل بیشتر برای یونیزاسیون در کلرید سدیم و پتاسیم نسبت به پرمنگنات پتاسیم، تغییرات هدایت الکتریکی با افزایش غلظت، در این دو محلول نسبت به پرمنگنات پتاسیم بیشتر است.

پ- واسنجی اسپکتروفتومتر

برای این هدف با رقیق سازی یک محلول مادر با غلظت یک گرم بر لیتر، محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف به دست آورده و در مرحله بعد شدت رنگ هر یک از نمونه‌ها اندازه‌گیری و نمودار مربوطه رسم شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۳-۳ و نمودار واسنجی در شکل ۱۷-۳ ارائه شده است. به این ترتیب نمودار تغییرات غلظت پرمنگنات با شدت رنگ، به دست آمد که با استفاده از این نمودارها غلظت نمونه‌های مجهول را می‌توان به دست آورد. معادلات نمودارهای واسنجی ردیاب‌های مورد بررسی در جدول ۴-۳ ارائه شده است.

جدول ۱-۳- واسنجی کلرید سدیم و کلرید پتاسیم

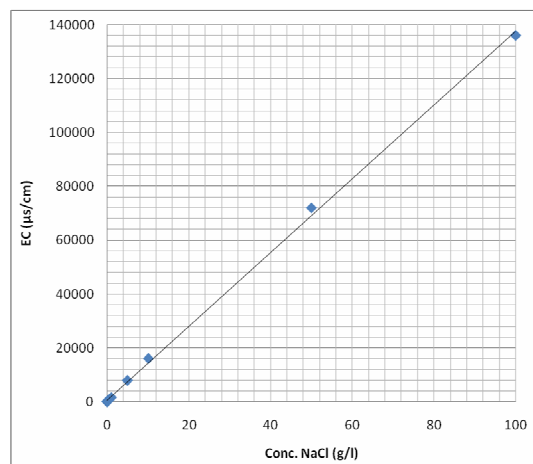
کلرید سدیم		کلرید پتاسیم	
غلظت (gr/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)	غلظت (gr/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)
۰	۱/۷۸	۰	۱/۷۸
۰/۰۰۱	۵/۱۵	۰/۰۰۱	۳/۶۹

کلرید سدیم		کلرید پتاسیم	
غلظت (gr/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)	غلظت (gr/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)
۰/۰۰۵	۱۳/۰۷	۰/۰۰۵	۱۰/۵۳
۰/۰۱	۲۰/۰۷	۰/۰۱	۱۹/۶۴
۰/۰۵	۹۲/۴	۰/۰۵	۸۴/۹
۰/۱	۱۷۸/۴	۰/۱	۱۷۴/۲
۰/۵	۸۵۵	۰/۵	۸۰۸
۱	۱۷۱۰	۱	۱۶۵۶
۵	۷۹۴۰	۵	۷۵۲۰
۱۰	۱۶۰۸۰	۱۰	۱۵۱۶۰
۵۰	۷۲۱۰۰	۵۰	۷۱۷۰۰
۱۰۰	۱۳۶۰۰۰	۱۰۰	۱۴۰۰۰۰

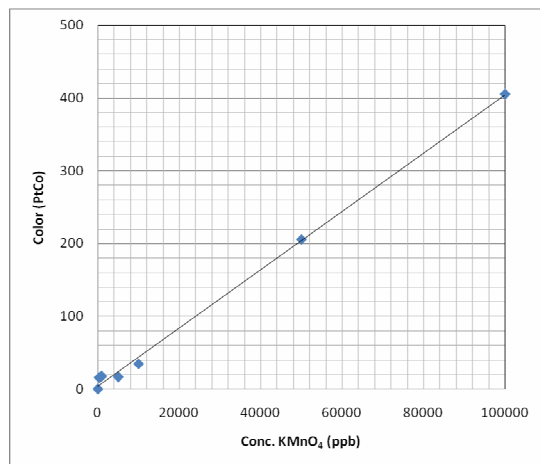
جدول ۳-۲- واسنجی پرمنگنات پتاسیم با هدایت سنج

غلظت (μgr/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)	غلظت (μgr/l)	هدایت الکتریکی (μs/cm)
۰	۱/۹۵	۱۰۰	۲/۱
۰/۰۱	۲/۲۶	۵۰۰	۲/۴۵
۰/۰۵	۱/۹۳	۱۰۰۰	۳/۱۱
۰/۱	۲/۱۱	۵۰۰۰	۵/۶۸
۰/۵	۱/۹۵	۱۰۰۰۰	۹/۳۴
۱	۲/۳	۵۰۰۰۰	۳۸/۰۶
۵	۲/۲۵	۱۰۰۰۰۰	۷۵
۱۰	۲/۱۵	۵۰۰۰۰۰	۳۶۳
۵۰	۲/۰۷	۱۰۰۰۰۰۰	۷۱۴

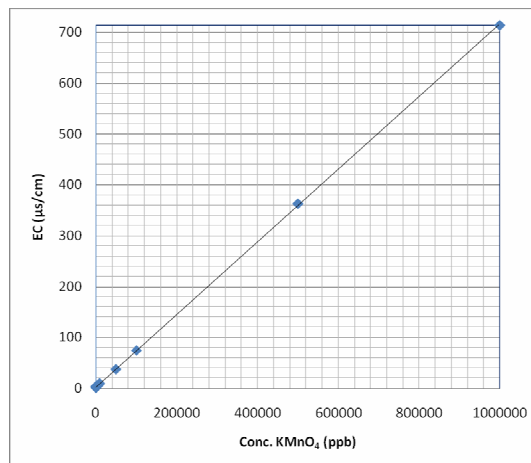
شکل ۳-۱۴- نمودار واسنجی کلرید سدیم



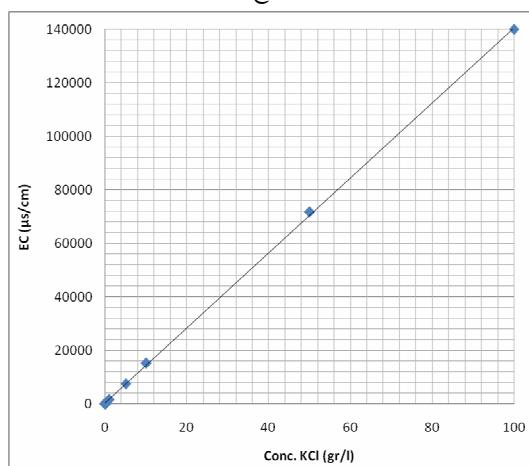
شکل ۳-۱۵- نمودار واسنجی کلرید پتاسیم



شکل ۳-۱۷- نمودار واسنجی پرمنگنات پتاسیم با اسپکتروفتومتر



شکل ۳-۱۶- نمودار واسنجی پرمنگنات پتاسیم با هدایت سنج



جدول ۳-۳- واسنجی پرمنگنات پتاسیم با اسپکتروفتومتر

غلظت (ppb)	شدت رنگ (PtCo)	غلظت (ppb)	شدت رنگ (PtCo)
۰	۰	۱۰۰۰۰	۳۵
۵۰۰	۱۶	۵۰۰۰۰	۲۰۶
۱۰۰۰	۱۸	۱۰۰۰۰۰	۴۰۵
۵۰۰۰	۱۷		

جدول ۳-۴- معادلات نمودارهای واسنجی ردیاب‌های مورد بررسی

ردیاب	معادلات واسنجی ردیاب‌ها	
Uranine	$Y = 25,741x + 2,2834$	$R^2 = 0,9994$
Eosin	$Y = 33,359x + 3,5964$	$R^2 = 0,9998$

Rhodamine B	$Y = 73,141x + 4,2178$	$R^2 = 0,9958$
NaCl	$Y = 1371x + 532,2$	$R^2 = 0,999$
KCl	$Y = 1404x + 254,3$	$R^2 = 0,999$
KMnO ₄	$Y = 0,004x + 0,528$	$R^2 = 0,997$

X : غلظت ردیاب

Y : شدت فلورسنس یا، هدایت الکتریکی و یا، شدت رنگ

فصل چهارم
ارزیابی ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر
شرایط محیطی مختلف

۴-۱- ردیاب‌های مورد استفاده در مطالعات ردیابی کشور

برخی از مهمترین مطالعات ردیابی انجام شده در کشور و نوع ردیاب‌های استفاده شده در جدول ۴-۱ ارائه شده است. با توجه به این جدول می‌توان گفت که اورانین، ائوزین، رودامین B، کلرید سدیم و کلرید پتاسیم پرکاربردترین ردیاب‌ها در کشور بوده که از میان این ردیاب‌ها، اورانین در اکثر این پروژه‌ها ردیاب اصلی بوده است. در انتخاب این ردیاب‌ها، گذشته از مباحث فنی و رژیم هیدروژئولوژیکی و وضعیت کیفی منبع آبی مورد مطالعه (که خود در بسیاری از موارد تعیین کننده می‌باشد)، هزینه تمام شده و سهولت دسترسی به ردیاب از فاکتورهای اصلی محسوب می‌شود. هزینه تقریبی ردیاب‌های مورد نظر بر اساس قیمت‌های سال ۱۳۸۶ در جدول ۴-۲ ارائه شده است که نشان می‌دهد از بین ردیاب‌های فلورسنت، اورانین بسیار ارزان‌تر از ائوزین و رودامین B است. علاوه بر قیمت مناسب، بسته‌بندی اقتصادی اورانین (به صورت یک کیلویی است) هم از دید اقتصادی و هم از جنبه اجرایی عملیات تزریق ردیاب، مفید و به صرفه بوده است. از آنجا که هدف این تحقیق مقایسه ردیاب‌ها با یکدیگر است آزمایش‌ها در مورد همه ردیاب‌ها به طور یکسان و در شرایط مشابه و تا حد امکان به طور هم زمان صورت گرفت. در ادامه به شرح آنالیزهای صورت گرفته و نتایج حاصل از آن‌ها پرداخته می‌شود. به دلیل جلوگیری از حجیم شدن مطالب، جدول‌های مربوط به نتایج در پیوست ارائه شده و در متن اصلی به ارائه نمودارهای مربوطه و تفسیر آن‌ها اکتفا می‌شود.

۴-۲- اثر pH

همان طور که در فصل دوم اشاره شد در بسیاری از تحقیقات تغییر خصوصیات ردیاب‌های مختلف در pH های متفاوت یکی از روش‌هایی است که برای تشخیص ردیاب‌ها از همدیگر بکار می‌رود. یکی از کاربردهای مهم این روش از بین بردن تداخل در ردیاب‌هایی است که به طور همزمان در عملیات‌های ردیابی بکار گرفته می‌شوند. در این تحقیق با تغییر دادن pH در محلول‌های حاوی

ردیاب‌های مورد بررسی، تغییر خصوصیات هر یک از آن‌ها با تغییر pH به طور سیستماتیک مورد ارزیابی قرار گرفت. همان طور که ذکر شد به منظور اعمال تغییرات pH بر محلول‌ها از NaOH و HCl استفاده گردید.

جدول ۴-۱- ردیاب‌های مورد استفاده در برخی از عملیات ردیابی در کشور در ۲۰ سال گذشته

منبع	نوع ردیاب	تاریخ	محل آزمون	
			مکان	استان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۶۵	نمک طعام	۱۳۶۵	سراب کاوات	کرمانشاه
	اورانین			
	رودامین B			
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۶۶	اورانین	۱۳۶۶	دره لیتو	سمنان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۶۹	اورانین	۱۳۶۹	سد مس سرچشمه	کرمان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۶۹	اورانین و رودامین B	۱۳۶۹	سد پانزده خرداد	قم
افتخاری ۱۳۷۳	اورانین	۱۳۷۲	سپیدان	فارس
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۲	اورانین	۱۳۷۲	سد میرزای شیرازی	فارس
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۴	اورانین و رودامین B	فروردین ۱۳۷۴		
		اورانین	بهمن ۱۳۷۴	
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۳	اورانین و ائوزین	۱۳۷۳	سد لار	تهران
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۴	اورانین	۱۳۷۴	سد هینی‌مینی	لرستان
	کلرور پتاسیم			
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۵	نمک طعام	۱۳۷۵	دشت ارژن	فارس
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۶	اورانین و رودامین B	۱۳۷۶	سد کوثر	خوزستان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۶	اورانین	۱۳۷۶	سد مارون	خوزستان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۶	اورانین و رودامین B	۱۳۷۶	سد رودبار	لرستان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۶	اورانین، رودامین B، کلرید سدیم و کلرید پتاسیم	۱۳۷۶	سد سلمان فارسی	فارس
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۶	اورانین	۱۳۷۶	سد هواسان	کرمانشاه
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۷۸	رودامین B و اورانین	۱۳۷۸	سد تنگ شمیران	کرمانشاه
اسد پور حسن آباد ۱۳۸۰	رودامین B	۱۳۸۰	سد سیمره	لرستان
بذرگر ۱۳۸۱	اورانین	۱۳۸۱	کوه رحمت	فارس
خانلری و همکاران ۱۳۸۵	اورانین	۱۳۸۴	سد گرین	همدان
مؤسسه تحقیقات آب ۱۳۸۴	اورانین	۱۳۸۴	سد گلورد	مازندران

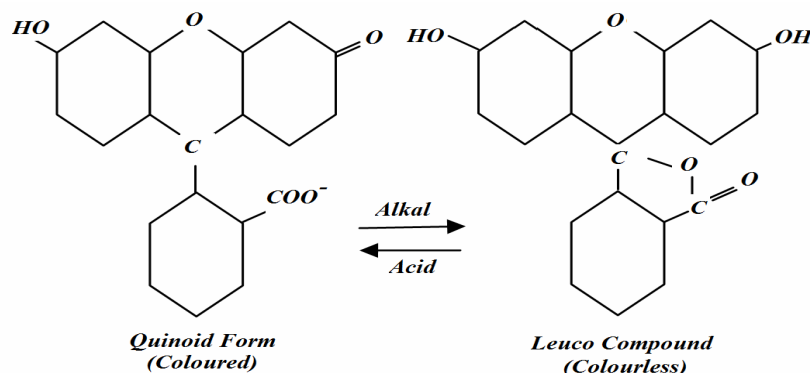
جدول ۴-۲- آنالیز هزینه ردیاب‌های مورد نظر در سال ۱۳۸۶

نام ردیاب	قیمت تقریبی هر کیلو در سال ۱۳۸۶ (ریال)	مقدار تقریبی مورد استفاده در عملیات (کیلوگرم)	هزینه نهایی ردیاب (ریال)
اورانین	۳۶۵۰۰۰۰	۵	۱۸،۲۵۰،۰۰۰
		۱۰	۳۶،۵۰۰،۰۰۰
		۱۵	۵۴،۷۵۰،۰۰۰
		۳۰	۱۰۹،۵۰۰،۰۰۰
*انوزین	۱۲۵۰۰۰۰۰	۵	۶۲،۵۰۰،۰۰۰
		۱۰	۱۲۵،۰۰۰،۰۰۰
		۱۵	۱۸۷،۵۰۰،۰۰۰
		۳۰	۳۷۵،۰۰۰،۰۰۰
*رودامین B	۷۲۰۰۰۰۰۰	۵	۳۶۰،۰۰۰،۰۰۰
		۱۰	۷۲۰،۰۰۰،۰۰۰
		۱۵	۱،۰۰۸،۰۰۰،۰۰۰
		۳۰	۲،۰۱۶،۰۰۰،۰۰۰
کلرید سدیم	۴۵۰۰	۱۰۰	۴۵۰،۰۰۰
	۴۲۰۰	۵۰۰	۲،۱۰۰،۰۰۰
	۳۸۰۰	۱۰۰۰	۳،۸۰۰،۰۰۰
کلرید پتاسیم	۸۵۰۰	۱۰۰	۸۵۰،۰۰۰
	۶۲۰۰	۵۰۰	۳،۱۰۰،۰۰۰
	۵۹۰۰	۱۰۰۰	۵،۹۰۰،۰۰۰
پرمنگنات پتاسیم	۳۲۰۰۰	۱۰۰	۳،۲۰۰،۰۰۰
	۳۰۵۰۰	۵۰۰	۱۵،۲۵۰،۰۰۰
	۲۹۰۰۰	۱۰۰۰	۲۹،۰۰۰،۰۰۰

* قیمت ارائه شده بر اساس بسته بندی ۱۰۰ گرمی می‌باشد.

۴-۲-۱- اثر تغییرات pH بر اورانین

تغییر ویژگی فلورسنس با تغییر pH می‌تواند در اثر یونیزاسیون و یا تغییر در ساختار اتفاق بیافتد. هنگامی که pH اورانین کاهش می‌یابد گروه عامل اسیدی پروتونه شده و مقدار فلورسنس کاهش می‌یابد. این تغییرات به صورت ناگهانی بوده و به ثابت گسستگی ردیاب وابسته است. در مورد اورانین با کاهش pH، ساختار تغییر می‌یابد. به این صورت که از ساختار کوآنواید^۱ تحت شرایط آلكالی به ساختار لیوکوکومپوند^۲ تحت شرایط اسیدی تبدیل می‌شود. حلقه کوآنواید که در شرایط آلكالی تشکیل می‌شود دارای خاصیت فلورسنس بسیار زیادی است. در حالی که حلقه لاکتون در شرایط اسیدی خاصیت فلورسنس ندارد و فاقد رنگ است. در شکل ۴-۱ دو ساختار اورانین در شرایط اسیدی و آلكالی ارائه شده است (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷).



شکل ۴-۱- ساختار اورانین در شرایط اسیدی و قلیایی (Smart and Lidlaw ۱۹۷۷)

در اینجا برای بررسی اثر pH بر فلورسنس اورانین ابتدا با استفاده از آب مقطر سه محلول با غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۳۴، ۱۸۶ و ۲۹۳ از اورانین تهیه شد. در مرحله اول به تدریج به هر محلول HCl اضافه کرده و سپس، pH و شدت فلورسنس

۱- Quinoid
۲- Leucocompound

محلول‌ها اندازه گرفته شد. در مرحله دوم نیز با اضافه کردن NaOH اندازه‌گیری‌ها تکرار گردید. شکل ۲-۴ تغییرات شدت فلورسنس اورانین با غلظت‌های اولیه مختلف ارائه شده است.

همان طور که در شکل ۲-۴ ملاحظه می‌شود با افزایش pH شدت فلورسنس هر سه نمونه افزایش می‌یابد. در حالی که در محیط اسیدی فلورسنس نمونه‌ها کاهش یافته و به صفر میل می‌کند. شدت فلورسنس نمونه ۱ در pH بیشتر از ۸ از ۳۴ به بیش از ۲۰۰ می‌رسد. با کاهش pH به کمتر از حدود ۵، شدت فلورسنس آن تقریباً به طور کامل از بین می‌رود. این روند در مورد نمونه ۲ و ۳ نیز صدق می‌کند. فلورسنس نمونه ۲ از ۱۸۶ در محیط خنثی به ۱۰۰۰ در محیط قلیایی و کمتر از ۱۰۰ در محیط اسیدی تغییر می‌کند. با افزایش pH شدت فلورسنس نمونه ۳ به بیش از مقدار قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه افزایش و با کاهش pH فلورسنس آن به شدت کاهش یافت.

شکل ۳-۴ تغییرات شدت فلورسنس اولیه اورانین در pH های مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، اورانین ردیابی است که نسبت به تغییرات pH محیط بسیار حساس بوده و شدت فلورسنس آن به شدت تحت تاثیر pH محیط قرار می‌گیرد به طوری که در محیط قلیایی فلورسنس آن به شدت افزایش یافته و حتی به چند برابر مقدار اولیه خود می‌رسد در حالی که در محیط اسیدی فلورسنس آن به شدت کاهش می‌یابد و تنها به چند درصد مقدار اولیه خود می‌رسد. این تغییر کاملاً به صورت ناگهانی اتفاق می‌افتد به طوری که با اندکی کاهش یا افزایش pH از حالت خنثی فلورسنس به نحو قابل توجهی تغییر می‌کند. حداکثر مقدار فلورسنس اورانین را می‌توان مربوط به pH ۱۰ یا بیشتر از آن دانست و هم چنین طبق نتایج به دست آمده در pH کمتر از ۴/۵ اورانین تقریباً ویژگی فلورسنس خود را از دست می‌دهد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سنجش غلظت اورانین با استفاده از اندازه‌گیری شدت فلورسنس آن تنها در pH خنثی به طور صحیح قابل ارزیابی می‌باشد.

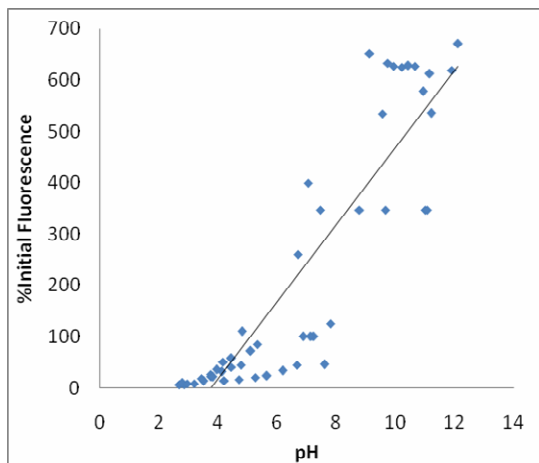
این واکنش کاملاً برگشت پذیر است به نحوی که با برگشت pH به مقدار اولیه آن شدت فلورسنس اورانین مجدداً به مقدار اولیه خود بر می‌گردد.

۴-۲-۲- اثر تغییرات pH بر فلورسنس ائوزین

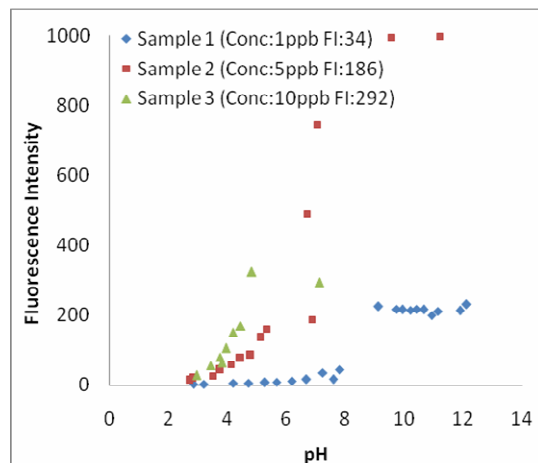
برای بررسی اثر pH بر فلورسنس ائوزین، آزمایش به همان نحو که در مورد اورانین شرح داده شد تکرار گشت. در این آزمایش محلول‌های اولیه با غلظت ۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۳۹، ۲۹۹ و ۶۰۲ از ائوزین تهیه شد. در شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵ نتایج این آزمایش ارائه شده است. با توجه به شکل ۴-۴ فلورسنس هر سه نمونه با افزایش pH تغییر نکرد. اما در محیط اسیدی کاهش نسبی در مقدار فلورسنس دیده می‌شود. به طور کلی تغییرات فلورسنس ائوزین در pH متفاوت در مقایسه با اورانین بسیار کمتر است. این تغییرات در pH اسیدی اتفاق می‌افتد و می‌توان گفت که محیط قلیایی بر روی فلورسنس ائوزین تاثیر ندارد. در pH کمتر از پنج، شدت فلورسنس ائوزین به طور مشخصی کاهش می‌یابد. بنابراین گسستگی در ساختار ائوزین در pH حدود پنج اتفاق می‌افتد. این تغییر در شکل ۴-۵ کاملاً مشخص است. این واکنش برگشت پذیر بوده و با بازگشت pH به مقدار اولیه شدت فلورسنس محلول نیز به مقدار اولیه خود می‌رسد.

۴-۲-۳- اثر تغییرات pH بر فلورسنس رودامین B

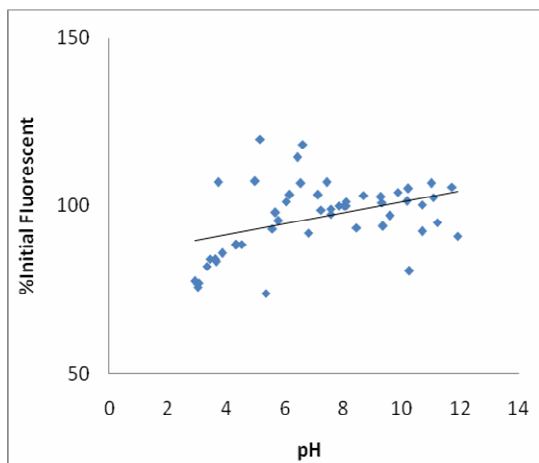
در مورد رودامین B، تغییرات pH بر روی سه محلول با غلظت‌های اولیه ۱، ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر که به ترتیب دارای شدت فلورسنس اولیه ۴۵، ۳۷۸ و ۶۱۴ بودند اعمال شد. شکل ۴-۶ تغییرات شدت فلورسنس این سه نمونه را در pH های مختلف نشان می‌دهد. همان طور که مشخص است رفتار رودامین B تا حدودی مشابه ائوزین است. به این ترتیب که تغییر چندانی در فلورسنس نمونه‌های رودامین B در محیط قلیایی رخ نمی‌دهد اما در محیط اسیدی فلورسنس آن‌ها کاهش می‌یابد. رودامین B کاهش بیشتری در محیط اسیدی نشان داد به طوری که در pH حدود سه، فلورسنس نمونه‌ها به ۵۰ درصد مقدار اولیه خود رسید (شکل ۴-۷). بنابراین رودامین B در محیط اسیدی بخشی از ویژگی فلورسنس خود را از دست می‌دهد. این واکنش نیز برگشت پذیر می‌باشد.



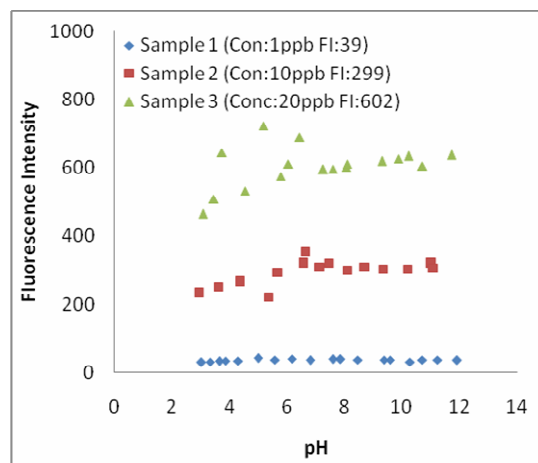
شکل ۴-۳- تغییرات درصد فلورسنس اولیه اورانین با pH



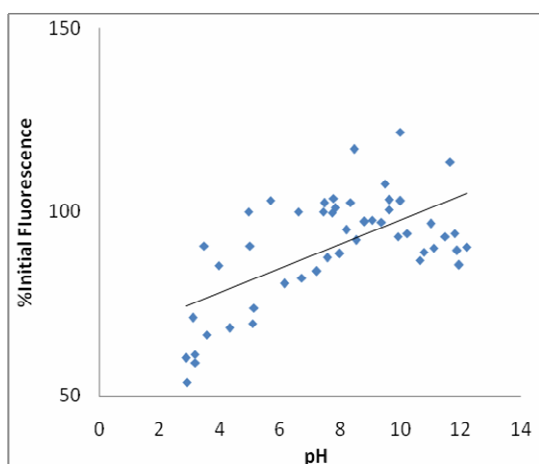
شکل ۴-۲- تغییرات شدت فلورسنس اورانین با pH



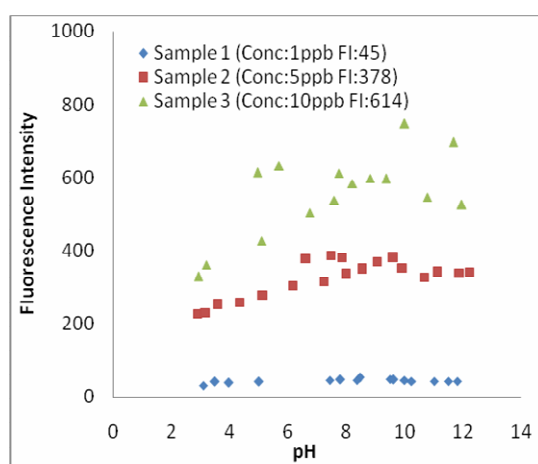
شکل ۴-۵- تغییرات درصد فلورسنس اولیه ائوزین با pH



شکل ۴-۴- تغییرات شدت فلورسنس ائوزین با pH



شکل ۴-۷- تغییرات درصد فلورسنس اولیه رودامین B با pH



شکل ۴-۶- تغییرات شدت فلورسنس رودامین B با pH

۴-۲-۴- اثر تغییرات pH بر کلرید سدیم و پتاسیم

به منظور ارزیابی ردیاب‌های کلرید سدیم و پتاسیم و سنجش آن‌ها در محلول‌هایی با pH مختلف، محلولی با غلظت یک گرم بر لیتر از کلرید سدیم و کلرید پتاسیم به ترتیب دارای هدایت الکتریکی ۱۶۶۲ و ۱۵۶۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تهیه و پس از سنجش آن‌ها در شرایط اولیه با استفاده از NaOH و HCl به تدریج pH نمونه‌ها تغییر داده شد و در هر مرحله هدایت الکتریکی محلول اندازه‌گیری گردید. شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ تغییرات درصد اولیه هدایت الکتریکی کلرید سدیم و پتاسیم را در pH های متفاوت نشان می‌دهد.

بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که با تغییر pH محیط، هدایت الکتریکی سیال موجود در آن محیط نیز تغییر خواهد کرد. این تغییرات عمدتاً به صورت افزایش در هدایت الکتریکی محلول در pH بیشتر از دوازده و کمتر از سه رخ می‌دهد. اما افزایش هدایت الکتریکی به ازای هر واحد کاهش یا افزایش pH، در pH کمتر از سه بسیار کمتر از افزایش هدایت الکتریکی در pH بیشتر از دوازده می‌باشد. در pH سه تا دوازده هدایت الکتریکی تقریباً ثابت است. این افزایش احتمالاً به دلیل افزایش غلظت یون در محیط است. با مقایسه نمودارهای ۴-۸ و ۴-۹ می‌توان گفت رفتار این دو ردیاب در برابر pH مشابه یکدیگر است.

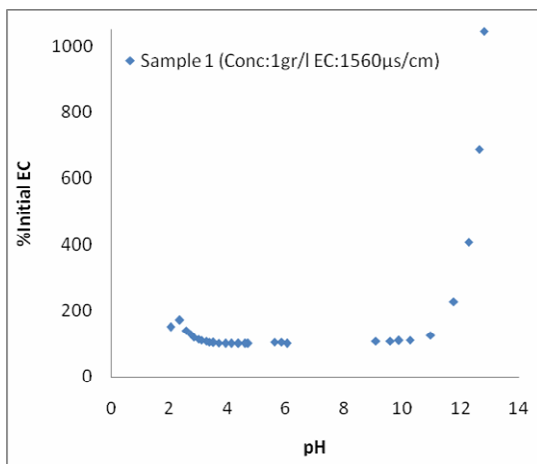
۴-۲-۵- اثر تغییرات pH بر شدت رنگ پرمنگنات پتاسیم

یکی از روش‌های اندازه‌گیری و سنجش پرمنگنات پتاسیم که به دلیل سادگی و سرعت آنالیز در مطالعات ردیابی پیشنهاد می‌شود رنگ سنجی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر است. بنابراین به منظور ارزیابی پرمنگنات در محلول‌هایی با pH متفاوت، تغییرات شدت رنگ آن مورد بررسی قرار گرفت. محلول‌هایی با غلظت اولیه ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت رنگ PtCo ۴، ۲۹ و ۱۸۴) از پرمنگنات پتاسیم تهیه و به تدریج با تغییر pH محلول در هر مرحله شدت رنگ پرمنگنات

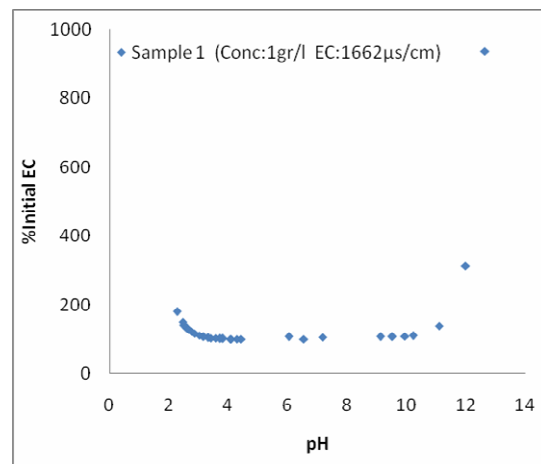
پتاسیم اندازه‌گیری گردید. شکل ۴-۱۰ تغییرات شدت رنگ غلظت‌های مختلف را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، تغییرات pH اثری بر شدت رنگ نمونه‌ها به وجود نمی‌آورد. خط برازش در شکل ۴-۱۱ نیز نشان دهنده ثابت ماندن شدت رنگ نمونه‌ها در pH های مختلف است. پراکندگی که در این نمودار دیده می‌شود ظاهری است و به دلیل نسبی بودن نمودار عمودی به وجود آمده است.

کلیه نتایج به دست آمده از بررسی اثر pH بر ردیاب‌ها را می‌توان به صورت جدول ۴-۳ خلاصه

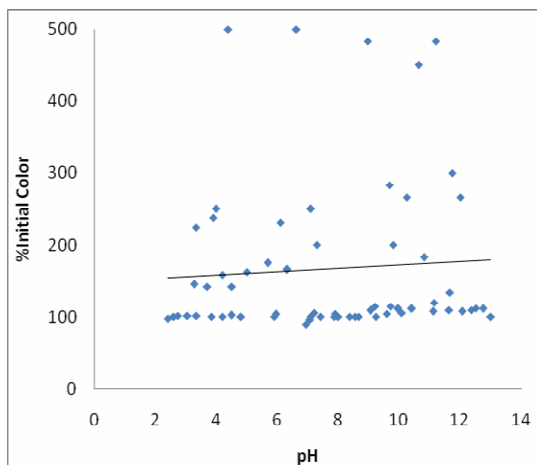
نمود.



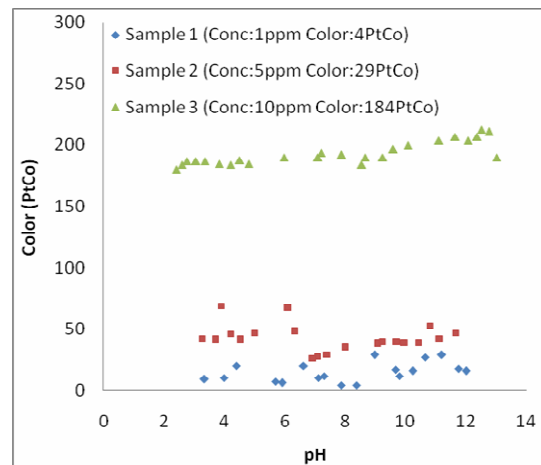
شکل ۴-۹- تغییرات درصد هدایت الکتریکی KCl با pH



شکل ۴-۸- تغییرات درصد هدایت الکتریکی NaCl با pH



شکل ۴-۱۱- تغییرات درصد شدت رنگ $KMnO_4$ با pH



شکل ۴-۱۰- تغییرات شدت رنگ $KMnO_4$ با pH

جدول ۳-۴- تغییرات ویژگی ردیاب‌ها در pH های مختلف

نام ردیاب	محیط اسیدی	محیط قلیایی
اورانین	کاهش بسیار شدید شدت فلورسنس در pH کمتر از ۶	افزایش بسیار زیاد شدت فلورسنس در pH بیشتر از ۸
اَنُوَزین	کاهش شدت فلورسنس در pH کمتر از ۴	تغییر قابل توجهی در شدت فلورسنس آن به وجود نمی‌آید
رودامین B	کاهش شدت فلورسنس در pH کمتر از ۵	تغییر قابل توجهی در شدت فلورسنس آن به وجود نمی‌آید
کلرید سدیم	افزایش هدایت الکتریکی در pH کمتر از ۳	افزایش بسیار زیاد هدایت الکتریکی در pH بیشتر از ۱۲
کلرید پتاسیم	افزایش هدایت الکتریکی در pH کمتر از ۳	افزایش بسیار زیاد هدایت الکتریکی در pH بیشتر از ۱۲
پرمنگنات پتاسیم	تغییری در شدت رنگ آن به وجود نمی‌آید	

۳-۴- اثر نور خورشید

یکی از مهمترین فاکتورهای محیطی که می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر ردیاب‌ها داشته باشد تابش نور خورشید است. توجه به این فاکتور هنگام نگهداری و انتقال نمونه‌های برداشت شده در عملیات ردیابی و نیز در عملیات‌های ردیابی منابع آب سطحی، می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در نتایج عملیات داشته باشد. ردیاب‌های فلورسنت در اثر تابش نور خورشید دچار فروپاشی شده و بخشی از فلورسنس خود را از دست می‌دهند این واکنش برگشت پذیر نمی‌باشد. تجزیه فتوشیمیایی به شدت نور و طول موج آن وابسته است. نور ماوراء بنفش به علت طول موج کوتاه‌تر، باعث می‌شود تجزیه با سرعت بیشتری صورت بگیرد. هنگام بررسی اثر نور در یک عملیات ردیابی باید این نکته را در نظر داشت که با افزایش عمق و آشفته‌گی آب شدت نور به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در واقع نرخ تجزیه فتوشیمیایی به غلظت ردیاب و شدت نور وابسته است. در بررسی اثر نور همان طور که در ابتدای فصل ذکر شد نمونه‌ها تحت شرایط یکسان نور خورشید و در یک دوره زمانی مشخص مورد ارزیابی قرار گرفتند. در چنین شرایطی می‌توان میزان واپاشی هر ردیاب را با مابقی مقایسه نمود.

۴-۳-۱- اثر نور بر فلورسنس اورانین

برای این هدف، چهار محلول با غلظت ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میکروگرم بر لیتر به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۵۱، ۲۶۶، ۵۸۴ و ۹۴۷ از اورانین در برابر تابش نور خورشید قرار داده شد. برای هر یک از نمونه‌ها نیز یک نمونه شاهد تهیه و در تاریکی قرار گرفت. هدف از نمونه شاهد مقایسه آن با نمونه‌های قرار داده شده در معرض تابش نور خورشید بعد از گذشت یک دوره زمانی مشخص بود. در مرحله بعد با گذشت زمان تغییرات شدت فلورسنس نمونه‌های شاهد و اصلی اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها نشان داد که با گذشت زمان تغییری در فلورسنس نمونه‌های شاهد به وجود نمی‌آید. همان طور که در شکل ۴-۱۲ مشخص است تابش نور خورشید به مواد فلورسنت منجر به تجزیه فتوشیمیایی و از بین رفتن ویژگی فلورسنس آن‌ها می‌شود و بنابراین اورانین با گذشت زمان فلورسنس خود را از دست می‌دهد. روند این واپاشی به نحوی بود که با گذشت چند روز اول فلورسنس نمونه‌ها تقریباً ثابت ماند اما پس از گذشت حدود ۳ روز شدت فلورسنس اورانین به طور غیر خطی، در تمامی نمونه‌ها به کمتر از نصف مقدار اولیه خود رسید و با گذشت ۱۵ روز به طور کلی از بین رفت. این تحقیقات نشان داد این واکنش برگشت پذیر نمی‌باشد.

با توجه به اینکه واپاشی فتوشیمیایی به شدت نور وابسته است، سرعت از بین رفتن فلورسنس ردیاب‌ها به طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع و هم چنین شرایط جوی و آب و هوایی منطقه در طول عملیات نیز بستگی خواهد داشت.

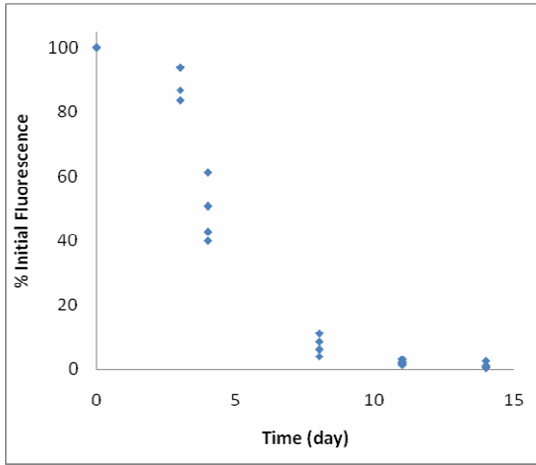
۴-۳-۲- اثر نور بر فلورسنس ائوزین

بررسی اثر نور خورشید بر شدت فلورسنس ائوزین نیز به همان صورت که برای اورانین ذکر شد صورت گرفت. غلظت‌های اولیه نمونه‌ها در این آزمایش ۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۳۳، ۲۸۶ و ۶۳۷) بود. شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ تغییرات شدت فلورسنس

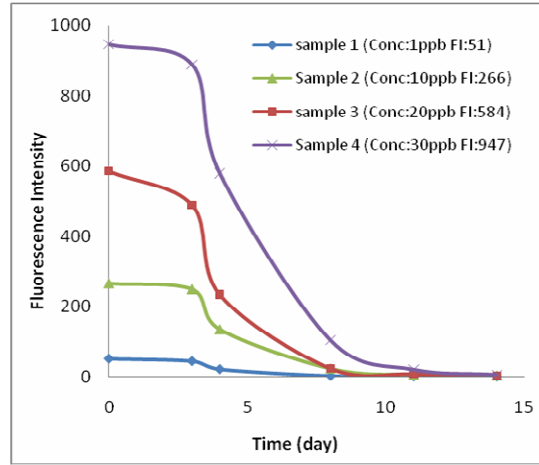
اٲوزین با غلظت‌های اولیه متفاوت و تغییرات درصد فلورسنس اولیه آن‌ها را در اثر تابش نور خورشید با گذشت زمان نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که کاهش شدت فلورسنس در اثر تابش نور خورشید در مورد اٲوزین نیز صادق است. با مقایسه این نمودارها با نمودارهای ۴-۱۲ و ۴-۱۳ می‌توان دریافت نرخ واپاشی اٲوزین در برابر نور خورشید در مقایسه با اورانین بسیار بیشتر است به نحوی که پس از گذشت ۲ ساعت شدت فلورسنس نمونه‌ها به نصف مقدار اولیه خود می‌رسد و تنها پس از گذشت ۴ ساعت ویژگی فلورسنس کلیه نمونه‌ها از بین می‌رود. روند این فروپاشی کاملاً به صورت خطی و با شیب زیاد رخ می‌دهد. بنابراین اٲوزین در برابر نور بسیار ناپایدار است. توجه به این نکته برای انجام سایر آنالیزها نیز مهم و ضروری بود و در طول انجام کلیه آزمایش‌ها سعی شد تا نمونه‌های اٲوزین در معرض تابش نور حتی در مدت زمان کوتاه نیز قرار نداشته باشند.

۴-۳-۳- اثر نور بر فلورسنس رودامین B

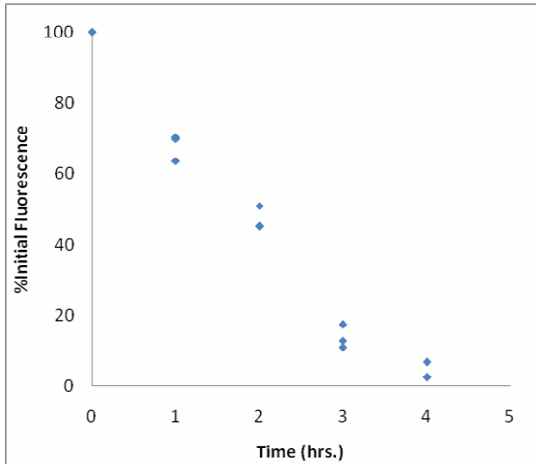
ارزیابی نرخ واپاشی فتوشیمیایی رودامین B نیز با محلول‌هایی با غلظت اولیه ۱، ۳، ۶ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۶۵، ۲۰۲، ۴۱۴ و ۶۲۷) انجام شد. در شکل ۴-۱۶ تغییرات شدت فلورسنس رودامین B با غلظت‌های اولیه متفاوت و تغییرات درصد فلورسنس اولیه آن‌ها را در اثر تابش نور خورشید با گذشت زمان ارائه شده است. همان طور که در این نمودارها دیده می‌شود بیشترین کاهش در فلورسنس رودامین B به طور غیر خطی و در اولین روزها اتفاق افتاد بر خلاف اورانین که در چند روز اول کاهش فلورسنس آن بسیار ناچیز بوده است. با گذشت ۵ روز ویژگی فلورسنس نمونه‌های رودامین B به نصف مقدار اولیه خود می‌رسد و پس از گذشت ۱۵ روز ۲۰ درصد فلورسنس در نمونه‌ها باقی می‌ماند (شکل ۴-۱۷). با مقایسه نمودارهای ۴-۱۲ تا ۴-۱۷ می‌توان نتیجه گرفت رودامین B در مقایسه با ردیاب‌های اورانین و اٲوزین پایداری بیشتری در برابر تجزیه فتوشیمیایی دارد.



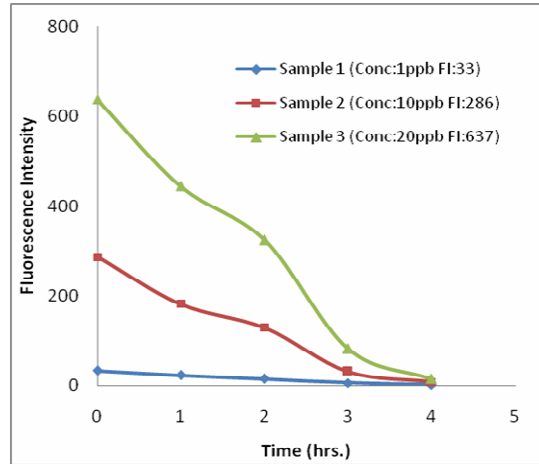
شکل ۴-۱۳- اثر نور بر درصد فلورسنس اولیه اورانین



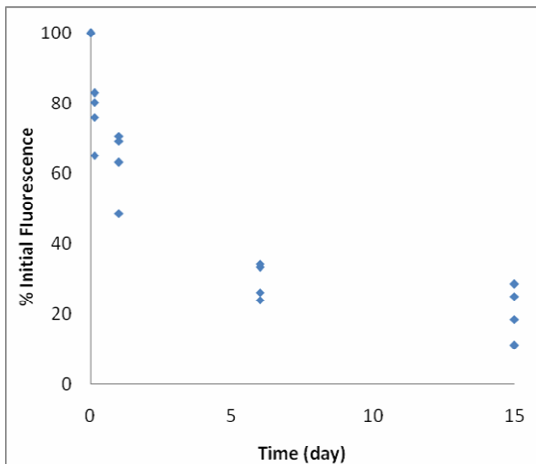
شکل ۴-۱۲- اثر نور بر فلورسنس اورانین



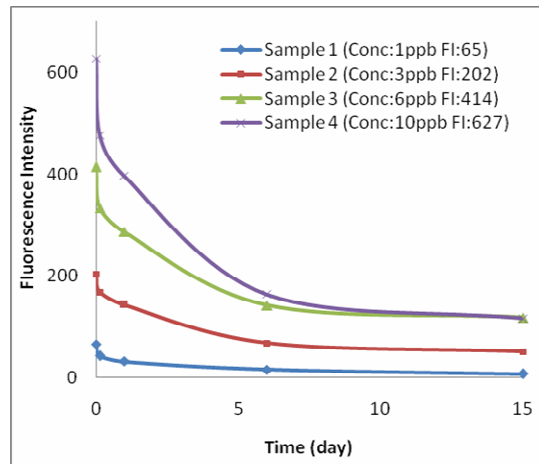
شکل ۴-۱۵- اثر نور بر درصد فلورسنس اولیه ائوزین



شکل ۴-۱۴- اثر نور بر فلورسنس ائوزین



شکل ۴-۱۷- اثر نور بر درصد فلورسنس اولیه رودامین B



شکل ۴-۱۶- اثر نور بر فلورسنس رودامین B

۴-۳-۴- اثر نور بر کلرید سدیم و پتاسیم

اثر تابش نور خورشید بر کلرید سدیم و پتاسیم نیز مانند سایر ردیاب‌ها مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که چهار محلول با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (به ترتیب دارای هدایت الکتریکی ۸۸۸، ۱۷۰۰، ۸۱۰۰ و ۱۵۸۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) از کلرید سدیم و غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر (به ترتیب دارای هدایت الکتریکی ۸۰۴، ۱۵۵۷، ۷۶۴۰ و ۱۴۹۳۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) از کلرید پتاسیم در شرایط یکسان با ردیاب‌های فلورسنت در معرض تابش نور خورشید قرار داده شدند. شکل‌های ۵-۱۸، ۵-۱۹، ۵-۲۰ و ۵-۲۱ نتایج اندازه‌گیری هدایت الکتریکی این نمونه‌ها را با گذشت زمان نشان می‌دهد. این نمودارها نشان می‌دهد که نور خورشید حتی در مدت زمانی طولانی تغییری در هدایت الکتریکی کلرید سدیم و کلرید پتاسیم به وجود نمی‌آورد. بنابراین نور خورشید و گذشت مدت زمان طولانی نیز نمی‌تواند تغییری در ویژگی ردیابی آن‌ها ایجاد کند.

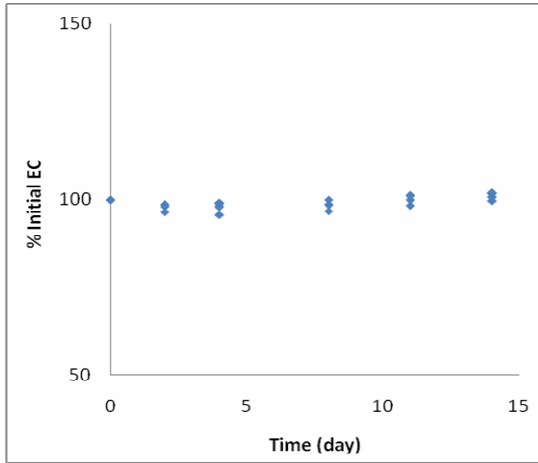
۴-۳-۵- اثر نور بر پرمنگنات پتاسیم

به منظور بررسی اثر نور بر پرمنگنات پتاسیم، چهار محلول با غلظت‌های اولیه ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از پرمنگنات پتاسیم (به ترتیب PtCo ۴۸، ۱۲۹، ۲۵۱ و ۴۱۸) تهیه و سپس شدت رنگ اولیه آن‌ها اندازه‌گیری و در معرض تابش نور خورشید قرار داده شدند. با گذشت زمان رنگ نمونه‌ها دچار تغییر شد. شکل ۴-۲۴ تغییر رنگ محلول‌های پرمنگنات پتاسیم را بعد از گذشت ۱۰ روز در اثر تابش نور خورشید نشان می‌دهد. محلول‌های ردیف بالا نمونه‌های شاهد این آزمایش بودند که در تاریکی نگهداری می‌شدند و نمونه‌های ردیف پایین محلول‌های پرمنگنات پتاسیم با غلظت‌های مختلف بودند که تحت تاثیر نور خورشید قرار داشتند. با مقایسه این نمونه‌ها با همدیگر می‌توان نتیجه گرفت رنگ پرمنگنات پتاسیم از بنفش به قهوه‌ای تغییر می‌کند. همان طور که در نمودارهای ۴-۲۲ و

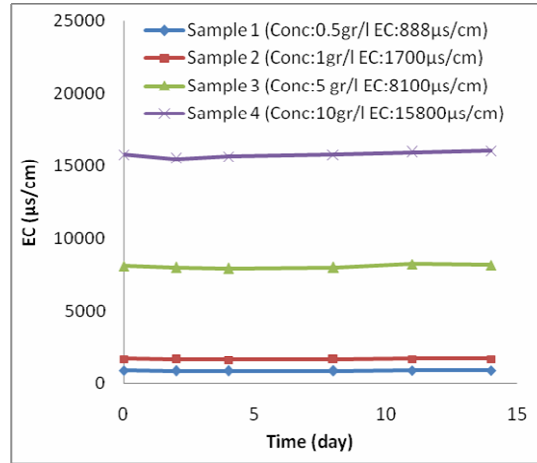
۲۳-۴ نیز مشخص است شدت نور در این نمونه‌ها به دلیل به وجود آمدن اکسید منگنز در محلول‌ها و تغییر رنگ در آن‌ها به شدت افزایش می‌یابد تا جائیکه دستگاه قادر به قرائت شدت رنگ آن‌ها نیست. روند این تغییرات به نحوی است که این افزایش در ابتدا بسیار سریع بوده و با گذشت زمان از شدت آن کاسته می‌شود. بنابراین پرمنگنات پتاسیم در اثر تابش نور خورشید به دلیل به وجود آمدن رسوب ویژگی ردیابی خود را از دست می‌دهد. وجود پراکندگی در داده‌ها در شکل ۴-۲۳، همان طور که در مورد شکل ۴-۱۱ توضیح داده شد، ظاهری بوده و به دلیل اختلاف در غلظت محلول‌های اولیه به وجود آمده است. علت کم شدن تعداد نقاط با گذشت زمان افزایش شدت رنگ محلول‌ها به بیش از مقدار قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه می‌باشد.

۴-۴- اثر دما

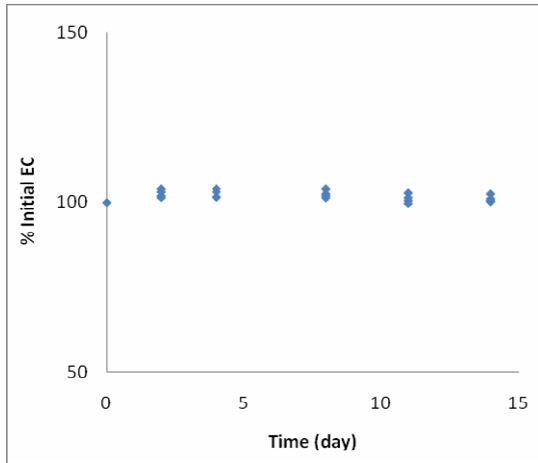
با افزایش دما، ملکول‌های برانگیخته، انرژی لرزشی و دورانی بیشتری ایجاد می‌کنند که به گرما تبدیل و باعث کاهش فلورسنس می‌شود. به همین دلیل، به منظور اطمینان از نتایج آزمایش‌ها آنالیز ردیاب‌های فلورسنت در دمای کمتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. در غیر این صورت نمونه باید قبل از آنالیز و یا قرار گرفتن در محفظه مخصوص دستگاه اسپکتروفلوریمتر توسط تعدیل کننده خنک شود. در اندازه‌گیری‌های کمی، دما باید کنترل شده و مطابق استاندارد باشد و نمونه‌ها باید در دمای مشابه آنالیز شوند. به عنوان مثال اگر نمونه‌ها به منظور جلوگیری از زوال بیولوژیکی در یخچال نگهداری شده‌اند، باید ابتدا تا دمای استاندارد آن‌ها را گرم نمود و سپس شدت فلورسنس آن‌ها را اندازه‌گیری نمود. مقاومت ردیاب‌ها در برابر درجه حرارت به خصوص هنگامی که عملیات ردیابی در آب‌های هیدروترمال مورد نظر باشد اهمیت بسزایی دارد. در چنین مواقعی تنها شناخت خصوصیات شیمیایی ردیاب‌ها و واکنش آن‌ها به تغییرات درجه حرارت است که می‌تواند ما را در انتخاب صحیح ردیاب راهنمایی کند.



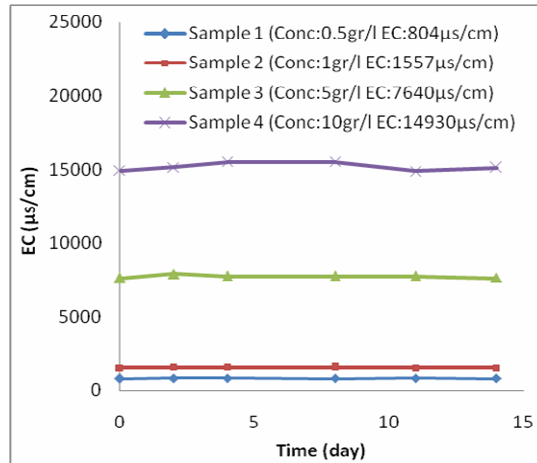
شکل ۴-۱۹- اثر نور بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl



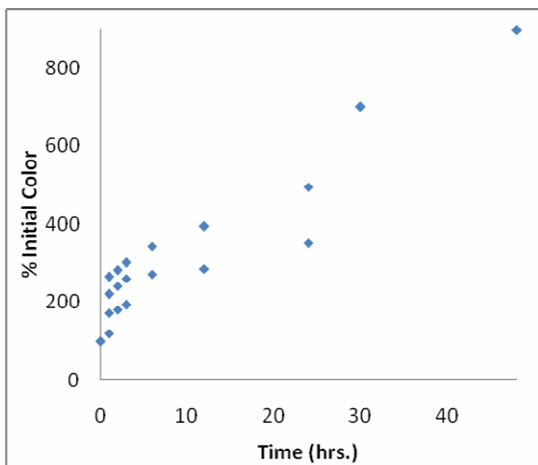
شکل ۴-۱۸- اثر نور بر هدایت الکتریکی NaCl



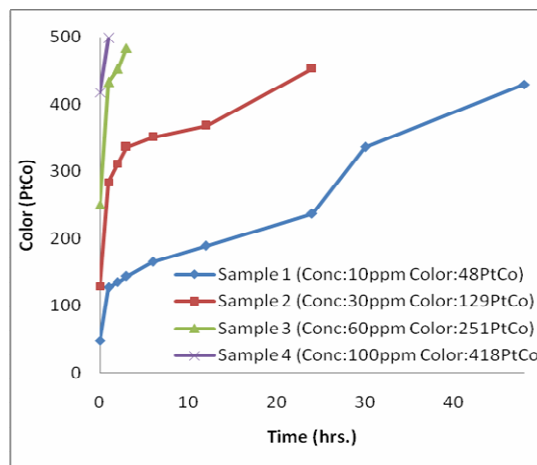
شکل ۴-۲۱- اثر نور بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl



شکل ۴-۲۰- اثر نور بر هدایت الکتریکی KCl



شکل ۴-۲۳- اثر نور بر درصد شدت رنگ اولیه KMnO4



شکل ۴-۲۲- اثر نور بر شدت رنگ KMnO4



شکل ۴-۲۴- تغییر رنگ پرمنگنات پتاسیم در اثر تابش نور خورشید

۴-۴-۱- اثر دما بر فلورسنس اورانین

با استفاده از آب مقطر، چهار محلول با غلظت‌های اولیه ۱، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میکروگرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۱۹، ۱۷۷، ۳۳۶ و ۴۷۴) تهیه و سپس دمای هر نمونه تغییر و در هر مرحله، دما و شدت فلورسنس آن‌ها اندازه‌گیری شد. به این ترتیب نمودار مربوط به رفتار اورانین در دماهای مختلف به دست آمد. شکل ۴-۲۵ تغییرات شدت فلورسنس اورانین با غلظت‌های اولیه متفاوت را در دمای صفر تا هفتاد درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. طبق نتایج، افزایش دما منجر به کاهش در فلورسنس هیچ یک از نمونه‌های اورانین به وجود نمی‌آورد. همان طور که در نمودار ۴-۲۶ مشخص است افزایش دما به بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش فلورسنس در تعدادی از نمونه‌ها شده است. بنابراین می‌توان گفت که اورانین دارای پایداری دمایی قابل توجهی می‌باشد.

۴-۴-۲- اثر دما بر فلورسنس ائوزین

بررسی اثر دما بر ائوزین نیز به همان نحو که برای اورانین عنوان شد تکرار گشت. غلظت‌های اولیه محلول‌ها در این آنالیز ۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۲۸، ۱۰۶،

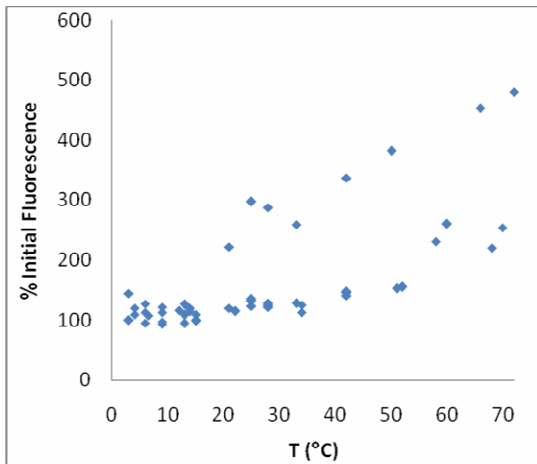
۲۶۶ و ۵۸۲) انتخاب شد. شکل‌های ۲۷-۴ و ۲۸-۴ تغییرات شدت فلورسنس ائوزین با غلظت‌های اولیه متفاوت و تغییرات درصد فلورسنس اولیه آن‌ها را در دماهای متفاوت نشان می‌دهد. طبق نتایج این تحقیق، شدت فلورسنس نمونه‌های ائوزین تغییری نکرده و فلورسنس در دماهای مختلف در مقدار اولیه خود ثابت باقی می‌ماند. لذا ائوزین نیز مانند اورانین دارای پایداری دمایی قابل توجهی است.

۴-۳-۴- اثر دما بر فلورسنس رودامین B

به منظور بررسی اثر دما بر شدت فلورسنس رودامین B، با استفاده از آب مقطر چهار محلول با غلظت‌های اولیه ۱، ۳، ۶ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت فلورسنس ۶۲، ۱۸۵، ۳۲۷ و ۵۱۶) تهیه و سپس به هر نمونه تغییرات دمایی اعمال و در هر مرحله دما و شدت فلورسنس آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان داد که با افزایش دما شدت فلورسنس رودامین B به شدت کاهش می‌یابد (شکل ۴-۲۹). همان طور که در نمودار ۴-۳۰ ملاحظه می‌شود شیب‌های متفاوت این منحنی‌ها ظاهری بوده و به دلیل غلظت‌های اولیه مختلف نمونه‌ها به وجود آمده است. هنگامی که نمودار به صورت درصد رسم می‌شود این تفاوت از بین می‌رود. کاهش فلورسنس رودامین B با افزایش دما از تابعی با رابطه زیر پیروی می‌کند:

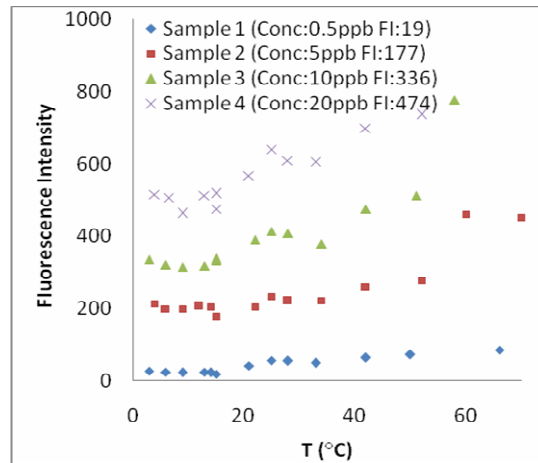
$$FI = a.e^{bt} \quad (۴-۲)$$

که در این رابطه FI شدت فلورسنس در دمای t ، a شدت فلورسنس در صفر درجه و b در واقع ضریب دمایی رودامین B است. به این ترتیب رودامین B برخلاف اورانین و ائوزین در برابر افزایش دما ناپایدار بوده و بخشی از فلورسنس خود را از دست می‌دهد. ضریب دمایی غلظت‌های مختلف رودامین B یکسان بوده و بنابراین کاهش فلورسنس از غلظت اولیه محلول مستقل است. هم چنین این واکنش به طور کامل برگشت پذیر نیست به این ترتیب که با کاهش دما، بخشی از فلورسنس از بین رفته به دست می‌آید اما هرگز به مقدار اولیه خود نمی‌رسد.

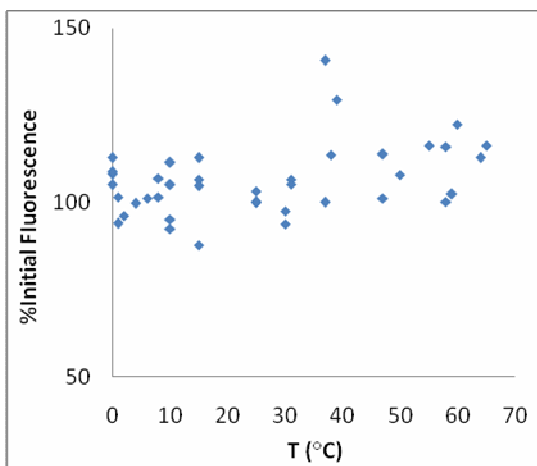


شکل ۴-۲۶- اثر دما بر درصد فلورسنس اولیه اورانین

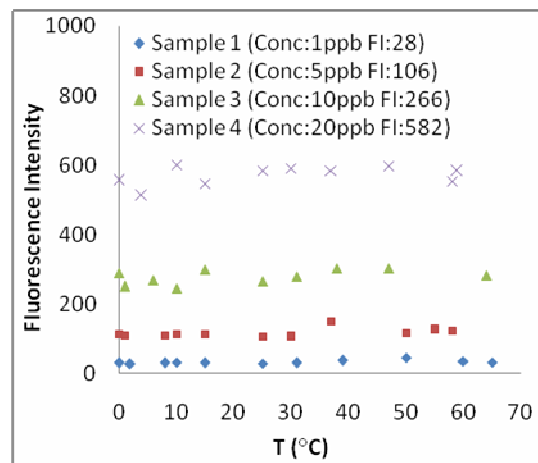
شکل ۴-۳۰- اثر دما بر درصد فلورسنس اولیه رودامین B



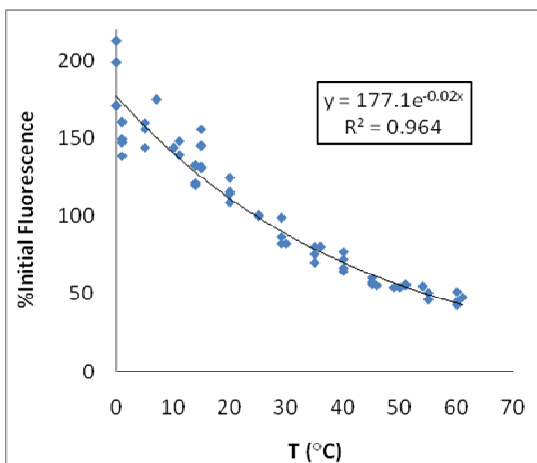
شکل ۴-۲۵- اثر دما بر فلورسنس اورانین



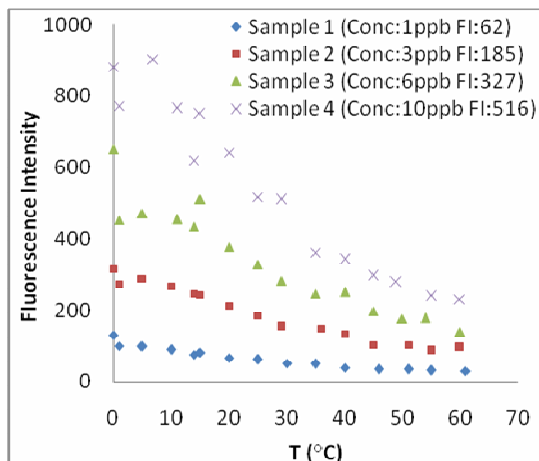
شکل ۴-۲۸- اثر دما بر درصد فلورسنس اولیه ائوزین



شکل ۴-۲۷- اثر دما بر فلورسنس ائوزین



شکل ۴-۲۹- اثر دما بر فلورسنس رود امین B



۴-۴-۴- اثر دما بر کلرید سدیم و پتاسیم

رابطه دما با هدایت الکتریکی به صورت یک خط مستقیم است. به منظور حذف اثر دما بر مقدار هدایت الکتریکی، با استفاده از ضریب دمایی نمک‌ها، مقدار هدایت الکتریکی آن‌ها نسبت به دما تصحیح می‌شود. به این ترتیب اثر دما بر هدایت الکتریکی محلول‌ها حذف می‌شود.

در دستگاه EC meter Hach با استفاده از فاکتور تصحیح دما، هدایت الکتریکی در ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌شود. به منظور ارزیابی کارایی کلرید سدیم و پتاسیم به عنوان ردیاب در دماهای متفاوت ابتدا چهار محلول با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر از کلرید سدیم (دارای هدایت الکتریکی ۸۷۵، ۱۶۵۰، ۷۹۸۵ و ۱۵۵۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و کلرید پتاسیم (دارای هدایت الکتریکی ۸۲۰، ۱۵۵۰، ۷۶۱۰ و ۱۴۷۷۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) تهیه و سپس تغییرات دمایی بر آن‌ها اعمال شد. در هر مرحله هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری و با استفاده از ضریب دمایی تصحیح گردید. شکل‌های ۴-۳۱ تا ۴-۳۴ پایداری کلرید سدیم و پتاسیم با تغییرات دما را نشان می‌دهند. به این ترتیب این مواد را می‌توان از ردیاب‌های پایدار در برابر دما دانست.

۴-۴-۵- اثر دما بر پرمنگنات پتاسیم

محلول‌های اولیه که در این آزمایش تهیه شدند دارای غلظت‌های اولیه ۱۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت رنگ PtCo ۴۷، ۱۲۴، ۲۴۹ و ۴۲۰) بودند. پس از اعمال

تغییرات دمایی بر نمونه‌ها مشخص شد که نمونه‌هایی که تحت تاثیر افزایش یا کاهش دما در یک دوره چند ساعته قرار می‌گرفتند تغییر نکرده و رنگ آن‌ها ثابت باقی ماند (شکل‌های ۴-۳۵ و ۴-۳۶). کاهش دما حتی در مدت زمان طولانی تغییری در رنگ نمونه‌ها به وجود نیاورد. در حالی که وقتی افزایش دمای نمونه‌ها در یک دوره چند روزه ادامه یافت رنگ محلول‌ها تغییر کرده و رسوب قهوه‌ای رنگ اکسید منگنز به وجود آمد. از آنجا که در یک عملیات، ردیاب ممکن است در یک دوره طولانی مدت تحت تاثیر افزایش دما قرار بگیرد پرمنگنات پتاسیم را نمی‌توان ردیاب مناسبی در چنین محیطی دانست زیرا تشکیل رسوب و تغییر رنگ آن منجر به از بین رفتن ویژگی ردیابی این ماده می‌شود.

۴-۵- اثر شوری

غلظت یون کلر در آب دریا حدود ۱۹۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و یون سدیم، ۱۰۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. وقتی عملیات ردیابی در محیط‌هایی مثل سواحل دریا و یا محیط دریاچه‌ای انجام می‌گیرد، و یا ذخایر آب شور به صورت ناپیوسته یا پیوسته در درون یا پیرامون آبخوان وجود دارند، ممکن است شوری موجود در این نواحی بر کارایی ردیاب‌ها تاثیر داشته باشد. در این تحقیق به منظور بررسی اثر نوع کاتیون از دو نوع نمک سدیم و پتاسیم برای بررسی اثر شوری بر ردیاب‌ها استفاده شد.

۴-۵-۱- اثر شوری بر فلورسنس اورانین

جهت بررسی اثر شوری بر ویژگی فلورسنس اورانین، با استفاده از آب مقطر محلولی به غلظت ۱۰ میکروگرم بر لیتر اورانین با شدت فلورسنس اولیه ۲۷۱ و هدایت الکتریکی اولیه ۲/۴۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر تهیه گردید. در مرحله اول به تدریج نمک سدیم به آن اضافه و در هر مرحله شدت فلورسنس و هدایت الکتریکی نمونه اندازه‌گیری گردید. در مرحله دوم به جای نمک سدیم از نمک

پتاسیم استفاده و اندازه‌گیری‌ها تکرار شد. شدت فلورسنس اولیه محلول در این آنالیز ۲۲۳ و هدایت الکتریکی آن ۲/۴۱ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بود.

شکل ۵-۳۷ تغییرات درصد فلورسنس اولیه اورانین را با افزایش شوری ناشی از کلرید سدیم و پتاسیم در محلول نشان می‌دهد. با توجه به این شکل با افزایش کلرید سدیم در ابتدا فلورسنس ثابت باقی می‌ماند اما در هدایت الکتریکی بیشتر از ۱۰۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر با افزایش شوری شدت فلورسنس اورانین افزایش می‌یابد. این موضوع در مورد کلرید پتاسیم نیز به صورت خفیف‌تری صادق است. تغییرات فلورسنس اورانین در اثر شوری به نوع کاتیون نمک وابسته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که شوری محیط نمی‌تواند منجر به از بین رفتن فلورسنس اورانین شود.

۴-۵-۲- اثر شوری بر فلورسنس ائوزین

آزمایش بررسی اثر شوری بر ائوزین نیز همانگونه که در مورد اورانین شرح داده شد تکرار گشت. در آزمایش بررسی اثر کلرید سدیم غلظت اولیه ائوزین ۱۰ میکروگرم بر لیتر با شدت فلورسنس اولیه ۳۵۸ و هدایت الکتریکی ۳/۱۹ میکروزیمنس بر سانتی‌متر و در بررسی اثر کلرید پتاسیم شدت فلورسنس ۳۱۳ و هدایت الکتریکی آن ۲/۷۴ میکروزیمنس بر سانتی‌متر بوده است. محلول‌های اولیه با استفاده از آب مقطر تهیه شدند.

نمودار ۵-۳۸ نتایج این آزمایش را نشان می‌دهد. تغییر فلورسنس ائوزین با افزایش کلرید سدیم و پتاسیم دارای دو نتیجه کاملاً متفاوت بود. به صورتیکه با افزایش شوری ناشی از کلرید پتاسیم حتی در مقادیر بسیار بالا تغییری در فلورسنس ائوزین ایجاد نمی‌شود. حال آنکه افزایش کلرید سدیم به محلول منجر به کاهش فلورسنس نمونه خواهد شد. کاهش فلورسنس ائوزین در اثر کلرید سدیم ناچیز بوده و می‌توان نتیجه گرفت که ائوزین تنها، در محیط‌های با شوری بالا (بیش از $100 \mu\text{s/cm}$) ناشی از کلرید سدیم بخشی از فلورسنس خود را (حدود ۲۰ درصد) از دست می‌دهد.

۴-۵-۳- اثر شوری بر فلورسنس رودامین B

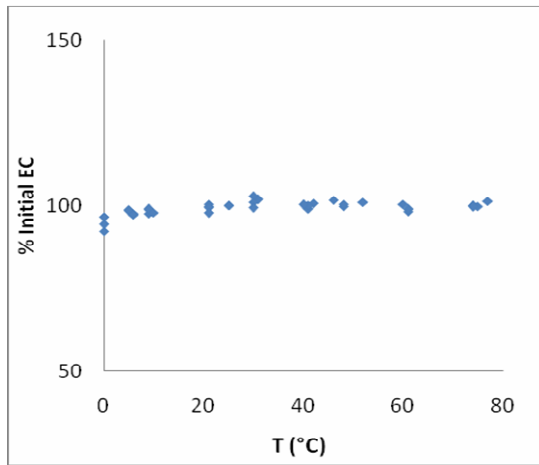
در بررسی اثر شوری ناشی از کلرید سدیم بر رودامین B، محلول اولیه دارای غلظت ۱۰ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس اولیه ۸۸۸ و هدایت الکتریکی $6/42 \mu\text{s/cm}$ بود. در مرحله بررسی اثر کلرید پتاسیم بر آن محلول اولیه، دارای شدت فلورسنس ۷۵۶ و هدایت الکتریکی آن $3/37 \mu\text{s/cm}$ بوده است. طبق نتایج به دست آمده (شکل ۴-۳۹) شوری ناشی از هر دو نوع نمک، فلورسنس رودامین B به نحو محسوسی کاهش می‌یابد. بنابراین رودامین B در محیط شور بخشی از فلورسنس خود را از دست می‌دهد. نمودارهای کاهش فلورسنس با افزایش هدایت الکتریکی دارای دو شیب کاملاً متفاوت هستند. دلیل این امر این است که با اضافه شدن کلرید پتاسیم تا قبل از رسیدن هدایت الکتریکی محلول به $100 \mu\text{s/cm}$ نمودار دارای شیب بسیار تندی است و با افزایش شوری به بیشتر از این مقدار روند کاهش در فلورسنس با شدت کمتری ادامه می‌یابد. در مورد نمک سدیم فلورسنس تا رسیدن محلول به هدایت الکتریکی $100 \mu\text{s/cm}$ ثابت است و با افزایش بیشتر شوری، کاهش خفیفی در فلورسنس رخ می‌دهد. و در نهایت اینکه در محلول‌هایی با هدایت الکتریکی بیش از 100ms/cm فلورسنس به شدت کاهش می‌یابد.

۴-۵-۴- اثر شوری بر پرمنگنات پتاسیم

در این آزمایش محلولی به غلظت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر با شدت رنگ اولیه PtCo ۷۴ و هدایت الکتریکی $10/2$ میکروزیمنس بر سانتی‌متر در مرحله اول و شدت رنگ ۸۸ و هدایت الکتریکی $10/45$ در مرحله دوم، تهیه شد. با افزودن نمک سدیم و پتاسیم طی دو مرحله تغییرات شدت رنگ محلول اولیه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش شوری در محیط شدت رنگ پرمنگنات پتاسیم تغییر نخواهد کرد (شکل ۴-۴۰). تنها در محیط‌هایی با شوری بسیار زیاد به علت

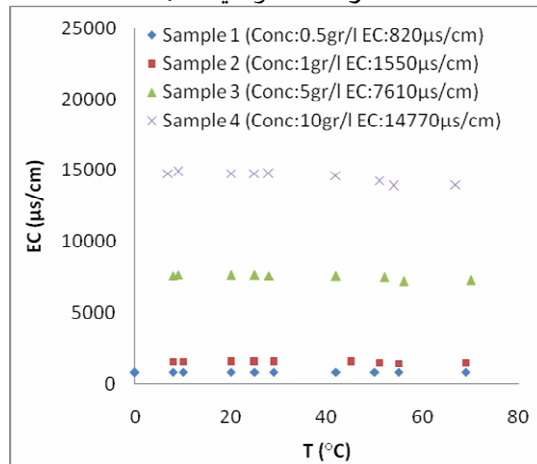
کدر شدن محلول شدت رنگ در نمونه‌ها افزایش خواهد یافت. هم چنین این آزمایش نشان داد که تغییرات شدت رنگ در پرمنگنات پتاسیم بر خلاف ردیاب‌های فلورسنت به نوع نمک موجود در محیط بستگی ندارد.

باید به این نکته توجه داشت که پرمنگنات پتاسیم نیز یک نمک می‌باشد. بنابراین هنگامی که برای سنجش مقدار آن در محیط از هدایت سنج استفاده می‌شود وجود کلرید سدیم یا پتاسیم در محیط منجر به افزایش هدایت الکتریکی و ایجاد خطا در نتایج عملیات ردیابی خواهد شد.

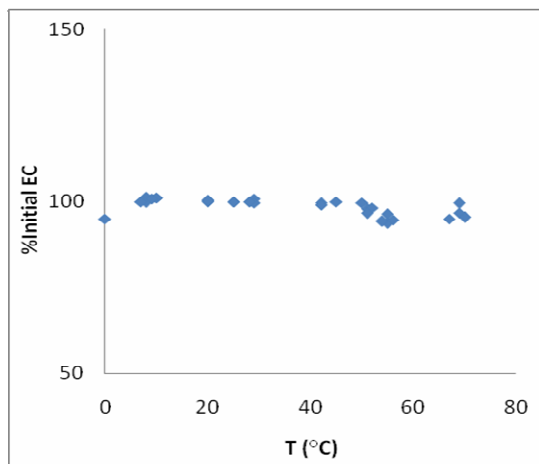


شکل ۴-۳۲- اثر دما بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl

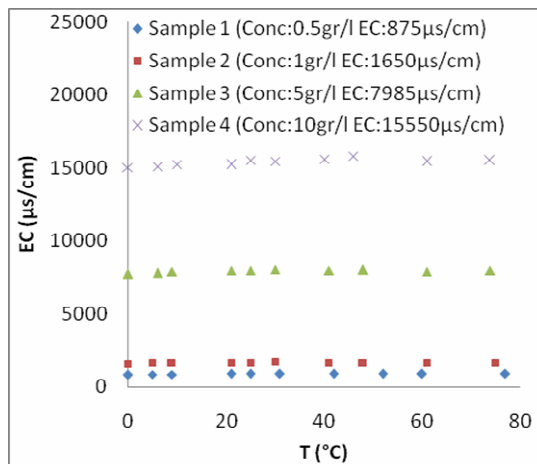
شکل ۴-۳۶- اثر دما بر درصد شدت رنگ اولیه $KMnO_4$



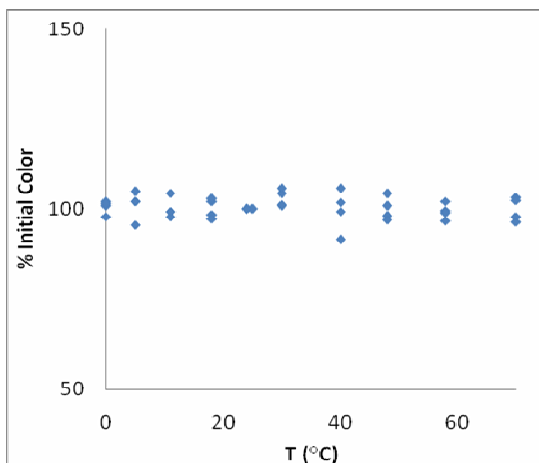
شکل ۴-۳۱- اثر دما بر هدایت الکتریکی NaCl



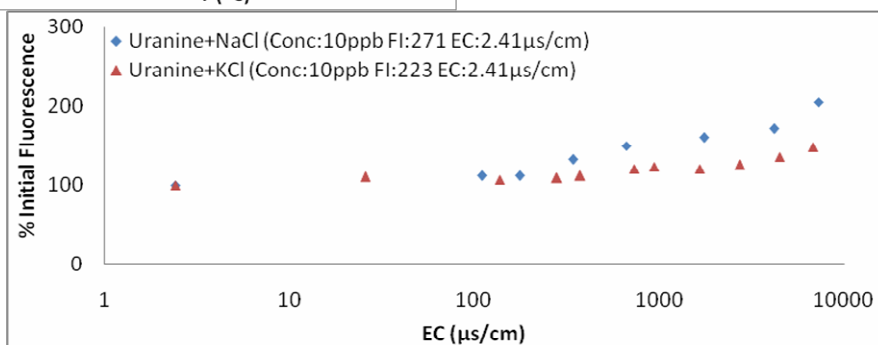
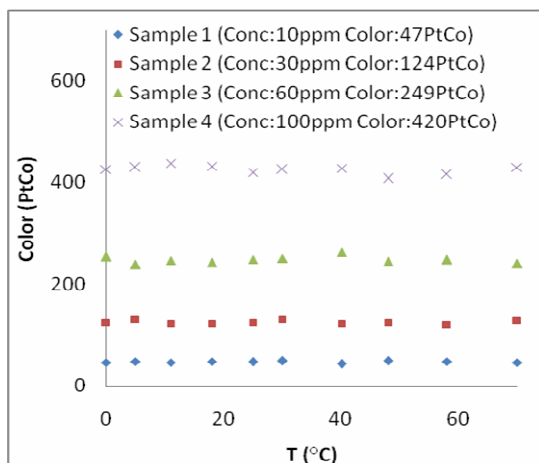
شکل ۴-۳۴- اثر دما بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl



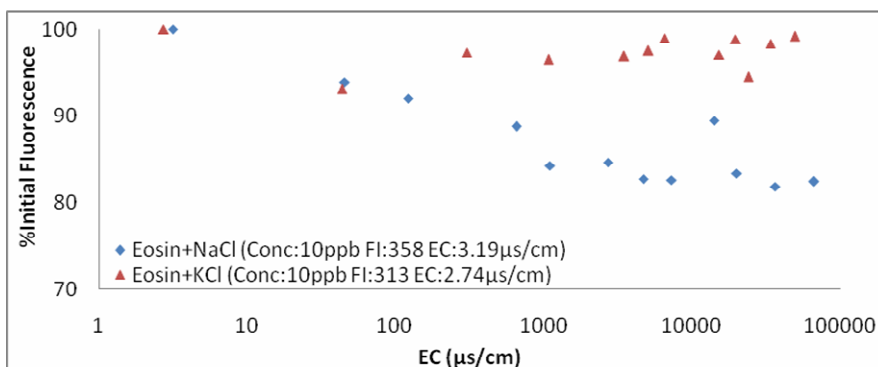
شکل ۴-۳۳- اثر دما بر هدایت الکتریکی KCl



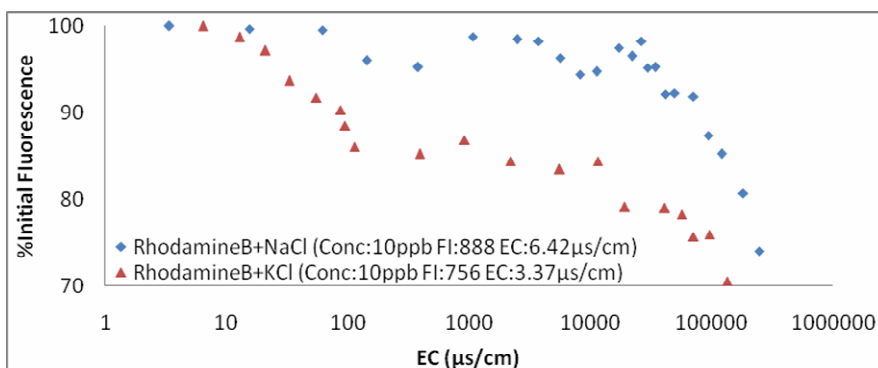
شکل ۴-۳۵ - اثر دما بر شدت رنگ $KMnO_4$



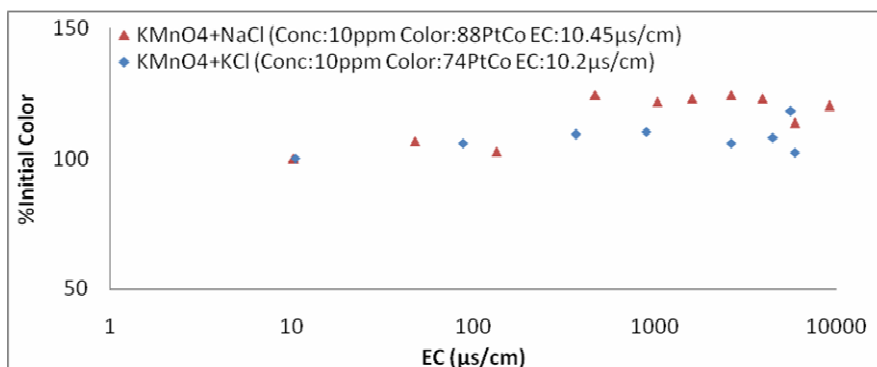
شکل ۴-۳۷ - اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر فلورسنس اورانین



شکل ۴-۳۸ - اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر فلورسنس ائوزین



شکل ۴-۳۹ - اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر فلورسنس رودامین B



شکل ۴-۴- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک بر شدت رنگ $KMnO_4$

۴-۶- جذب در محیط ریزدانه

فرایند جذب ردیاب توسط سطوح رسوبات و یا بدنه آبخوان یکی از فاکتورهای مهمی است که به ویژه در عملیات ردیابی آبخوان‌های آبرفتی نقش عمده‌ای در موفقیت عملیات ردیابی دارد. شیائو و همکاران (Shiau et al. ۱۹۹۳)، کتلسون و میر ویندل (Ketelsen and Meyer-Windel ۱۹۹۹) و مون (Mon ۲۰۰۶)، مسئله جذب را از مهمترین عواملی که استفاده از ردیاب‌ها را محدود می‌سازد معرفی می‌نمایند. فلوری و فلور (Flury and Flühler ۱۹۹۵) نیز جذب را فرایندی برگشت ناپذیر می‌دانند. عوامل متعددی بر میزان جذب ردیاب توسط رسوبات نقش دارند از جمله این عوامل که در مورد ردیاب‌های فلورسنت توسط اسمارت و لیدلا (Smart and Laidlaw ۱۹۷۷) ذکر شده است: pH، دما، درجه آشفته‌گی آب، مقدار رسوبات، نوع رسوبات، غلظت ردیاب و نوع ردیاب می‌باشد. درصد جذب ردیاب توسط رسوبات حاوی مواد آلی بیشتر از رسوبات فاقد مواد آلی است (Aley ۱۹۹۹).

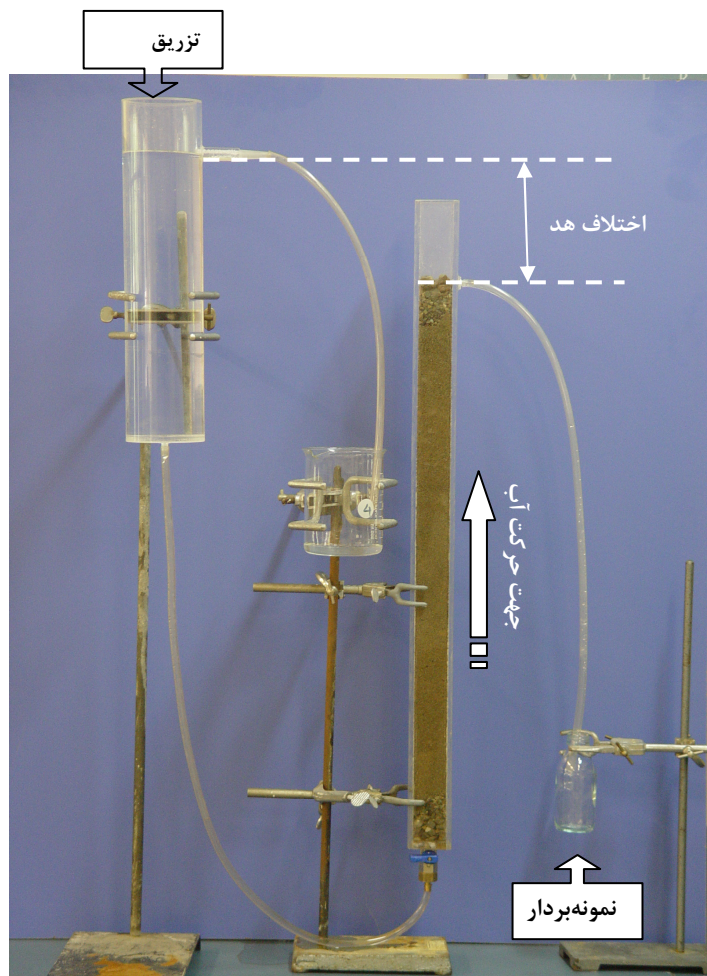
طبق تحقیقات فاریا (Faria et al. ۲۰۰۴) خصوصیات شیمیایی ردیاب، نقش کلیدی در مقاومت یا عدم مقاومت ردیاب در برابر جذب را دارد. همان‌طور که در بخش ۲-۷ اشاره شد عمده‌ترین روش‌های اندازه‌گیری میزان جذب ردیاب‌ها توسط رسوبات، آزمایش مخلوط کردن و آزمایش ستون رسوبی می‌باشند. ایگلر و همکاران (Iglar et al. ۱۹۹۸) و همچنین آتکینسون و بوکویکی (Atkinson and Bukowiecki ۲۰۰۰) برای اندازه‌گیری درصد جذب تکنیک استفاده از ستون را نسبت به آزمایش مخلوط کردن پیشرفته‌تر و مناسب‌تر می‌دانند. از جمله نواقص روش مخلوط کردن که توسط گریفیون

و همکاران (Griffioen et al. ۱۹۹۲) و همچنین برگیسر و همکاران (Bürgisser et al. ۱۹۹۳) بیان شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

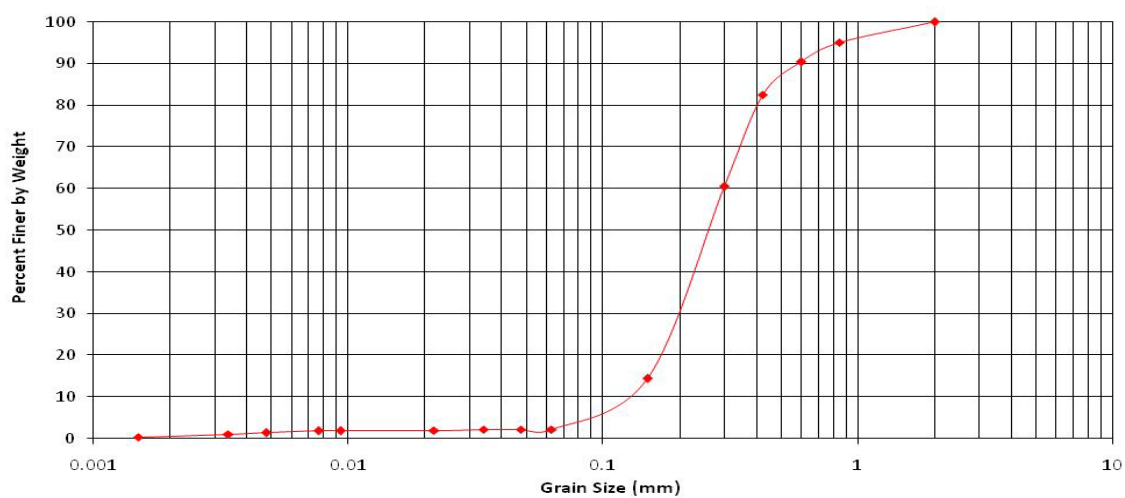
- مواد رسوبی هنگام همزدن به قطعات کوچکتر شکسته می‌شوند.
 - معمولاً نسبت جامد به مایع کمتر از آنچه در طبیعت وجود دارد می‌باشد.
 - برای جدا سازی دو فاز جامد و مایع نیاز به فیلتر کردن و یا سانتریفیوژ نمونه‌ها می‌باشد.
- با توجه به موارد فوق، با وجود سادگی و سرعت بالا در اندازه‌گیری درصد جذب با این روش، به طور کلی استفاده از ستون رسوبی روش مناسب‌تری برای تعیین خصوصیات جذبی ردیاب می‌باشد زیرا سیستم حرکت آب در آن به حرکت آب در طبیعت شباهت بیشتری دارد. در این روش با عبور محلول حاوی ردیاب مورد نظر با غلظت مشخص از ستون رسوبی با دانه بندی متفاوت (محتوی درصد مشخصی رس)، درصد ردیاب جذب شده به دست خواهد آمد.
- در شکل ۴-۴۱ مدل ساخته شده به منظور اندازه‌گیری درصد جذب رسوبات نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است به دلیل وجود اختلاف هد هیدرولیکی، جهت حرکت آب در ستون محتوی رسوبات از پایین به بالا می‌باشد. آب موجود در مخزن پس از عبور از میان رسوبات داخل ظروف نمونه برداری جمع آوری و اندازه‌گیری می‌شود.
- به منظور جلوگیری از حرکت رسوبات، در بالا و پایین مدل از فیلتر شنی که شامل رسوبات گرد شده بودند استفاده گردید. این رسوبات مانع از جابجایی ذرات دانه ریز رسوب به داخل لوله‌های انتقال دهنده می‌شدند. از مزایای استفاده از گراول پک، عدم نیاز به استفاده از کاغذ صافی و یا فیلترهای استیل و غیر طبیعی که بعضاً تأثیر نامطلوبی بر خواص ردیاب‌ها در چنین سیستمی دارند می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری درصد جذب ردیاب، ابتدا باید دانه بندی مناسب برای انجام این آزمایش انتخاب می‌شد. این دانه بندی باید دارای نفوذپذیری مناسب برای عبور جریان می‌بود. به همین دلیل پس از آزمایش‌های مختلف و اندازه‌گیری نفوذپذیری رسوبات، سه دانه بندی با درصدهای متفاوت از رس

انتخاب گردید که در شکل‌های ۴-۴۲، ۴-۴۳ و ۴-۴۴ ارائه شده است. تفاوت عمده این رسوبات در مقدار رس آن‌ها بود. سعی بر این بود که دانه بندی آن‌ها شبیه یکدیگر باشد تا بتوان بر اساس نقش مقدار رس در میزان جذب، ردیاب‌ها را مورد ارزیابی قرار داد. این رسوبات که تیپ A، B و C نامیده شده‌اند به ترتیب حاوی ۰/۵، ۲/۵ و ۵ درصد رس می‌باشند.

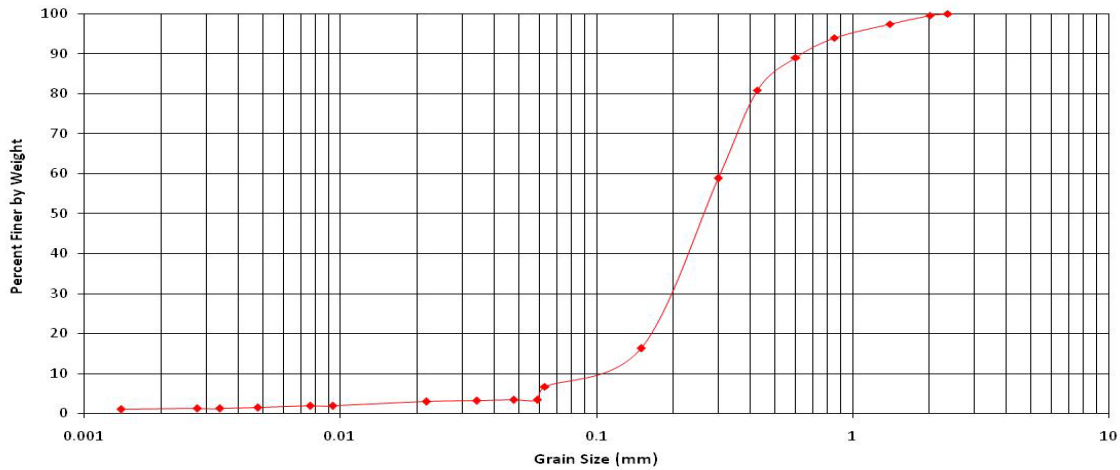
ستون مورد نظر با استفاده از رسوبات تهیه شده پر شد و پس از اشباع شدن و نمونه برداری از غلظت زمینه، مقدار مشخصی از ردیاب مورد نظر داخل مخزن تزریق و پس از عبور از ستون رسوبی با فواصل زمانی مشخص نمونه برداری شد. در نهایت با مشخص بودن مقدار ردیاب دریافت شده، درصد جذب ردیاب اندازه‌گیری شد. در این آنالیزها به منظور بررسی اثر غلظت اولیه ردیاب و هم چنین مقدار رسوب، میزان جذب ردیاب‌های مورد بررسی با غلظت‌های اولیه متفاوت و نیز درصدهای مختلفی از رس برای هر ردیاب تکرار شد. لذا برای هر ردیاب ۹ آزمایش به منظور به دست آوردن درصد جذب انجام گردید. قبل از انجام تست‌های اصلی، آزمایش‌های اولیه‌ای به منظور تخمین میزان جذب ردیاب‌ها صورت گرفت.



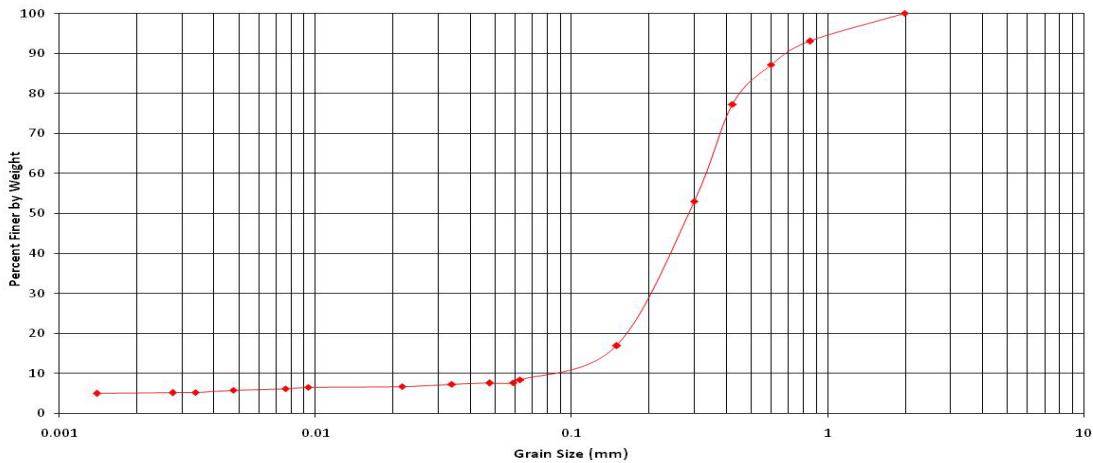
شکل ۴-۴۱- مدل ستون رسوبی به منظور اندازه‌گیری مقاومت رديابها در برابر جذب



شکل ۴-۴۲- دانه بندی مربوط به رسوبات تيپ A، محتوي حدود ۰/۵ درصد رس



شکل ۴-۴۳- دانه بندی مربوط به رسوبات تیپ B، محتوی حدود ۲/۵ درصد رس



شکل ۴-۴۴- دانه بندی مربوط به رسوبات تیپ C، محتوی حدود ۵ درصد رس

۴-۶-۱- اندازه گیری میزان جذب اورانین

برای محاسبه درصد جذب اورانین، پس از آماده سازی و پر کردن مدل‌ها توسط رسوبات دارای دانه بندی متفاوت و اشباع نمودن آن‌ها، نمونه برداری به منظور به دست آوردن فلورسنس زمینه صورت گرفت. سپس ۱ لیتر اورانین با غلظت اولیه حدود ۱ میکروگرم بر لیتر در مخزن مدل تزریق و نمونه برداری ادامه یافت تا تقریباً تمام ردیاب تزریقی خارج شد. در نهایت تغییر غلظت نمونه‌های عبوری از ستون رسوبی با زمان به صورت یک نمودار رسم شد. با توجه به مشخص بودن حجم و غلظت هر نمونه و هم چنین مقدار ردیاب تزریق شده، سطح زیر نمودار به دست آمده نشان دهنده

غلظت کل ردیاب در نمونه‌های خارج شده از مدل می‌باشد. با مقایسه این مقدار با مقدار ردیاب تزریقی، میزان اورانین جذب شده توسط رسوبات به دست آمد. این آزمایش برای اورانین با غلظت‌های اولیه ۱۴ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر تکرار شد. شکل‌های ۴-۴۵، ۴-۴۶ و ۴-۴۷ غلظت نمونه‌های عبور کرده از ستون را با غلظت‌های اولیه متفاوت تزریقی به ترتیب در سه نوع دانه بندی تیپ A، B و C و نمودار شکل ۴-۶۳ تغییرات درصد جذب اورانین با افزایش درصد رس و غلظت اولیه ردیاب را نشان می‌دهند. طبق این نمودارها با افزایش درصد رس در رسوبات ضریب انتقال کاهش یافته و مدت زمان بیشتری برای خروج ردیاب و بازگشت به غلظت زمینه طول خواهد کشید.

با مقایسه شکل‌های ۴-۴۵، ۴-۴۶ و ۴-۴۷ مشخص شد که با افزایش رس در رسوبات، ردیاب با تاخیر بیشتری ظاهر شده و هم چنین قله نمودارها نیز پایین‌تر آمده است. طبق شکل ۴-۶۳ درصد جذب اورانین در دانه بندی تیپ A کمتر از تیپ B، و درصد جذب تیپ B نیز کمتر است از تیپ C می‌باشد. به علاوه درصد جذب وابسته به غلظت اولیه ردیاب بوده و با آن رابطه عکس دارد. طبق این نمودار حداکثر اورانین جذب شده در این آنالیزها حدود ۲۲ درصد است.

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت اورانین تا حد قابل قبولی در برابر جذب توسط محیط مقاوم بوده و تنها بخشی از آن توسط رسوبات جذب می‌شود.

۴-۶-۲- اندازه‌گیری میزان جذب ائوزین

به منظور برآورد میزان مقاومت ائوزین در برابر جذب توسط رسوبات، پس از آماده و اشباع سازی مدل‌ها و نمونه برداری از فلورسنس زمینه، محلول‌هایی با غلظت ۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر و به حجم یک لیتر در مخزن هر کدام از مدل‌ها تزریق و نمونه برداری از نمونه‌های خروجی صورت گرفت. این آزمایش در سه نوع رسوب مورد بررسی (رسوبات تیپ A، B و C) تکرار شد (شکل‌های ۴-۴۸، ۴-۴۹ و ۴-۵۰). نمودار شکل ۴-۶۴ تغییرات درصد جذب ائوزین با افزایش درصد رس و غلظت اولیه ردیاب را نشان می‌دهد.

طبق نتایج به دست آمده از نمودارهای ۴-۴۸ تا ۴-۵۰ درصد جذب ائوزین بسیار ناچیز بوده و در اکثر آزمایش‌ها نمونه‌هایی که فلورسنس آن‌ها برابر با فلورسنس تزریق شده بود دریافت شد. طبق نمودار ۴-۶۴ درصد جذب ائوزین نیز همانند اورانین به مقدار رس و درصد اولیه ردیاب بستگی دارد.

۴-۶-۳- اندازه‌گیری میزان جذب رودامین B

برای اندازه‌گیری رودامین B نیز، پس از آماده سازی مدل‌ها و نمونه برداری از مقدار فلورسنس زمینه، محلول رودامین B با غلظت ۱، ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر تهیه و داخل مخزن تزریق گردیده و پس از عبور آن از ستون رسوبی با سه نوع رسوب تیپ A، B و C نمونه برداری انجام شد. به دلیل بالا بودن درصد جذب رودامین B، حجم محلول تزریق شده در این آزمایش‌ها ۲ لیتر بود (شکل‌های ۴-۵۱، ۴-۵۲ و ۴-۵۳). طبق این نمودارها، رودامین B به شدت جذب رسوبات شده و در مقایسه با اورانین و ائوزین مقاومت بسیار کمی در برابر جذب دارد. شیب زیاد منحنی‌های شکل ۴-۶۵ نشان دهنده نقش اساسی مقدار رس بر درصد جذب رودامین B است. با توجه به این نتایج رودامین B مقاومت بسیار کمی در برابر جذب توسط محیط داشته و به سرعت توسط رسوبات جذب می‌شود. به علاوه طبق مشاهدات صورت گرفته رودامین B به شدت توسط ظروف آزمایشگاهی نیز جذب می‌شود.

۴-۶-۴- اندازه‌گیری میزان جذب کلرید سدیم و پتاسیم

برای برآورد درصد جذب کلرید سدیم و پتاسیم توسط رسوبات، پس از آماده سازی ستون‌های حاوی رسوبات و اشباع آن‌ها، هدایت الکتریکی زمینه اندازه‌گیری شد. سپس از هر نمک سه محلول با غلظت‌های اولیه ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه و ۲ لیتر از آن در مخزن مدل تزریق و بعد از عبور محلول، از ستون رسوبی نمونه برداری صورت گرفت و هدایت الکتریکی هر کدام از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

شکل‌های ۵۴-۴، ۵۵-۴ و ۵۶-۴ نمودار جذب کلرید سدیم و شکل‌های ۵۷-۴، ۵۸-۴ و ۵۹-۴ نمودار جذب کلرید پتاسیم را نشان می‌دهد. شکل‌های ۶۶-۴ و ۶۷-۴ نیز تغییرات درصد جذب کلرید سدیم و پتاسیم را با افزایش درصد رس و غلظت اولیه ردیاب نشان می‌دهد. طبق نتایج به دست آمده منحنی ظهور این ردیاب‌ها با ردیاب‌های فلورسنت تفاوت عمده داشته و قله منحنی‌ها بسیار پهن‌تر است. نمک‌ها نیز توسط رسوبات جذب شده و در محیط باقی می‌مانند.

به طور کلی کلرید پتاسیم بیشتر از کلرید سدیم جذب می‌شود. افزایش درصد جذب با کاهش غلظت اولیه ردیاب در مورد نمک‌های سدیم و پتاسیم نیز صادق است اما به شدت ردیاب‌های فلورسنت نبوده و کمتر به آن وابسته است. درصد جذب این مواد نیز با درصد رس محیط رابطه مستقیم دارد.

۴-۶-۵- اندازه‌گیری میزان جذب پرمنگنات پتاسیم

در این آزمایش به منظور اندازه‌گیری درصد جذب پرمنگنات پتاسیم توسط رسوبات و مقایسه آن با مقاومت سایر ردیاب‌ها در برابر جذب، تغییرات شدت رنگ محلول پرمنگنات پس از عبور از ستون رسوبی مورد بررسی قرار گرفت. غلظت محلول‌های اولیه ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده و در هر مرحله، دو لیتر از آن‌ها در مخزن مدل ستون رسوبی تزریق شد.

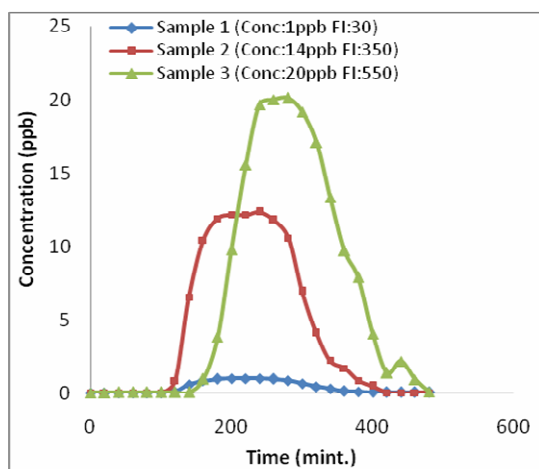
نتایج این آنالیزها به صورت نمودارهای تغییرات شدت رنگ با زمان به دست آمد که نسبت به سایر ردیاب‌ها دارای نوسانات بیشتری بود و پس از رسیدن به غلظت حداکثر، مقدار آن به تدریج کاهش می‌یافت (شکل‌های ۶۰-۴، ۶۱-۴ و ۶۲-۴). نتایج بیانگر درصد جذب بالای پرمنگنات پتاسیم توسط محیط است. نمونه‌های دریافت شده پس از عبور از ستون رسوبی فاقد هرگونه رنگ قابل تشخیص توسط چشم بودند. نمودار شکل ۶۸-۴ تغییرات درصد جذب پرمنگنات پتاسیم را با افزایش درصد رس و غلظت اولیه ردیاب نشان می‌دهد. طبق این نمودار درصد جذب پرمنگنات پتاسیم کمتر از سایر

ردیاب‌ها به غلظت اولیه محلول وابسته است. با افزایش درصد رس در محیط این ردیاب نیز مانند سایر ردیاب‌های مورد بررسی، بیشتر توسط محیط جذب می‌شود.

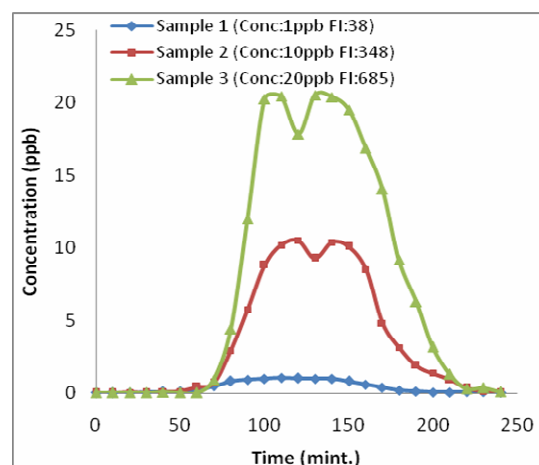
با مقایسه درصد جذب ردیاب‌ها طبق نمودارهای ۴-۶۳ تا ۴-۶۸ مقاومت ردیاب‌ها در برابر جذب به شدت تحت تاثیر مقدار رس موجود در محیط قرار می‌گیرد. در بیشتر ردیاب‌های مورد بررسی درصد جذب با غلظت اولیه ردیاب رابطه عکس و با درصد رس رابطه مستقیم دارد.

نتایج اندازه‌گیری درصد جذب ردیاب‌ها در جدول ۴-۴ ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشخص است درصد جذب در ردیاب‌ها با یکدیگر کاملاً متفاوت است. این تفاوت در نمودار شکل ۴-۶۹ به خوبی قابل تشخیص می‌باشد. طبق این نمودار رودامین B و پرمنگنات پتاسیم کمترین مقاومت را در برابر جذب دارا می‌باشند و در درصد قابل توجهی از آن‌ها توسط محیط جذب خواهد شد. بر خلاف این دو ردیاب کلرید سدیم و پتاسیم دارای مقاومت بیشتری در برابر جذب بوده و بخشی از آن‌ها جذب رسوبات خواهد شد.

اورانین نیز از ردیاب‌های مقاوم در برابر جذب بوده و درصد کمی از آن توسط محیط جذب خواهد شد. ائوزین نیز از بین ردیاب‌های مورد بررسی دارای بیشترین مقاومت در برابر جذب بوده و نسبت به سایر ردیاب‌ها درصد ناچیزی از آن‌ها در محیط باقی می‌ماند.

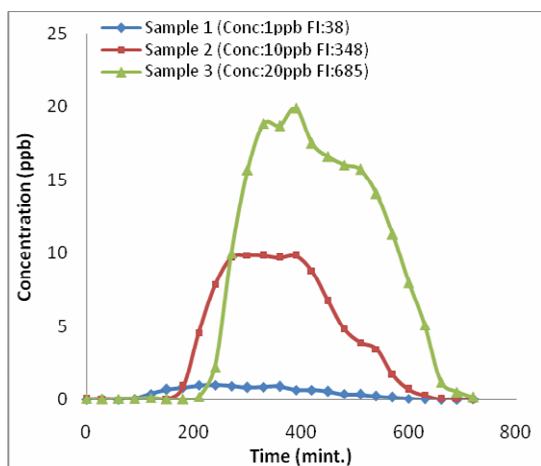


شکل ۴-۶۶- نمودار غلظت اورانین عبوری از رسوب B



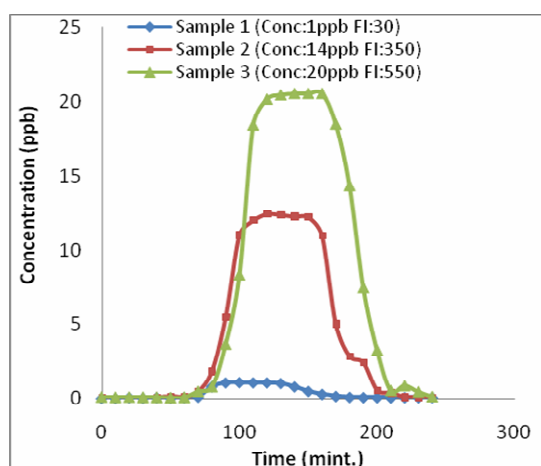
شکل ۴-۴۸- نمودار غلظت ائوزین

عبوري از رسوب A



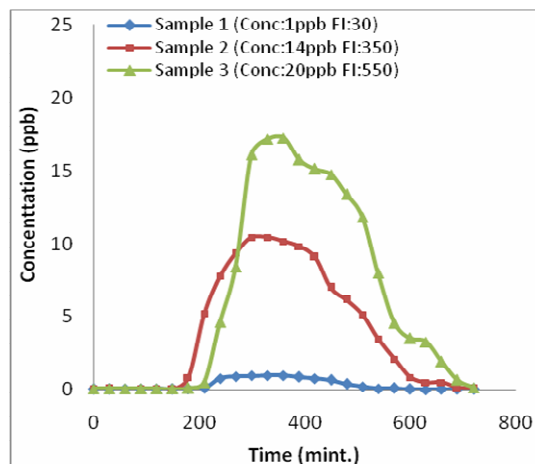
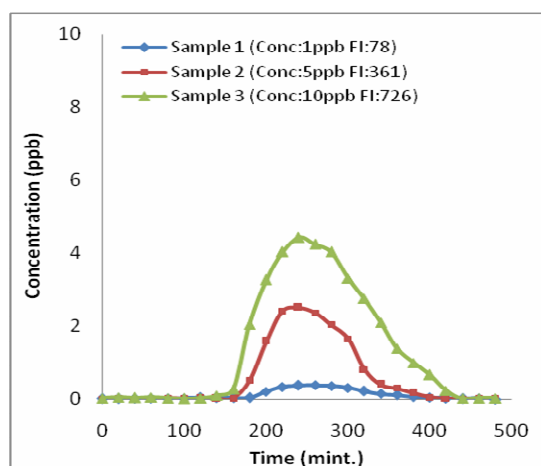
شکل ۴-۵۰- نمودار غلظت ائوزین

عبوري از رسوب C



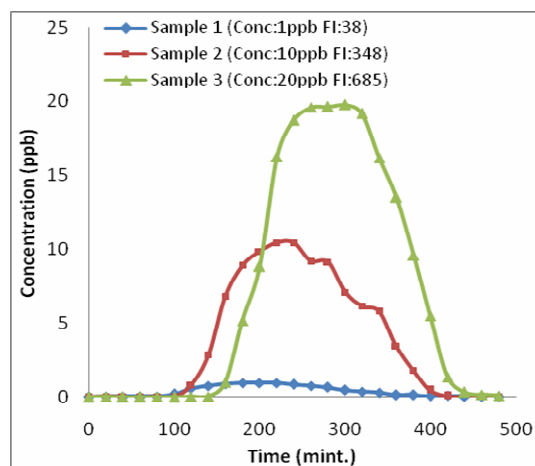
شکل ۴-۴۵- نمودار غلظت اورانين

عبوري از رسوب A



شکل ۴-۴۷- نمودار غلظت اورانين

عبوري از رسوب C



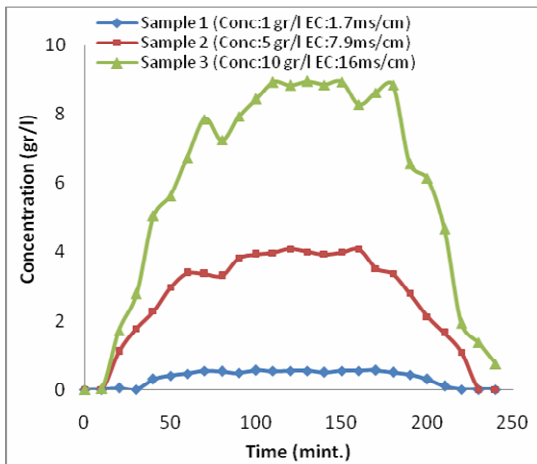
شکل ۴-۴۹- نمودار غلظت ائوزین

عبوري از رسوب B

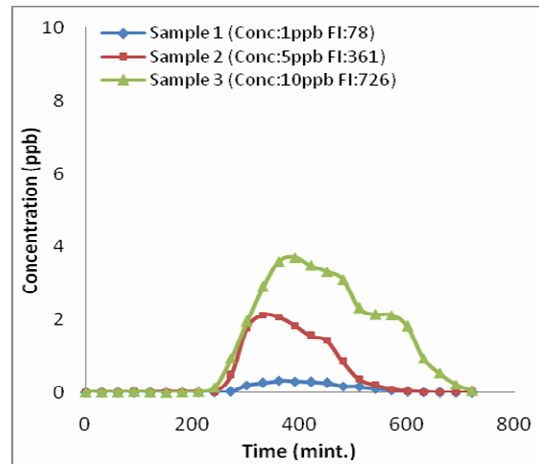
شکل ۴-۵۲- نمودار غلظت رودامين B

عبوري از رسوب B

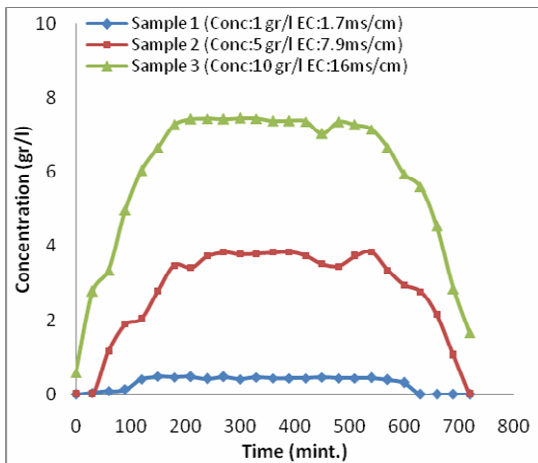
شکل ۴-۵۱- نمودار غلظت رودامین B
عبوری از رسوب A



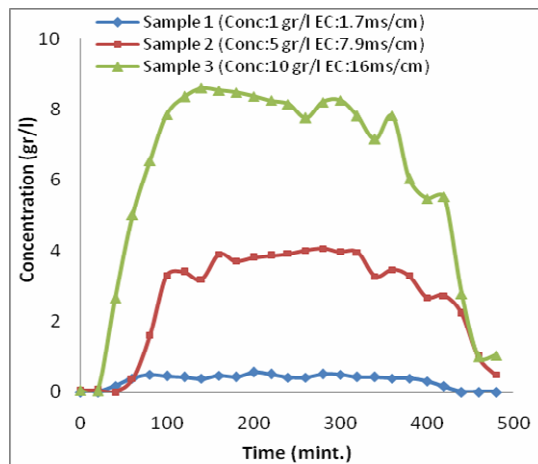
شکل ۴-۵۴- نمودار غلظت NaCl
عبوری از رسوب A



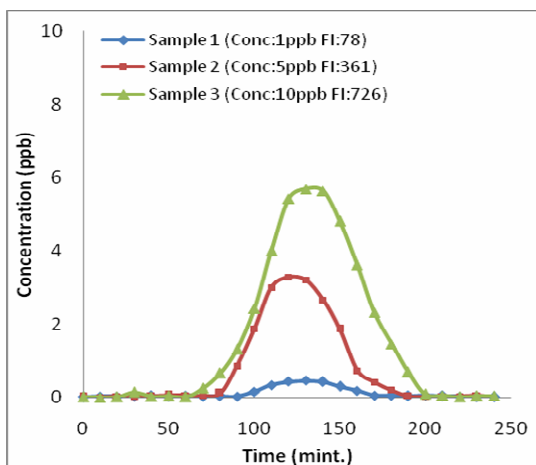
شکل ۴-۵۳- نمودار غلظت رودامین B
عبوری از رسوب C

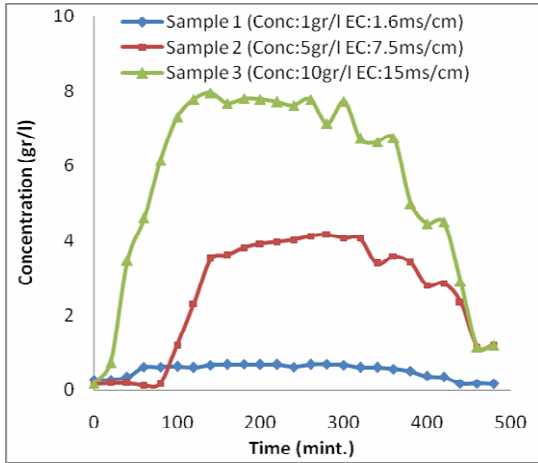


شکل ۴-۵۶- نمودار غلظت NaCl
عبوری از رسوب C

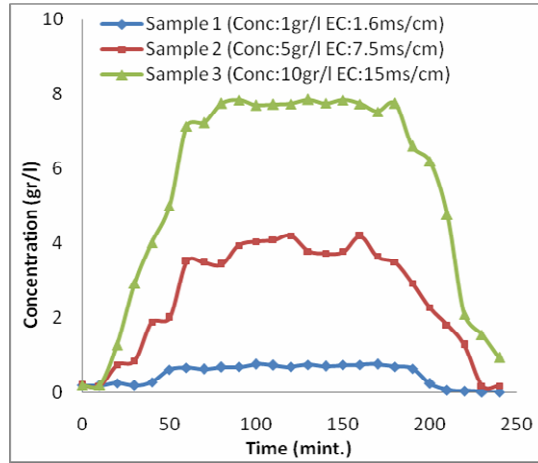


شکل ۴-۵۵- نمودار غلظت NaCl
عبوری از رسوب B

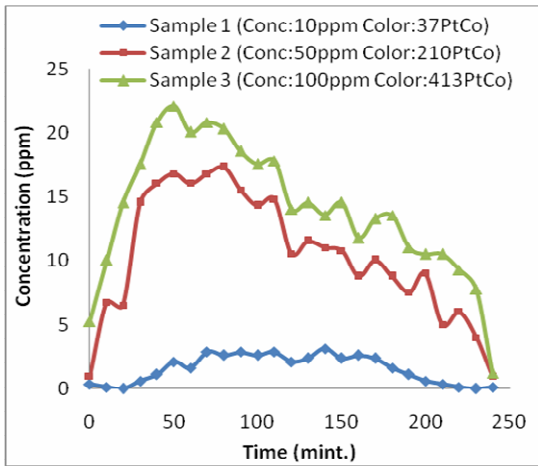




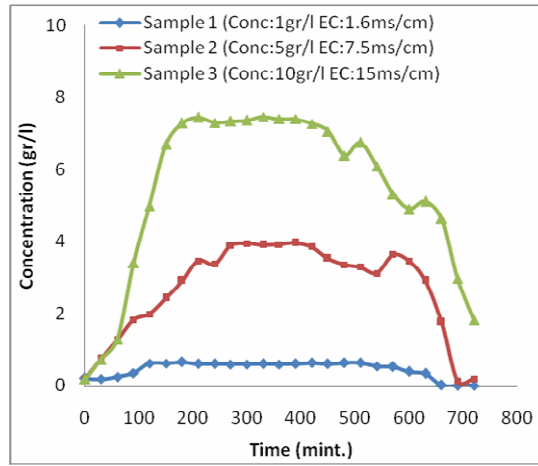
شکل ۴-۵۸- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب B



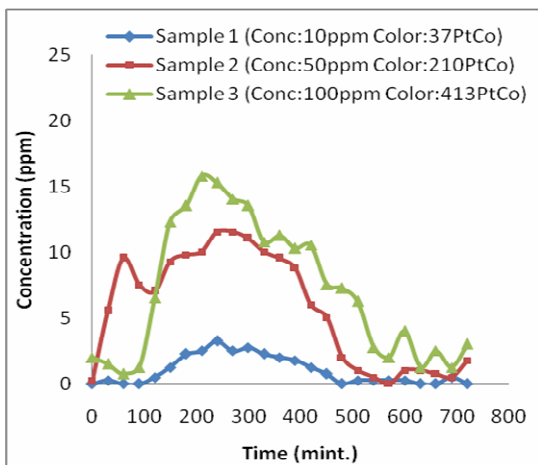
شکل ۴-۵۷- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب A



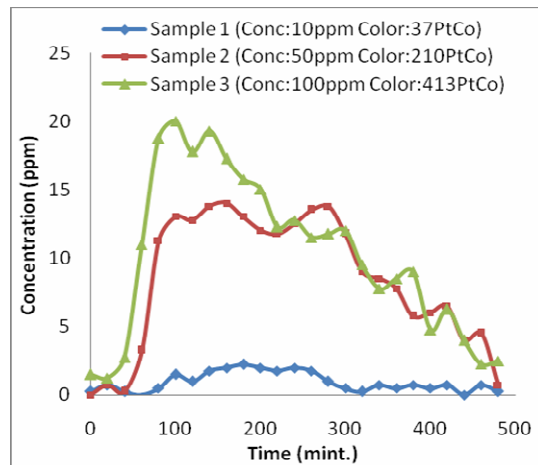
شکل ۴-۶۰- نمودار غلظت KMnO₄ عبوری از رسوب A



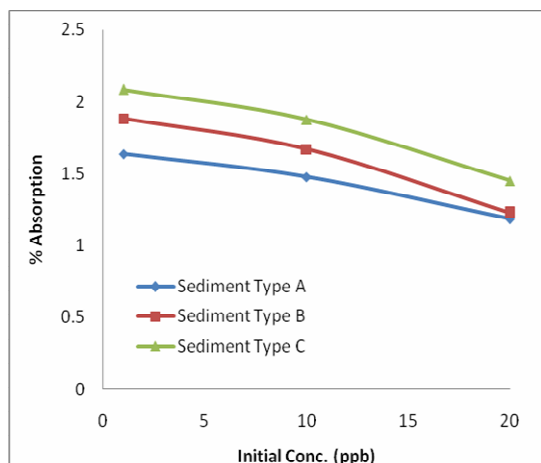
شکل ۴-۵۹- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب B



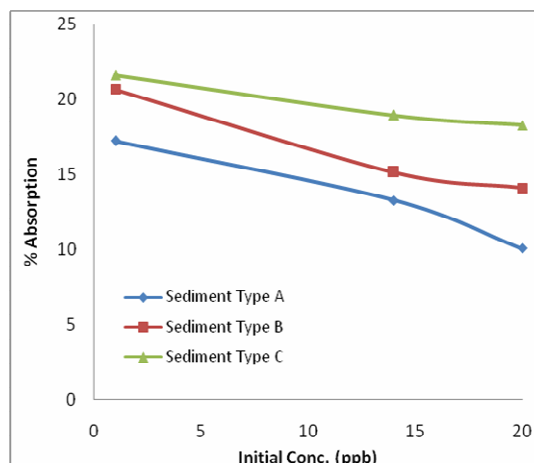
شکل ۴-۶۲- نمودار غلظت KMnO₄ عبوری از رسوب C



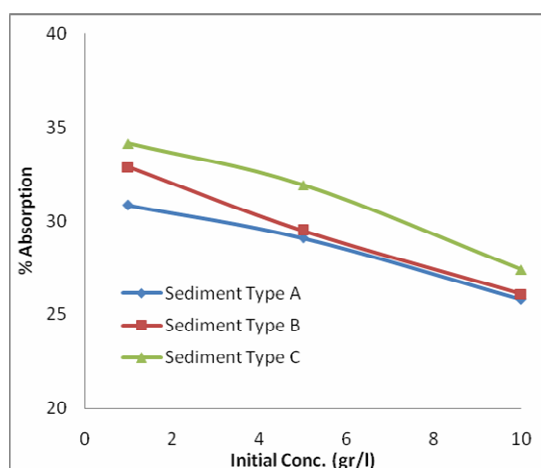
شکل ۴-۶۱- نمودار غلظت KMnO₄ عبوری از رسوب B



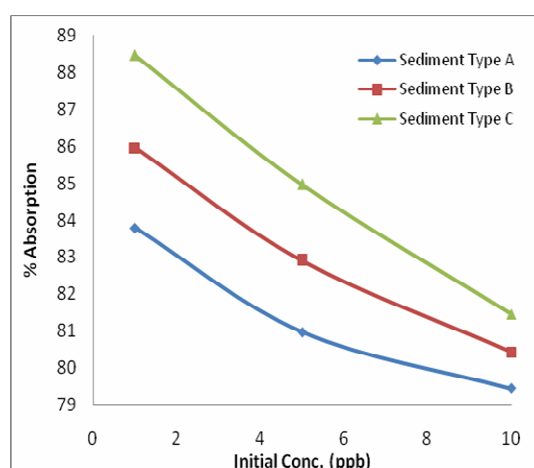
شکل ۴-۶۴- تغییرات درصد جذب انوزین با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی



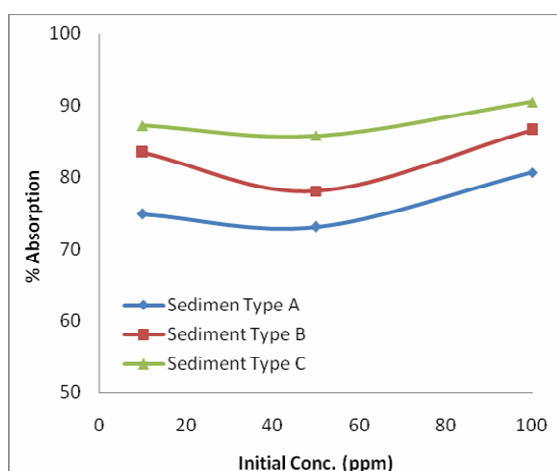
شکل ۴-۶۳- تغییرات درصد جذب اورانین با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی



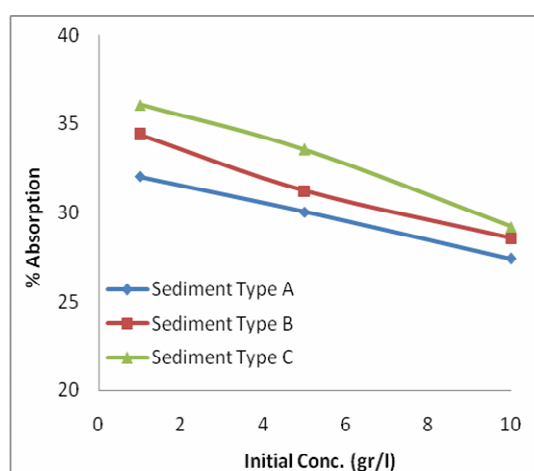
شکل ۴-۶۶- تغییرات درصد جذب NaCl با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی



شکل ۴-۶۵- تغییرات درصد جذب رودامین B با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی



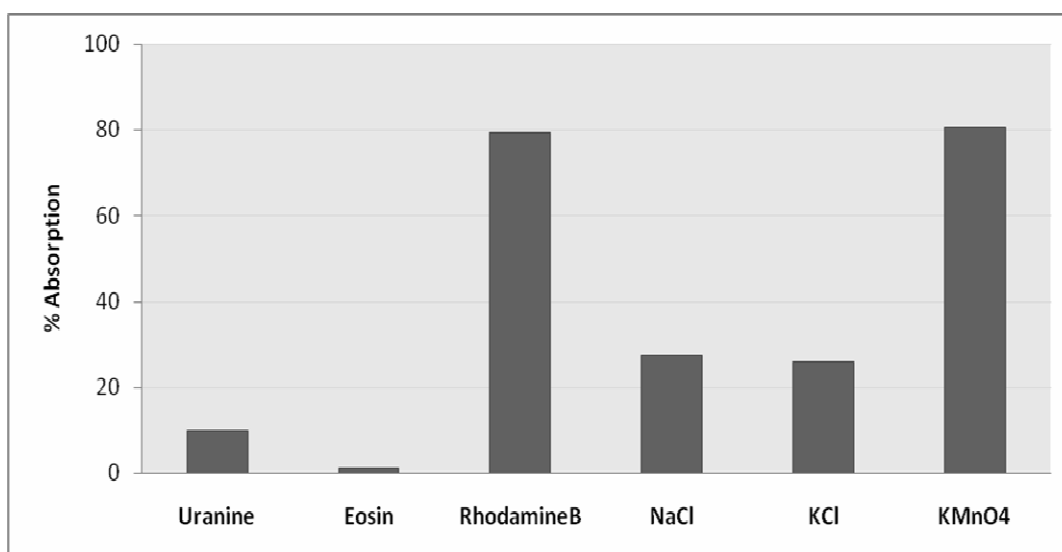
شکل ۴-۶۸- تغییرات درصد جذب KMnO_۴ با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی



شکل ۴-۶۷- تغییرات درصد جذب KCl با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی

جدول ۴-۴- درصد جذب ردیابها با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی به روش ستون رسوبی

نام ردیاب	غلظت محلول اولیه	درصد جذب		
		دانه بندی تیپ A	دانه بندی تیپ B	دانه بندی تیپ C
اورانین	۱ ppb	۱۷/۲	۲۰/۶	۲۱/۶
	۱۰ "	۱۳/۲	۱۵/۱	۱۸/۹
	۲۰ "	۱۰/۰	۱۴/۰	۱۸/۲
آنوزین	۱ "	۱/۶	۱/۸	۲/۰
	۱۰ "	۱/۴	۱/۶	۱/۸
	۲۰ "	۱/۱	۱/۲	۱/۴
رودامین B	۱ "	۸۳/۷	۸۵/۹	۸۸/۴
	۵ "	۸۰/۹	۸۲/۹	۸۴/۹
	۱۰ "	۷۹/۴	۸۰/۴	۸۱/۴
کلرید سدیم	۱ gr/l	۳۲/۰	۳۴/۳	۳۶/۰
	۵ "	۳۰/۰	۳۱/۲	۳۳/۵
	۱۰ "	۲۷/۳	۲۸/۵	۲۹/۱
کلرید پتاسیم	۱ "	۳۰/۸	۳۲/۸	۳۴/۱
	۵ "	۲۹/۰	۲۹/۴	۳۱/۹
	۱۰ "	۲۵/۸	۲۶/۰	۲۷/۳
پرمنگنات پتاسیم	۱۰ mg/l	۷۴/۸	۸۳/۴	۸۷/۱
	۵۰ "	۷۳/۰	۸۷/۰	۸۵/۷
	۱۰۰ "	۸۰/۶	۸۶/۵	۹۰/۴



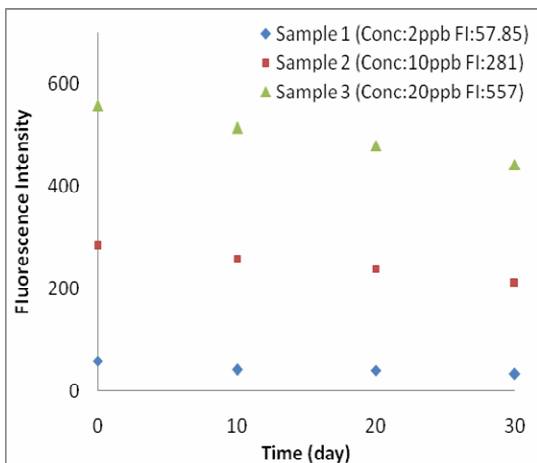
شکل ۴-۶۹- مقایسه حداقل درصد جذب ردیابها

۴-۷- اثر زمان

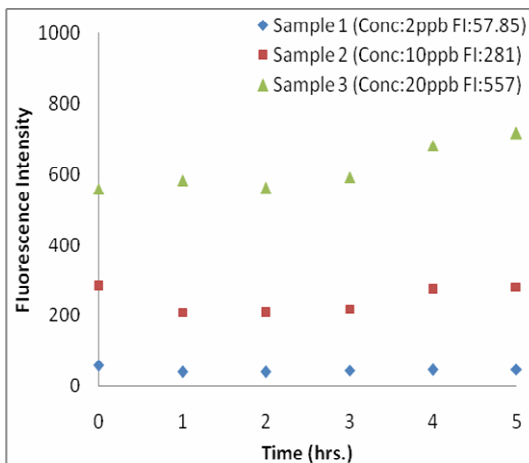
به طور کلی انجام عملیات ردیابی در یک منطقه در یک دوره زمانی مشخص صورت می‌گیرد. در طراحی عملیات ردیابی، طول دوره نمونه برداری در هر ایستگاه به فاکتورهای مختلفی از جمله فاصله نقاط تزریق و نمونه برداری، دبی چشمه، نوع آبخوان و بویژه هدف از مطالعه وابسته است. علاوه بر مدت زمان انجام عملیات ردیابی، فاکتور زمان در ارسال نمونه‌ها و مدت زمانی که طول می‌کشد تا نمونه‌ها به مرحله سنجش برسند نیز مهم است.

بررسی اثر زمان بر ردیاب‌ها طی دو مرحله و در دو دوره زمانی کوتاه مدت (۵ ساعت) به منظور ارزیابی تغییرات احتمالی در طول مدت آنالیزها در آزمایشگاه و تقدم و تأخر در اندازه‌گیری غلظت ردیاب‌ها، و دوره بلند مدت (۳۰ روز) به منظور بررسی اثر گذشت مدت زمان بیشتر بر ردیاب‌ها صورت گرفت. در این آزمایش از هر ردیاب با استفاده از آب مقطر دو سری نمونه با غلظت‌های متفاوت تهیه شد. این نمونه‌ها در شرایط دمای استاندارد در تاریکی نگهداری شدند. در مرحله بعد، تنها با تأثیر فاکتور زمان نمونه‌ها در دو دوره زمانی کوتاه مدت و بلند مدت مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج این بررسی‌ها در شکل ۴-۷۰ تا ۴-۸۱ ارائه شده است.

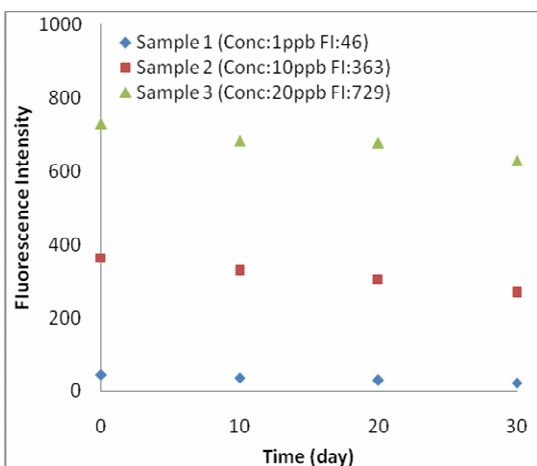
نتایج این آزمایش بیانگر چگونگی تأثیر زمان بر ویژگی ردیاب‌های فلورسنت بود. با گذشت یک ماه فلورسنس در کلیه نمونه‌های مربوط به اورانین، ائوزین و رودامین B کاهش یافت. در حالی که گذشت مدت طولانی تغییری در هدایت الکتریکی ردیاب‌های نمکی و نیز پرمنگنات پتاسیم به وجود نمی‌آورد. کاهش فلورسنس رودامین B بیش از اورانین و ائوزین بود. بنابراین رودامین B بیش از سایر ردیاب‌ها تحت تأثیر گذشت زمان قرار گرفته و فلورسنس خود را تا حدودی از دست می‌دهد. نتایج همچنین نشان داد گذشت مدت زمان کوتاه در حدود چند ساعت منجر به تغییری در ویژگی‌های مواد ردیاب نخواهد شد. توجه به این نکته در انجام سایر آزمایش‌ها در این تحقیق و نیز در عملیات‌های ردیابی که رودامین B به عنوان ردیاب اصلی بکار گرفته می‌شود بسیار ضروری است.



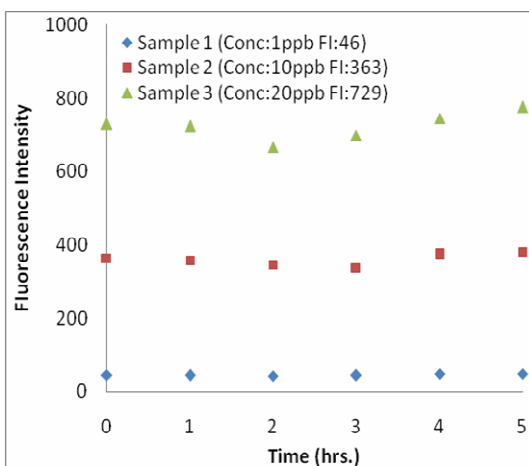
شکل ۴-۷۱- تغییرات فلورسنس اورانین در طولانی مدت



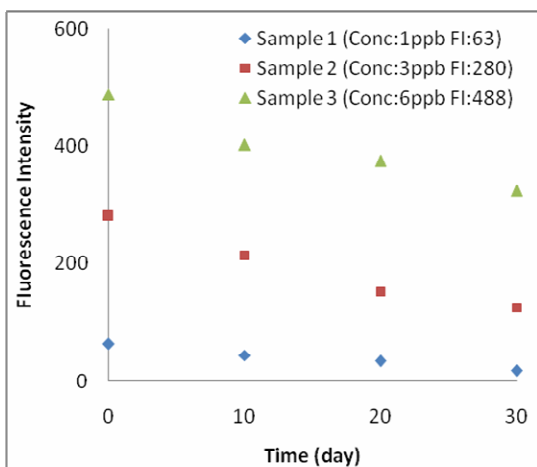
شکل ۴-۷۰- تغییرات فلورسنس اورانین در کوتاه مدت



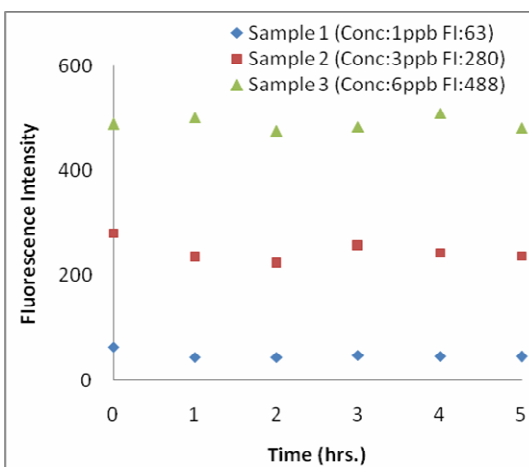
شکل ۴-۷۳- تغییرات فلورسنس ائوزین در طولانی مدت



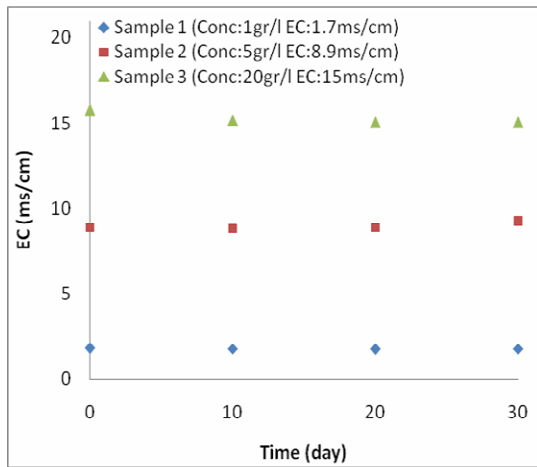
شکل ۴-۷۲- تغییرات فلورسنس ائوزین در کوتاه مدت



شکل ۴-۷۵- تغییرات فلورسنس رودامین B در مدت

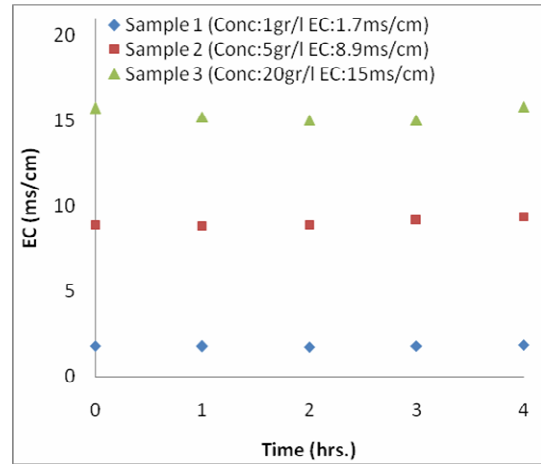


شکل ۴-۷۴- تغییرات فلورسنس رودامین B در کوتاه مدت

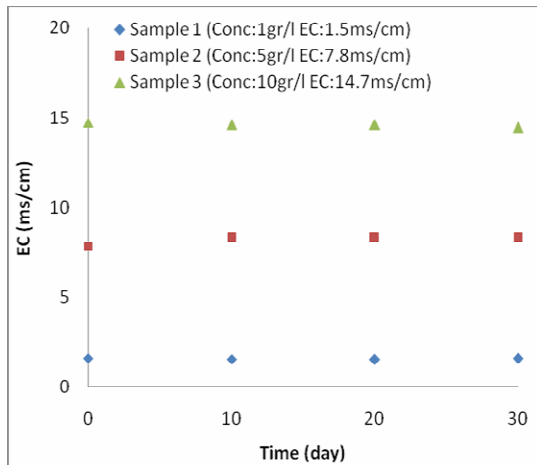


شکل ۴-۷۷- هدایت الکتریکی NaCl در طولانی مدت

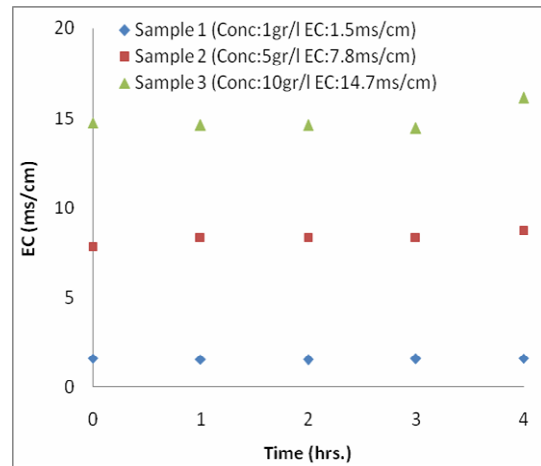
شکل ۴-۸۱- شدت رنگ محلول $KMnO_4$ در طولانی مدت



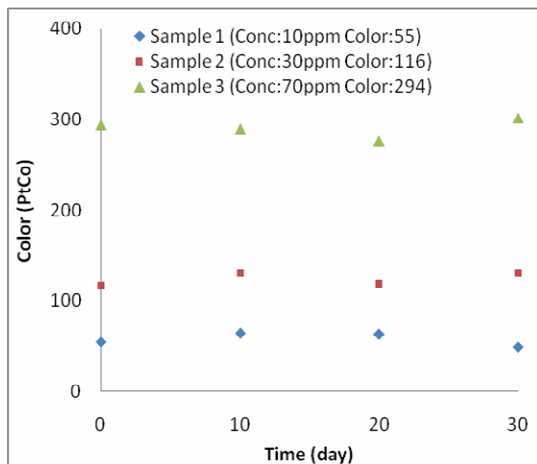
شکل ۴-۷۶- هدایت الکتریکی NaCl در کوتاه مدت

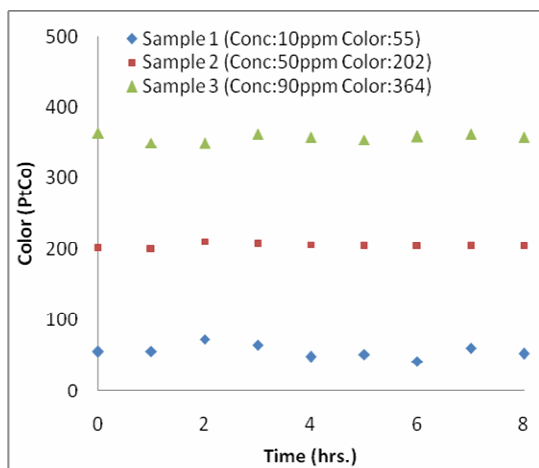


شکل ۴-۷۹- هدایت الکتریکی KCl در طولانی مدت



شکل ۴-۷۸- هدایت الکتریکی KCl در کوتاه مدت





شکل ۴-۸۰- شدت رنگ محلول $KMnO_4$ در کوتاه مدت

فصل پنجم

ارزیابی ویژگی‌های برخی از ردیاب‌ها در برابر
عوامل مصنوعی مختلف

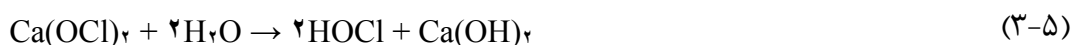
در این فصل به ارزیابی برخی ویژگی‌های ردیاب‌های مورد نظر، در برابر عوامل مصنوعی که ممکن است ردیاب طی یک عملیات ردیابی تحت تاثیر آن‌ها قرار بگیرد پرداخته می‌شود. این عوامل در محیط غالباً به طور غیرطبیعی به وجود می‌آیند.

۵-۱- اثر کلر آزاد باقی مانده

کلر یکی از مؤثرترین مواد در تصفیه آب است که استفاده از آن جهت گندزدایی آب از ابتدای قرن بیستم آغاز شده است و به صورت گاز و یا پودر مورد استفاده قرار می‌گیرد. متداول‌ترین ترکیبات کلر که در تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از گاز کلر (Cl_2)، هیپوکلرید کلسیم $[Ca(OCl)_2]$ ، هیپوکلرید سدیم ($NaOCl$) و دی‌اکسید کلر (ClO_2). وقتی کلر به صورت گاز وارد آب می‌شود دو واکنش رخ می‌دهد، هیدرولیز و یونیزاسیون:



مقدار $HOCl$ و OCl^- موجود در آب را کلر آزاد در دسترس یا کلر آزاد باقی مانده^۱ می‌نامند. کلر به صورت نمک‌های هیپوکلریت نیز به آب افزوده شده و به صورت زیر واکنش می‌دهد:



در تصفیه آب همان طور که اشاره شد به دلیل خاصیت اکسیدکنندگی غالباً گاز کلر مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که هدف از این پژوهش، بررسی اثر کلر ناشی از تصفیه آب بر ردیاب‌ها می‌باشد

۱- Free available chlorine

و نیز امکانات لازم جهت تزریق کلر به صورت گاز در مقیاس آزمایشگاهی وجود نداشت، آب خروجی از تصفیه‌خانه مجاور آزمایشگاه که حاوی حدود ۱ میلی‌گرم بر لیتر کلر آزاد باقی‌مانده بود به آزمایشگاه منتقل و مورد استفاده قرار گرفت. از آنجائیکه ممکن است مقداری از کلر که به صورت گاز می‌باشد از محلول خارج شود، تا حد امکان در طول آزمایش از تماس نمونه آب با هوای آزاد جلوگیری به عمل آمد و مقدار کلر باقی‌مانده با استفاده از کیت کلر سنج مجدداً در ابتدای هر آزمایش اندازه‌گیری شد. با توجه به این مطلب که افزایش زمان ماندگاری کلر در محلول باعث افزایش اثر اکسیدکنندگی آن می‌شود به همین سبب در این بخش تغییر در میزان غلظت ردیاب‌ها در مجاورت کلر با گذشت زمان نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۵-۱-۱- اثر کلر آزاد باقی‌مانده بر ردیاب‌های فلورسنت

به منظور ارزیابی اثر کلر آزاد باقی‌مانده بر ویژگی فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B ابتدا غلظت‌های مختلفی از آن‌ها تهیه شد. این غلظت‌ها شامل ۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر اورانین (به ترتیب دارای شدت فلورسنس اولیه ۵۷، ۲۸۱ و ۵۶۲)، غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر ائوزین (به ترتیب دارای شدت فلورسنس اولیه ۴۶، ۳۶۳ و ۷۲۹) و غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر رودامین B (به ترتیب دارای شدت فلورسنس اولیه ۶۳، ۲۸۰ و ۴۸۸) بودند. برای تهیه این نمونه‌ها از آب حاوی یک میلی‌گرم بر لیتر کلر استفاده و شدت فلورسنس نمونه‌ها بلافاصله اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، با گذشت زمان شدت فلورسنس نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. لازم به ذکر است که به منظور به دست آوردن تغییرات درصد اولیه فلورسنس، شدت فلورسنس اولیه نمونه‌های تهیه شده به وسیله‌ی آب مقطر (نمونه‌های شاهد) به عنوان شدت فلورسنس اولیه در نظر گرفته شد. تغییرات فلورسنس ردیاب‌های محتوی کلر با غلظت‌های اولیه متفاوت در شکل‌های ۱-۵، ۳-۵ و ۵-۵ و تغییرات درصد فلورسنس آن‌ها با گذشت زمان در شکل‌های ۲-۵، ۴-۵ و ۶-۵ ارائه شده است.

به این ترتیب هر سه نوع ردیاب فلورسنت به شدت تحت تاثیر کلر آزاد باقی مانده قرار گرفته و طی مدت کوتاهی فلورسنس خود را به طور کامل از دست می دهند. در اثر وجود کلر آزاد، اورانین و ائوزین پس از گذشت پنج ساعت و رودامین B تنها پس از گذشت ۱ ساعت فلورسنس خود را از دست دادند. نرخ این کاهش از غلظت اولیه ردیاب مستقل است. بنابراین ردیاب های فلورسنت مقاومت کمی در برابر کلر داشته و به سرعت از بین می روند. رودامین B مقاومت کمتری در برابر کلر آزاد داشته و با سرعت بیشتری نسبت به سایر ردیاب های فلورسنت تجزیه شده و از بین می رود به طوری که تنها با اضافه شدن کلر به محلول در ابتدای آزمایش بخش عمده فلورسنس خود را از دست می دهد (شکل ۵-۶). به این ترتیب مواد فلورسنت اکسید شده و از بین می روند بنابراین این فرایند برگشت ناپذیر است.

۵-۱-۲- اثر کلر آزاد باقی مانده بر کلرید سدیم و پتاسیم

اثر کلر آزاد بر کلرید سدیم و پتاسیم نیز به عنوان دیگر ردیاب های مورد بررسی در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. در مورد این دو ردیاب نیز مانند سایر ردیاب ها، ابتدا از هر ردیاب نمونه هایی با سه غلظت متفاوت با استفاده از آب حاوی یک میکروگرم بر لیتر کلر آزاد باقی مانده تهیه و تغییرات هدایت الکتریکی آن ها با گذشت زمان اندازه گیری شد. در مورد این ردیاب ها نیز هدایت الکتریکی نمونه های بدون کلر (نمونه های شاهد) به عنوان هدایت الکتریکی اولیه در نظر گرفته شد.

اثر کلر آزاد بر هدایت الکتریکی نمک سدیم و پتاسیم با غلظت های اولیه متفاوت و هم چنین درصد اولیه آن ها در شکل های ۵-۷ تا ۵-۱۰ ارائه شده است. طبق این نمودارها وجود کلر آزاد در نمونه ها در ابتدا منجر به کاهش هدایت الکتریکی شده اما با گذشت زمان هدایت الکتریکی محلول ها به مقدار اولیه خود بازگشته و تا پایان آزمایش تقریباً ثابت باقی می ماند. بنابراین می توان نتیجه گرفت بر خلاف ردیاب های فلورسنت وجود کلر آزاد باقی مانده تاثیری بر ردیاب های نمکی نداشته و تغییر قابل ملاحظه ای در هدایت الکتریکی ناشی از آن ها ایجاد نمی کند.

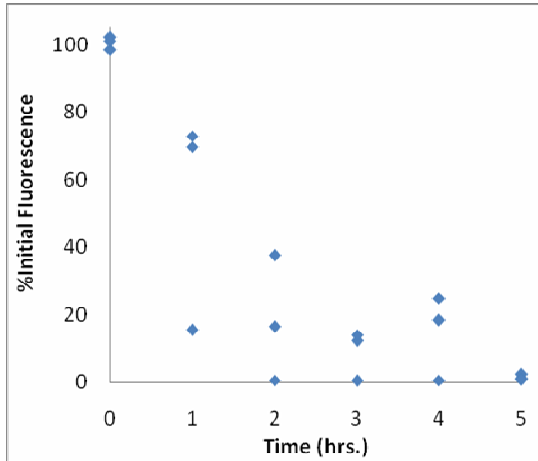
۵-۱-۳- اثر کلر آزاد باقی مانده بر پرمنگنات پتاسیم

در این آزمایش به دلیل احتمال کند بودن واکنش پرمنگنات، آزمایش با دو دوره زمانی کوتاه مدت و دراز مدت انجام گردید. در آزمایش کوتاه مدت، اثر کلر بر پرمنگنات در یک دوره زمانی هشت ساعته مانند سایر ردیابها انجام شد. در آزمایش بلند مدت تغییرات شدت رنگ پرمنگنات در یک ماه مورد بررسی قرار گرفت. در هر دو آزمایش، سه غلظت متفاوت از پرمنگنات با استفاده از آب محتوی ۱ میلی گرم بر لیتر کلر آزاد باقی مانده تهیه و طی فواصل زمانی مشخص شدت رنگ آنها اندازه گیری گردید.

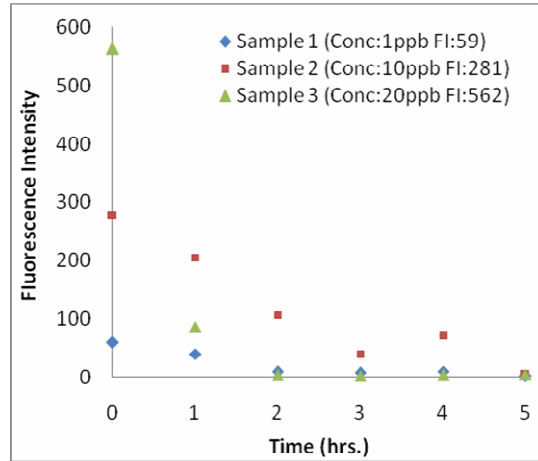
غلظت اولیه نمونه های آزمایش کوتاه مدت شامل ۱۰، ۵۰ و ۹۰ میلی گرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت رنگ PtCo ۵۵، ۲۰۲ و ۳۶۴) و غلظت اولیه نمونه های آزمایش کوتاه مدت شامل ۱۰، ۳۰ و ۷۰ میلی گرم بر لیتر (به ترتیب دارای شدت رنگ PtCo ۵۵، ۱۱۶ و ۲۹۴). شکل های ۵-۱۱ تا ۵-۱۴ تغییرات شدت رنگ محلول های پرمنگنات با غلظت های اولیه متفاوت در دو دوره زمانی بلند مدت و کوتاه مدت را نشان می دهد.

۵-۲- اثر آلودگی نفتی

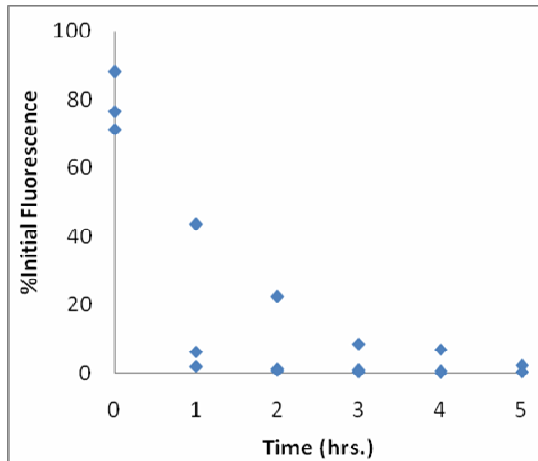
نفت یکی از موادی است که ممکن است به دلایلی همچون نشت از مخازن، موجب آلودگی منابع آب زیرزمینی شود. هنگامی که ردیابی در چنین محیطی مورد نظر باشد، اثر این آلاینده بر خواص ردیاب بکار گرفته شده بسیار اهمیت خواهد داشت زیرا، خاصیت فلورسنس مواد نفتی ممکن است ویژگی های ردیاب را تحت تاثیر خود قرار داده و منجر به ایجاد خطا در نتایج عملیات شود. به منظور بررسی اثر احتمالی چنین آلودگی هایی بر عملکرد ردیابها، در این پژوهش از نفت سفید به عنوان آلاینده استفاده کرده و اثر آن بررسی شد.



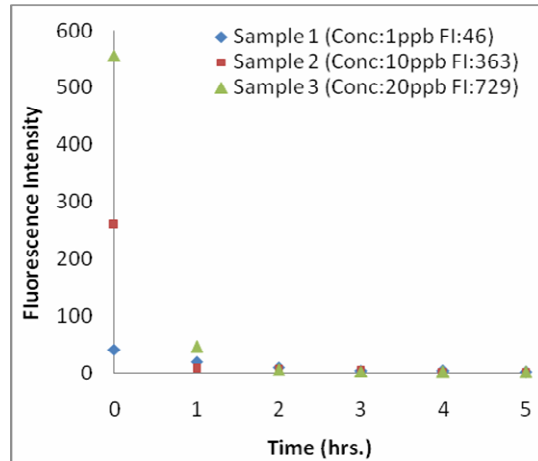
شکل ۲-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد فلورسنس اولیه اورانین



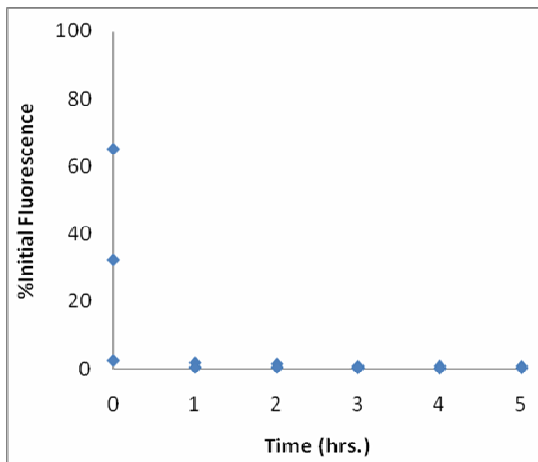
شکل ۱-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس اورانین



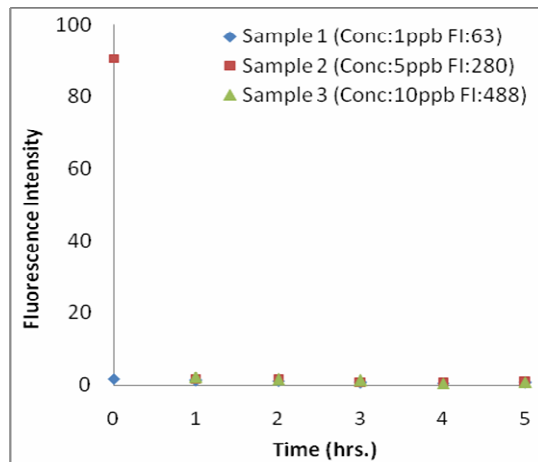
شکل ۴-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد فلورسنس اولیه ائوزین



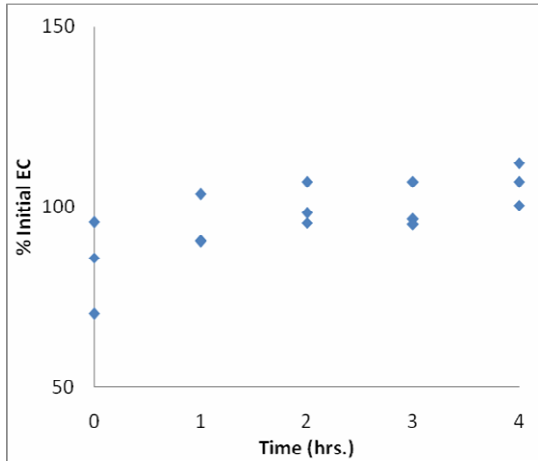
شکل ۳-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس ائوزین



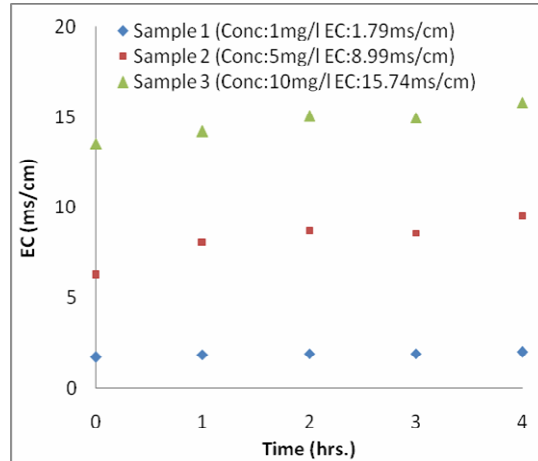
شکل ۶-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد فلورسنس اولیه رودامین B



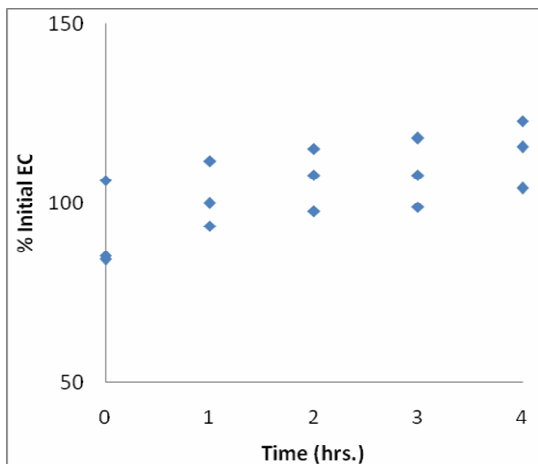
شکل ۵-۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس رودامین B



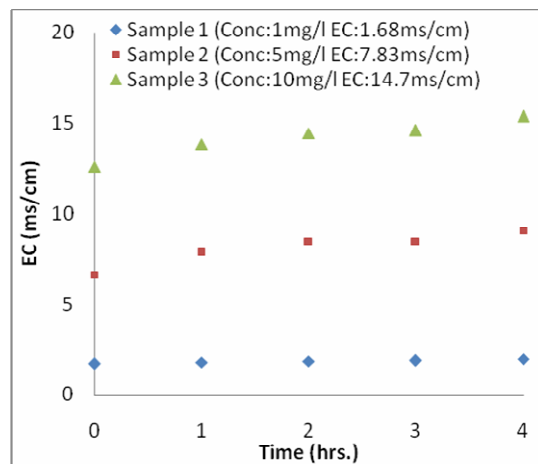
شکل ۵-۸- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl



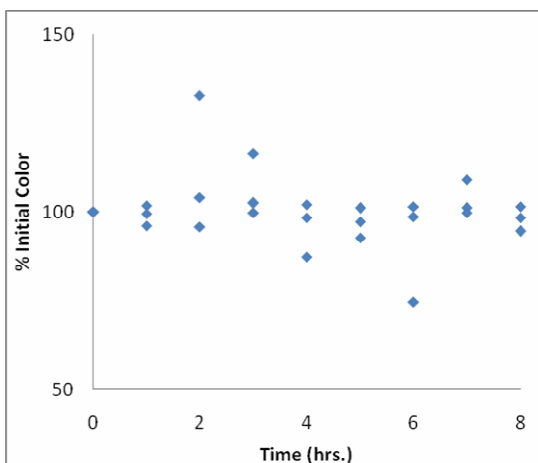
شکل ۵-۷- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر هدایت الکتریکی NaCl



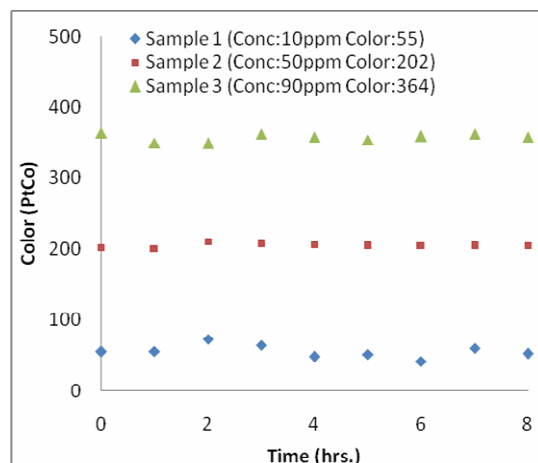
شکل ۵-۱۰- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl



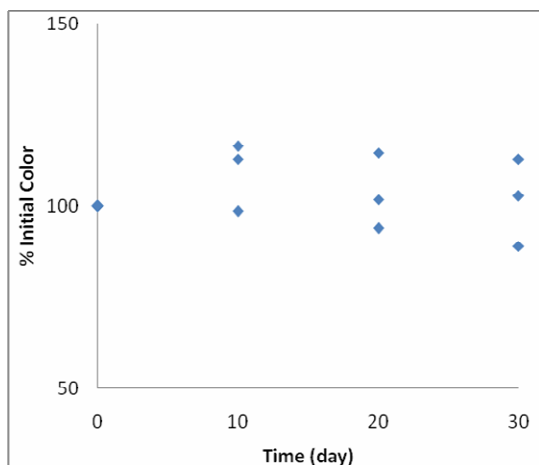
شکل ۵-۹- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر هدایت الکتریکی KCl



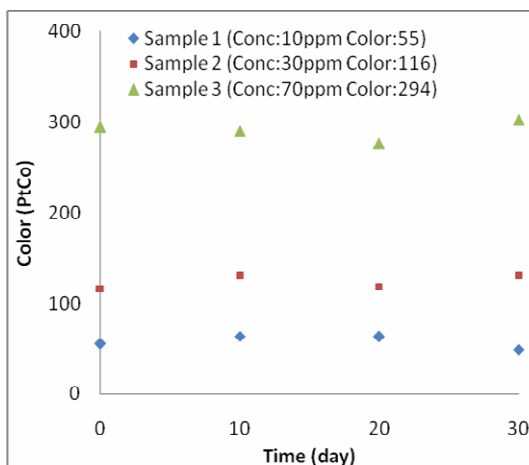
شکل ۵-۱۲- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد شدت رنگ اولیه KMnO4 در کوتاه مدت



شکل ۵-۱۱- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر شدت رنگ محلول KMnO4 در کوتاه مدت



شکل ۵-۱۴- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر درصد شدت رنگ اولیه $KMnO_4$ در دراز مدت



شکل ۵-۱۳- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر شدت رنگ محلول $KMnO_4$ در دراز مدت

۵-۲-۱- اثر نفت بر ردیاب‌های فلورسنت

نفت دارای خاصیت فلورسنس بوده و در طول موج‌های فرابنفش (۳۰۰-۴۰۰ نانومتر) دارای حداکثر تحریک و حداکثر پرتودهی آن در بازه ۴۰۰ تا ۶۰۰ نانومتر متغیر است (Ryder et al ۲۰۰۴). مواد افزوده شده به نفت بر روی فلورسنس آن تاثیر می‌گذارند (Kyriakidis and Skarkalis ۲۰۰۰). امروزه استفاده از تکنیک فلورسنس به عنوان ابزاری برای شناخت خصوصیات نفت خام و تصفیه شده مورد استفاده قرار می‌گیرد (Titiana et al. ۲۰۰۲).

به منظور بررسی اثر آلودگی‌های هیدروکربوری بر روی ویژگی فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B، رفتار آن‌ها در محیط‌های با آلودگی هیدروکربوری مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور غلظت‌های مختلفی از آن‌ها تهیه شد (۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر اورانین، ۱، ۱۰ و ۲۰ میکروگرم بر لیتر ائوزین، ۱، ۵ و ۱۰ میکروگرم بر لیتر رودامین B). پس از اندازه‌گیری شدت فلورسنس اولیه نمونه‌ها به تدریج درصدهای مختلفی از نفت اضافه کرده و تغییرات شدت فلورسنس در هر مرحله اندازه‌گیری شد. شکل‌های ۵-۱۵، ۵-۱۷ و ۵-۱۹ به ترتیب تغییرات شدت فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B را با غلظت‌های اولیه متفاوت و افزایش درصد نفت نشان می‌دهد. شکل‌های ۵-۱۶، ۵-۱۸ و ۵-۲۰ تغییرات درصد اولیه فلورسنس آن‌ها را در غلظت‌های متفاوت نفت نشان می‌دهد.

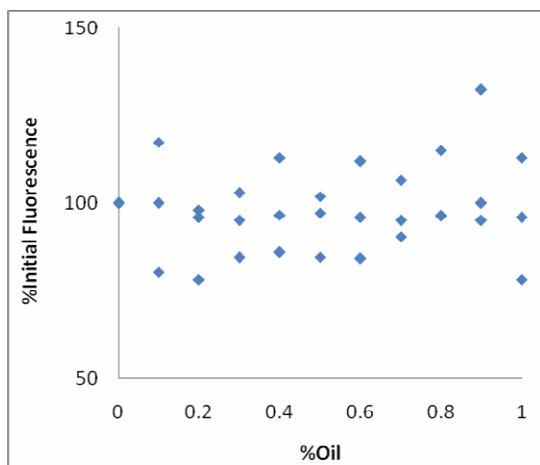
طبق نتایج به دست آمده از این آنالیزها افزایش غلظت نفت تغییری در فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B به وجود نمی‌آورد و شدت فلورسنس این ردیاب‌ها در مقدار اولیه ثابت می‌ماند. با توجه به اینکه فلورسنس نفت در محدوده ماوراء بنفش می‌باشد حضور آن تاثیر چندانی بر فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B ندارد.

۵-۲-۲- اثر نفت بر کلرید سدیم و پتاسیم

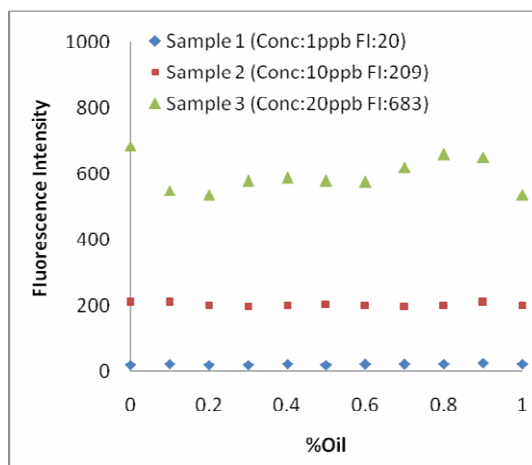
به منظور بررسی اثر آلودگی‌های هیدروکربوری بر هدایت الکتریکی نمک سدیم و پتاسیم ابتدا غلظت‌های مشخصی (۱، ۵ و ۱۰ گرم بر لیتر) از کلرید سدیم و پتاسیم تهیه کرده و پس از اندازه‌گیری هدایت الکتریکی اولیه، به تدریج درصدهای مختلفی از نفت به آن‌ها اضافه و تغییرات هدایت الکتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد (شکل‌های ۵-۲۱ تا ۵-۲۴). نتایج به دست آمده نشان داد وجود نفت تغییری در هدایت الکتریکی نمک‌ها به وجود نیاورده و به این ترتیب اثری بر آن‌ها ندارد.

۵-۲-۳- اثر نفت بر پرمنگنات پتاسیم

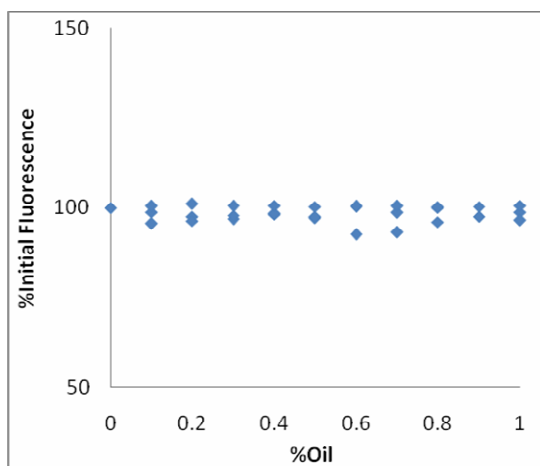
بررسی اثر نفت بر شدت رنگ پرمنگنات پتاسیم نیز در سه محلول با غلظت‌های اولیه مختلف به ترتیب دارای شدت رنگ PtCo ۱۷، ۱۵۴ و ۲۹۱ انجام شد. شکل‌های ۵-۲۵ و ۵-۲۶ نتایج این آزمایش را نشان می‌دهند. طبق این نمودارها وجود نفت تاثیر بسزایی بر شدت رنگ محلول پرمنگنات ایجاد می‌کند به این صورت که با افزایش درصد نفت شدت رنگ، مستقل از غلظت اولیه محلول، به طور خطی افزایش می‌یابد. پراکندگی داده‌ها در شکل ۵-۲۶ ظاهری بوده و به دلیل نسبی بودن محور عمودی بوجود آمده است.



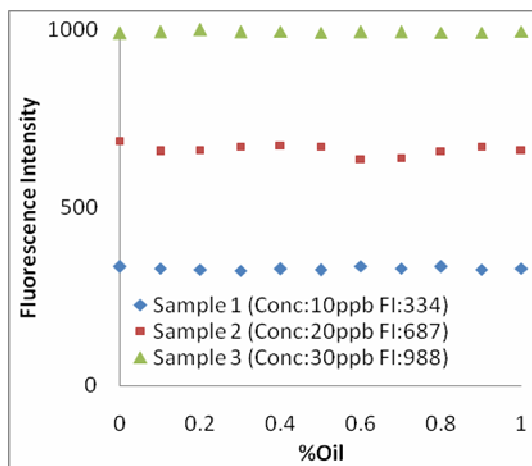
شکل ۱۶-۵- اثر نفت بر درصد فلورسنس اولیه اورانین



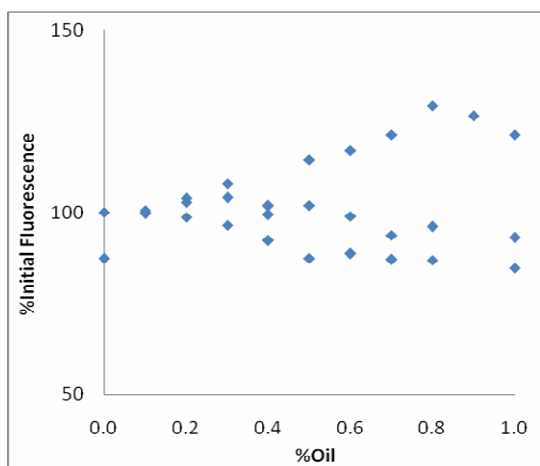
شکل ۱۵-۵- اثر نفت بر فلورسنس اورانین



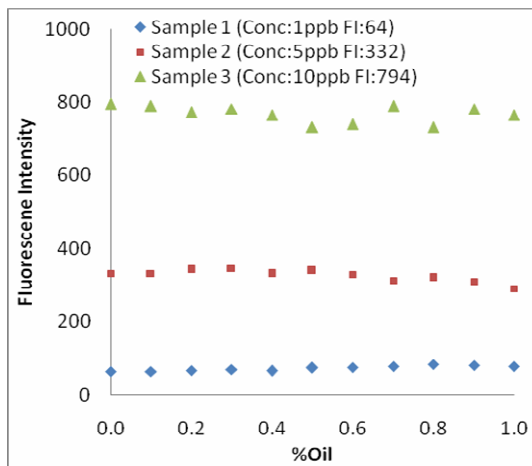
شکل ۱۸-۵- اثر نفت بر درصد فلورسنس اولیه اورانین



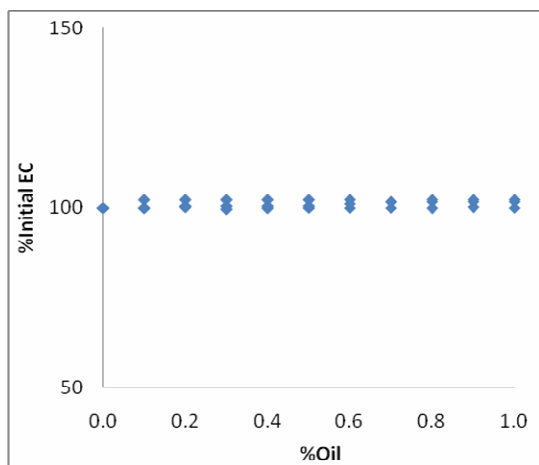
شکل ۱۷-۵- اثر نفت بر فلورسنس انوزین



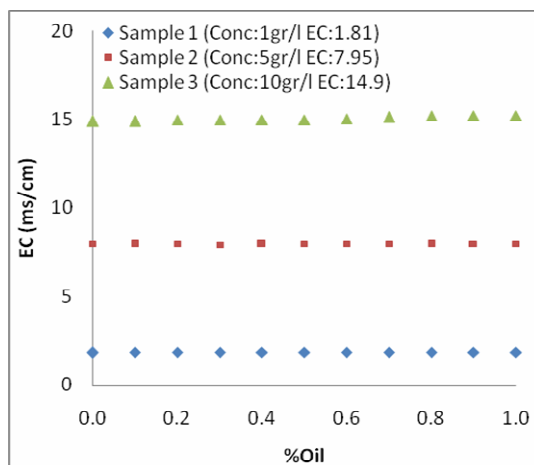
شکل ۲۰-۵- اثر نفت بر درصد فلورسنس اولیه اورانین



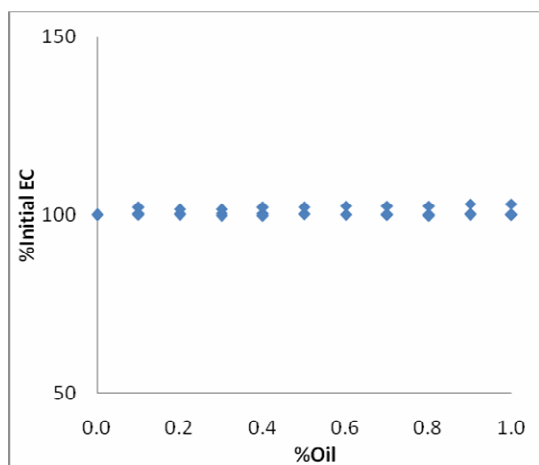
شکل ۱۹-۵- اثر نفت بر فلورسنس رود امین B



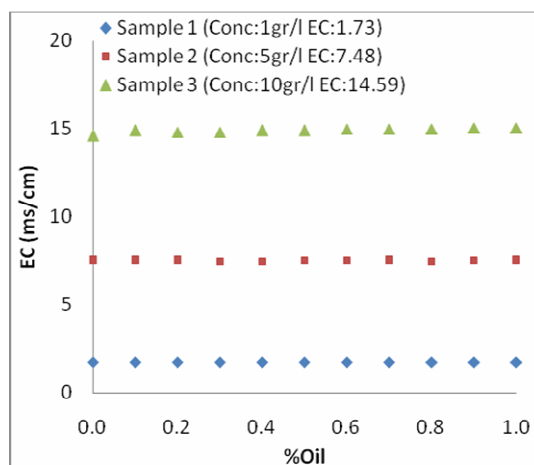
شکل ۲۲-۵- اثر نفت بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl



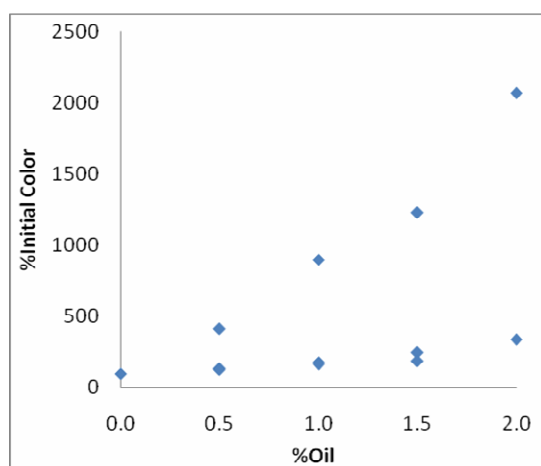
شکل ۲۱-۵- اثر نفت بر هدایت الکتریکی NaCl



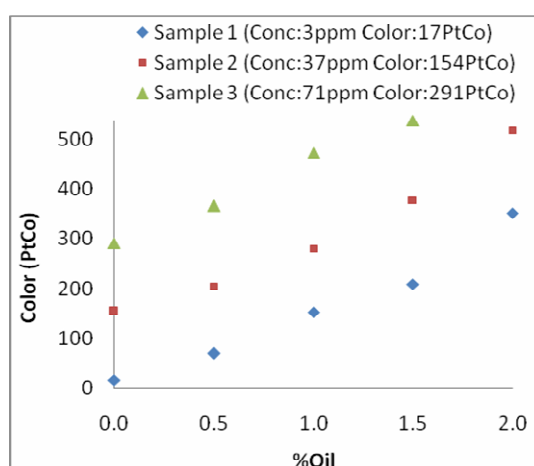
شکل ۲۴-۵- اثر نفت بر درصد هدایت الکتریکی اولیه KCl



شکل ۲۳-۵- اثر نفت بر هدایت الکتریکی KCl



شکل ۲۶-۵- اثر نفت بر شدت رنگ محلول KMnO₄



شکل ۲۵-۵- اثر نفت بر شدت رنگ محلول KMnO₄

۵-۳- بررسی تداخل ردیاب‌ها با یکدیگر

هنگامی که در یک عملیات ردیابی از چند ردیاب به طور همزمان استفاده شود بررسی اثر تداخل آن‌ها با یکدیگر ضروری خواهد بود. این بررسی با هدف آشکارسازی هر ردیاب به طور جداگانه با از بین بردن اثر فلورسنس یکی از ردیاب‌ها و تعیین غلظت ردیاب دیگر صورت می‌گیرد. در ردیاب‌های فلورسنت تداخل هنگامی اتفاق می‌افتد که طول موج مربوط به پرتوهای ردیاب‌های مورد نظر به یکدیگر نزدیک و با هم همپوشانی داشته باشند. در بخش ۴-۵ اثر تداخل کلرید سدیم و پتاسیم بر سایر ردیاب‌ها با عنوان اثر شوری مورد بحث قرار گرفت. بنابراین در این بخش اثر تداخل ردیاب‌ها در دو بخش به صورت تداخل ردیاب‌های فلورسنت با یکدیگر و پرمنگنات پتاسیم بر ردیاب‌های فلورسنت ارائه می‌شود.

۵-۳-۱- تداخل ردیاب‌های فلورسنت با یکدیگر

بررسی تداخل ردیاب‌های فلورسنت با یکدیگر به منظور ارزیابی کاربرد همزمان آن‌ها در یک عملیات ردیابی طی سه مرحله شامل تداخل اورانین و ائوزین، تداخل ائوزین و رودامین B و تداخل اورانین و رودامین B انجام شد. در مرحله اول محلول‌هایی با غلظت اولیه ۱۰ میکروگرم بر لیتر از این ردیاب‌ها تهیه و شدت فلورسنس آن‌ها اندازه‌گیری شد. شدت فلورسنس اورانین، ائوزین و رودامین B در شرایط اولیه به ترتیب ۳۱۰، ۳۴۳، ۷۴۷ بود. منحنی مربوط به برانگیختگی و پرتوهای محلول‌های اولیه در شکل‌های ۵-۲۷ تا ۵-۲۹ ارائه شده است. همان طور که در این نمودارها مشخص است طول موج حداکثر برانگیختگی اورانین، ائوزین و رودامین B به ترتیب ۴۹۰، ۵۱۵ و ۵۵۵ نانومتر و طول موج حداکثر پرتوهای آن‌ها به ترتیب ۵۱۲، ۵۳۷ و ۵۸۰ نانومتر می‌باشد.

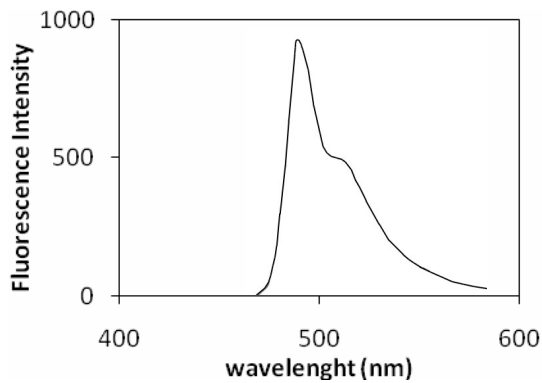
۱- تداخل اورانین و ائوزین: به منظور بررسی تداخل اورانین و ائوزین، محلول‌های اولیه تهیه

شده با غلظت‌های ۱۰ میکروگرم بر لیتر اورانین و ائوزین را به نسبت ۱ به ۱ با یکدیگر مخلوط کرده و

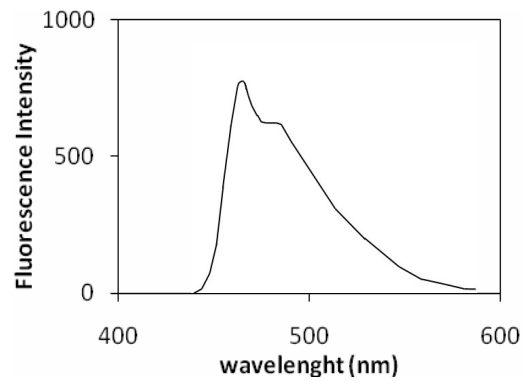
تغییرات نمودار برانگیختگی و پرتودهی آن‌ها بررسی شد. نمودار مربوط به تداخل اورانین و ائوزین در شکل ۵-۳۰ ارائه شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است به دلیل نزدیک بودن طول موج پرتودهی اورانین و ائوزین (۵۱۲ و ۵۳۷ نانومتر)، با یکدیگر دچار تداخل می‌شوند. طبق روش بنیشکه (Benischke ۲۰۰۵) به منظور از بین بردن تداخل و تعیین اورانین در یک مخلوط اورانین-ائوزین، ابتدا با استفاده از HCl، pH محلول را تا حدود ۲ کاهش داده شد و شدت فلورسنس اورانین با طول موج برانگیختگی ۴۴۰ و پرتودهی ۵۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. نمودار مربوط به تعیین اورانین در کنار ائوزین در شکل ۵-۳۱ ارائه شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است با این روش فلورسنس ائوزین از بین رفت و نتیجتاً شدت فلورسنس اورانین به تنهایی به دست آمد. برای تعیین ائوزین در مخلوط اورانین-ائوزین نیز در ابتدا با اسیدی کردن محلول تا pH پنج، فلورسنس اورانین از بین رفته و منحنی مربوط به پرتودهی ائوزین به تنهایی به دست آمد. در شکل ۵-۳۲ نحوه تعیین ائوزین در کنار اورانین ارائه شده است.

بررسی منحنی‌های تداخل ردیاب‌های اورانین و ائوزین و مقایسه آن با منحنی اورانین و ائوزین، نشان می‌دهد هنگامی که، در یک محلول هر دو ردیاب حضور داشته باشند تعیین غلظت هر کدام از آن‌ها نیاز به انجام عملیات مکمل دارد. زیرا همان طور که در بخش ۵-۳ توضیح داده شد طول موج پرتودهی این دو ردیاب به یکدیگر نزدیک است و دچار تداخل می‌شوند. همان طور که در شکل ۵-۳۰ ملاحظه می‌شود در یک محلول حاوی اورانین و ائوزین به طور همزمان منحنی در محدوده حدود ۵۱۰ تا ۵۴۰ دارای یک پیک ممتد است.

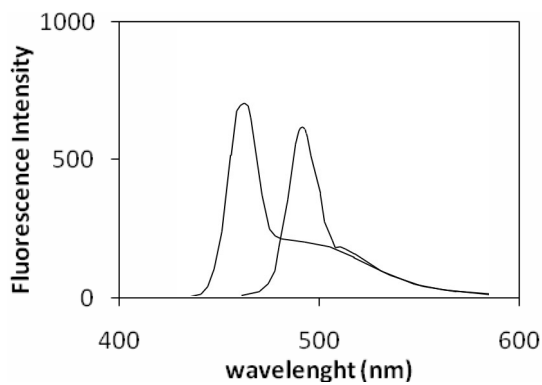
در شکل ۵-۳۱ با حذف فلورسنس ائوزین پیک مربوط به پرتودهی اورانین به تنهایی ظاهر شده است. اما همین‌طور که در این شکل مشخص است شدت فلورسنس اورانین کمتر از مقدار اولیه آن می‌باشد. در شکل ۵-۳۲ نیز با حذف فلورسنس اورانین، پیک مربوط به پرتودهی ائوزین به تنهایی ظاهر شده است.



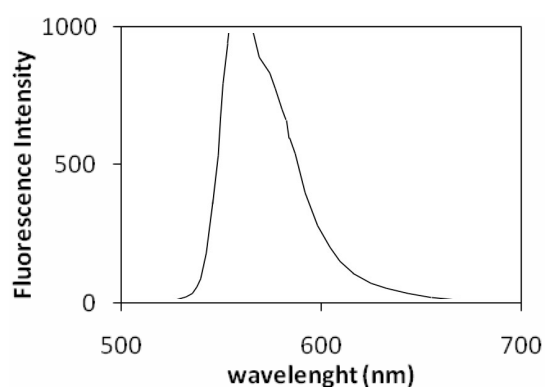
شکل ۲۸-هـ- نمودار برانگیختگی و پرتو دهی ائوزین



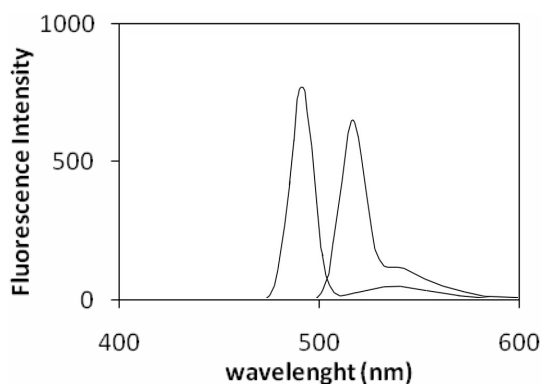
شکل ۲۷-هـ- نمودار برانگیختگی و پرتو دهی اورانین



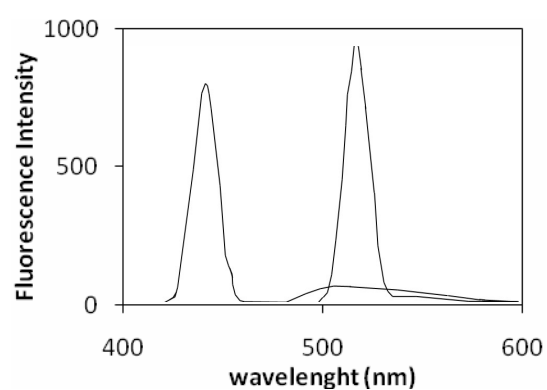
شکل ۳۰-هـ- نمودار تداخل پرتو دهی اورانین و ائوزین



شکل ۲۹-هـ- نمودار پرتو دهی و برانگیختگی رودامین B

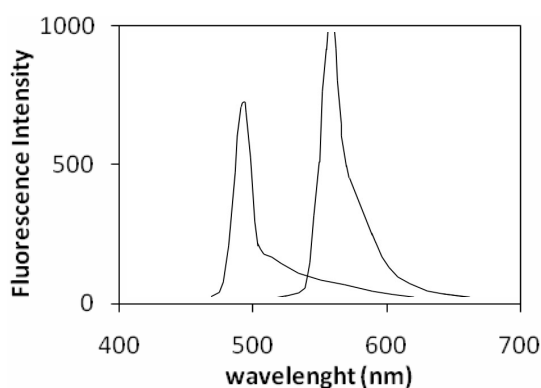


شکل ۳۲-هـ- حذف تداخل اورانین از ائوزین



شکل ۳۱-هـ- حذف تداخل ائوزین از اورانین

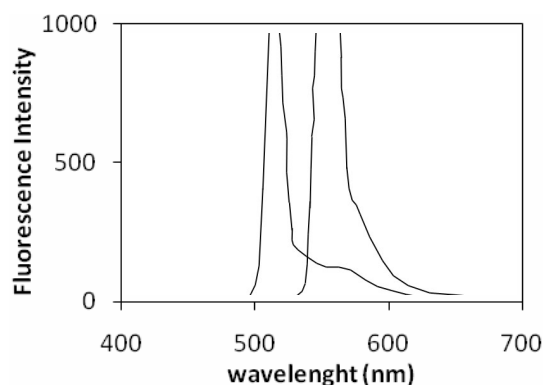
۲- تداخل اورانین و رودامین B: به منظور بررسی تداخل اورانین و رودامین B، محلول‌های اولیه تهیه شده با غلظت‌های ۱۰ میکروگرم بر لیتر اورانین و رودامین B را به نسبت ۱ به ۱ با یکدیگر مخلوط کرده و تغییرات نمودار برانگیختگی و پرتودهی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نمودار مربوط به تداخل این دو ردیاب در شکل ۵-۳۳ ارائه شده است. همان طور که در این نمودارها مشخص است به دلیل تفاوت زیاد طول موج پرتودهی این دو ردیاب، با یکدیگر تداخل ایجاد نمی‌کنند و دارای دو پیک جداگانه هستند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت فلورسنس اورانین و رودامین B تاثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و به سادگی می‌توان غلظت هر یک را تعیین نمود.



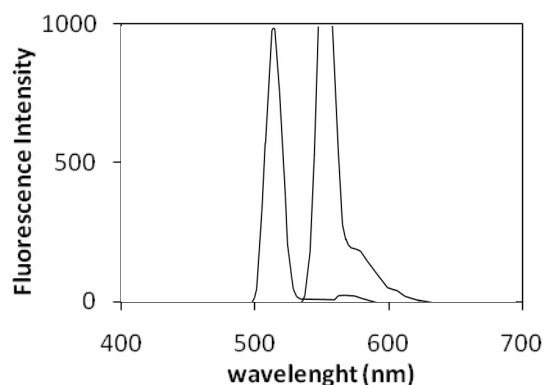
شکل ۵-۳۳- نمودار تداخل اورانین و رودامین B

۳- تداخل ائوزین و رودامین B: به این منظور محلول‌های اولیه تهیه شده با غلظت‌های ۱۰ میکروگرم بر لیتر ائوزین و رودامین B را به نسبت ۱ به ۱ با یکدیگر مخلوط کرده و تغییرات نمودار برانگیختگی و پرتودهی آن‌ها بررسی شد. نمودار مربوط به تداخل ائوزین و رودامین B در شکل ۵-۳۴ ارائه شده است. به منظور تعیین رودامین B در این مخلوط ابتدا با استفاده از HCl، pH محلول را تا حدود دو کاهش داده و با حذف اثر فلورسنس ائوزین شدت فلورسنس رودامین B به دست آمد. تعیین رودامین B در کنار ائوزین در نمودار ۵-۳۵ ارائه شده است. همان طور که در این نمودار نیز مشخص است با کاهش pH، ائوزین خاصیت فلورسنس خود را تا حدودی از دست داده و فلورسنس رودامین B

بارز می‌گردد. به این ترتیب از این روش می‌توان در عملیات‌های ردیابی که از دو ردیاب ائوزین و رودامین B به طور همزمان استفاده می‌شود برای آشکارسازی رودامین B استفاده نمود.



شکل ۵-۳۴- نمودار تداخل ائوزین و رودامین B

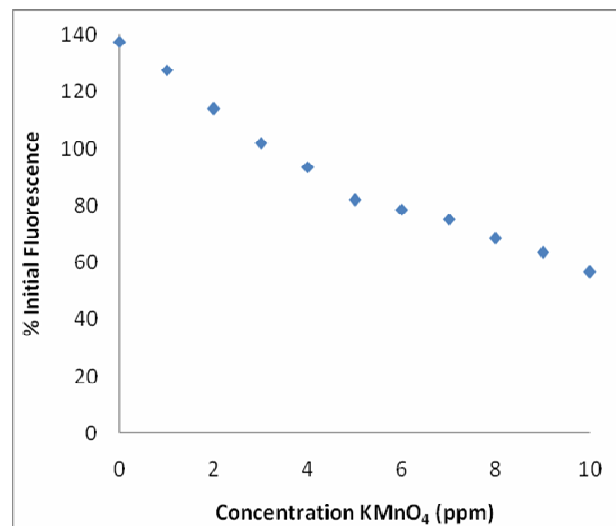


شکل ۵-۳۵- حذف تداخل پیک پرتودهی ائوزین از پیک پرتودهی رودامین B

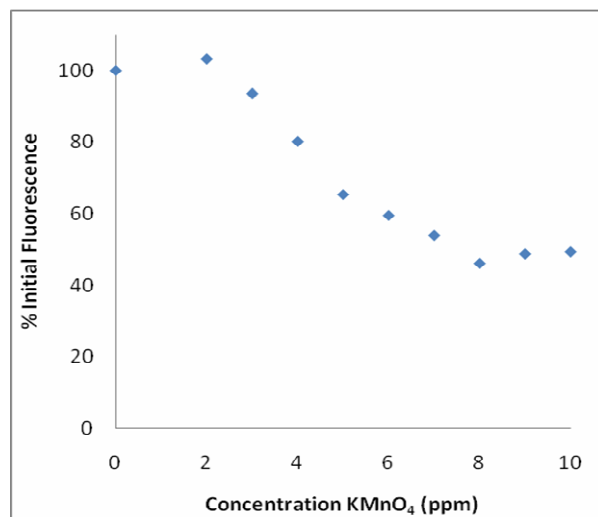
۵-۳-۲- تداخل پرمنگنات پتاسیم با ردیاب‌های فلورسنت

بررسی تداخل ردیاب‌های فلورسنت با پرمنگنات پتاسیم به منظور ارزیابی کاربرد همزمان آن‌ها در یک عملیات ردیابی طی سه مرحله انجام شد. ابتدا محلول‌هایی با غلظت اولیه مشخص از اورانین (با غلظت اولیه ۵ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس ۱۳۷)، ائوزین (با غلظت اولیه ۵ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس ۱۹۲) و رودامین B (با غلظت اولیه ۷ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس ۵۲۱) تهیه و سپس به هریک از محلول‌ها به تدریج پرمنگنات پتاسیم با غلظت ۱ گرم بر لیتر اضافه و در هر

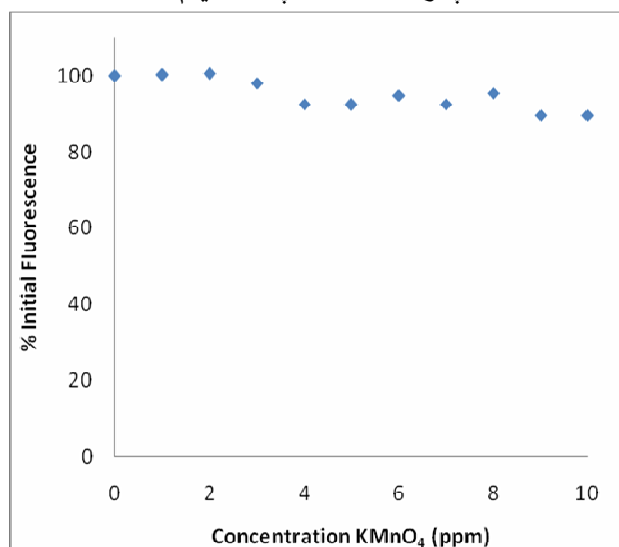
مرحله شدت فلورسنس ردیاب‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در شکل‌های ۵-۳۶، ۵-۳۷ و ۵-۳۸ ارائه شده است. طبق این نتایج با افزایش غلظت پرمنگنات در محلول شدت فلورسنس اورانین و ائوزین به شدت کاهش می‌یابد. همان طور که شکل‌های ۵-۳۶ و ۵-۳۷ نشان می‌دهد در اثر حضور تنها ۵ ppm محلول پرمنگنات شدت فلورسنس اورانین و ائوزین به کمتر از ۵۰٪ مقدار اولیه خود می‌رسد. فلورسنس رودامین B کمتر تحت تاثیر پرمنگنات پتاسیم قرار می‌گیرد (شکل ۵-۳۸). مقدار کاهش شدت فلورسنس رودامین B در اثر پرمنگنات پتاسیم در مقایسه با اورانین و ائوزین کمتر است.



شکل ۵-۳۶- تغییرات شدت فلورسنس اورانین در اثر تداخل با پرمنگنات پتاسیم



شکل ۵-۳۷- تغییرات شدت فلورسنس ائوزین در اثر تداخل با پرمنگنات پتاسیم



شکل ۵-۳۸- تغییرات شدت فلورسنس رودامین B در اثر تداخل با پرمنگنات پتاسیم

۵-۴-۱- اثر مخلوط‌های شستشو بر اورانین

به منظور بررسی اثر مخلوط‌های شستشو بر فلورسنس اورانین، محلولی با غلظت مشخص از اورانین تهیه و در شرایط اولیه مورد سنجش قرار گرفت (غلظت ۱۳/۲۶۴ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس ۳۴۷/۵۴۵). شکل ۵-۳۹ پیک برانگیختگی و پرتودهی این محلول را در شرایط اولیه نشان می‌دهد. پس از مخلوط کردن این محلول با مخلوط شستشوی A به دلیل ایجاد محیط قلیایی شدت فلورسنس اورانین به بیش از مقدار قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه افزایش یافت. به منظور کاهش

شدت فلورسنس اورانین، با اعمال تغییرات در تنظیمات دستگاه ابتدا حساسیت دستگاه کاهش داده شد. با این روش در واقع شدت نور تابیده شده به محلول توسط دستگاه کاهش می‌یابد و در نتیجه شدت پرتودهی ماده فلورسنس نیز کاهش می‌یابد. روش دوم تغییر طول موج برانگیختگی ردیاب در طول موجی به غیر از طول موج حداکثر برانگیختگی است، به این ترتیب چون ردیاب در طول موج حداکثر برانگیخته نمی‌شود شدت پرتودهی آن کاهش می‌یابد. بنابراین طول موج برانگیختگی اورانین را به میزان ۱۰ نانومتر تغییر داده و روی ۴۸۰ نانومتر تنظیم گردید. با این تغییرات شدت فلورسنس اورانین تا حدودی کنترل شده و توسط دستگاه قابل رویت شد (شکل ۵-۴۰).

پس از آشکار شدن پیک اورانین، مرحله بعد شناسایی طول موج حداکثر برانگیختگی است. همان طور که در شکل ۵-۴۰ مشخص است حداکثر پرتودهی اورانین هنگامی که با مخلوط شستشوی A مخلوط شده است ۵۱۰ نانومتر می‌باشد. مرحله بعد اضافه کردن مخلوط شستشوی B به محلول اولیه اورانین بود. در این مرحله نیز پس از اضافه کردن مخلوط شستشو، شدت فلورسنس اورانین مورد ارزیابی قرار گرفت.

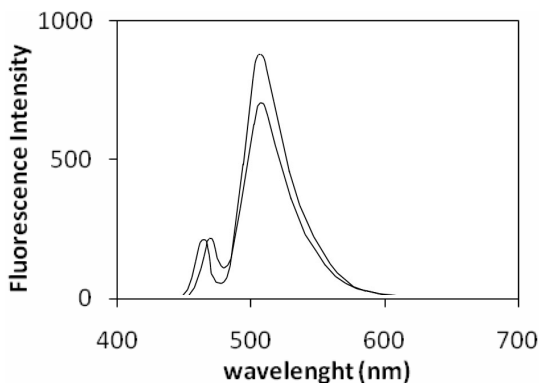
شکل ۵-۴۱ منحنی مربوط به محلول اورانین و مخلوط شستشوی B ارائه شده است. همان طور که در این نمودار مشخص است با اضافه شدن مخلوط B، تغییری در طیف برانگیختگی و پرتودهی اورانین به وجود نمی‌آید. نتایج به دست آمده از این آزمایش نشان داد که حداکثر پرتودهی اورانین پس از مخلوط شدن با A از ۵۱۲ به ۵۱۰ نانومتر تغییر می‌یابد. اضافه شدن مخلوط B نیز تغییری در طول موج حداکثر پرتودهی اورانین ایجاد نمی‌کند.

۵-۴-۲- اثر مخلوط‌های شستشو بر ائوزین

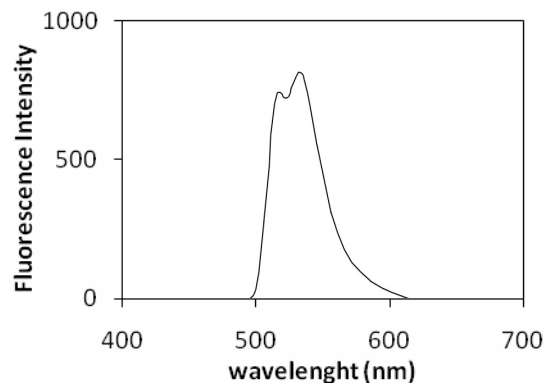
ابتدا محلولی با غلظت مشخص از ائوزین تهیه و در شرایط اولیه مورد سنجش قرار گرفت (غلظت ۹/۶ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس ۳۲۲/۶۹۳). شکل ۵-۴۲ پیک برانگیختگی و پرتودهی ائوزین را در شرایط اولیه نشان می‌دهد. سپس طی دو مرحله، مخلوط شستشوی A و B به حجم

مشخصی از محلول اولیه ائوزین اضافه (با نسبت ۱ به ۱۰) و منحنی مربوط به طیف برانگیختگی و پرتودهی آن‌ها بررسی شد.

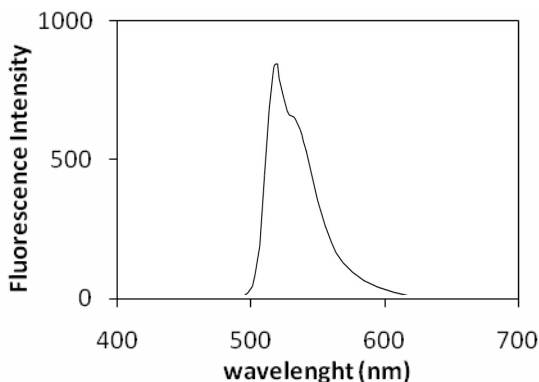
شکل ۴۳-۵ ائوزین و مخلوط شستشوی A و شکل ۴۴-۵ ائوزین و مخلوط شستشوی B را نشان می‌دهد. نتایج بررسی اثر مخلوط شستشوی A بر ائوزین، نشان داد که همانند اورانین، در اثر اضافه شدن این ماده به ائوزین، پیک مربوط به پرتودهی ائوزین چند نانومتر جابجایی پیدا کرده و در ۵۳۴ نانومتر ظاهر می‌شود. هم چنین مخلوط شستشوی B تغییری در ویژگی‌های طیفی ائوزین به وجود نمی‌آورد.



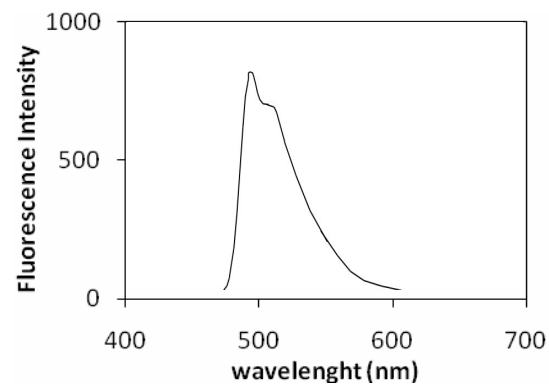
شکل ۴۰-۵ - پیک پرتودهی اورانین پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی A



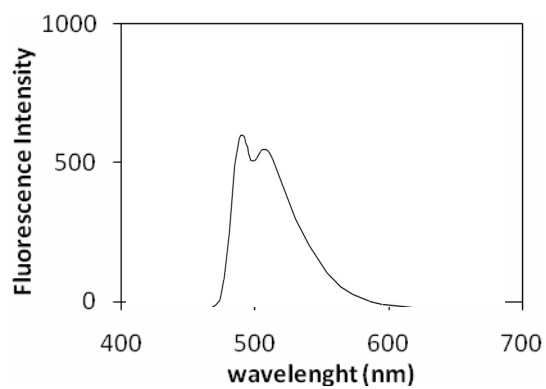
شکل ۴۴-۵ - پیک پرتودهی ائوزین پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی B



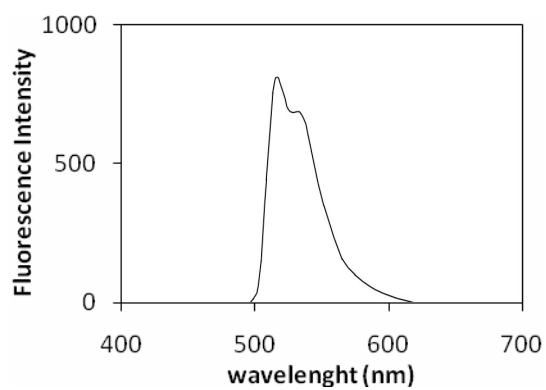
شکل ۴۲-۵ - پیک برانگیختگی و پرتودهی ائوزین در شرایط اولیه



شکل ۳۹-۵ - پیک برانگیختگی و پرتودهی اورانین در شرایط اولیه



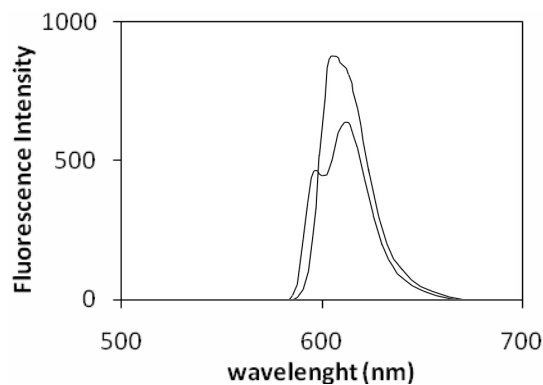
شکل ۵-۴۱- پیک پرتودهی اورانین
 پس از مخلوط شدن با مخلوط
 شستشوی B



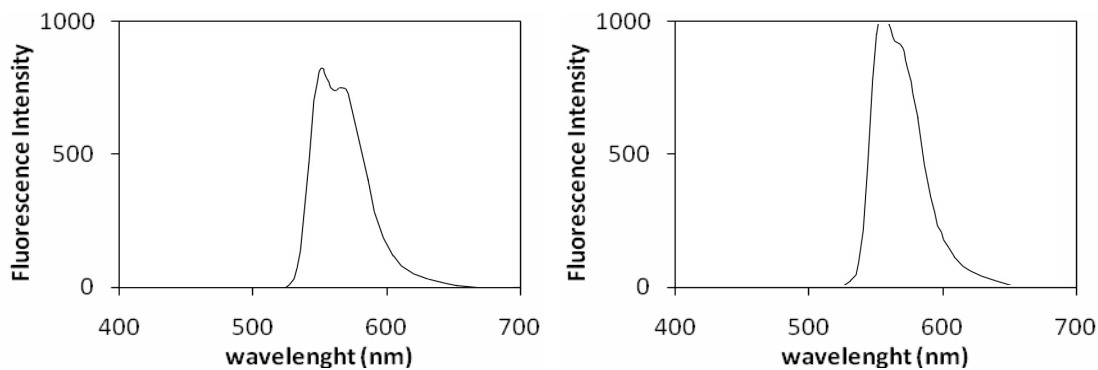
شکل ۵-۴۳- پیک پرتودهی ائوزین
 پس از مخلوط شدن با مخلوط
 شستشوی A

۵-۴-۳- اثر مخلوط‌های شستشو بر رودامین B

برای بررسی اثر مخلوط‌های شستشو بر فلورسنس رودامین B نیز ابتدا محلولی با غلظت ۹/۷ میکروگرم بر لیتر و شدت فلورسنس ۶۶۳/۹۶ تهیه شد. شکل ۵-۴۵ پیک برانگیختگی و پرتودهی رودامین B را در شرایط اولیه نشان می‌دهد. سپس طی دو مرحله مخلوط شستشوی A و B به حجم مشخصی از محلول اولیه رودامین B اضافه شد (با نسبت ۱ به ۱۰) و منحنی مربوط به طیف برانگیختگی و پرتودهی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵-۴۶ رودامین B و مخلوط شستشوی A و مخلوط شستشوی B را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل‌ها مشخص است پیک پرتودهی رودامین B پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی A و B مجدداً در ۵۸۰ نانومتر ظاهر گردید. لذا می‌توان نتیجه گرفت که مخلوط‌های شستشو اثری بر رودامین B نداشته و تغییری در طول موج پرتودهی آن به وجود نمی‌آورند.



شکل ۵-۴۵- پیک برانگیختگی و پرتودهی رودامین B در شرایط اولیه



شکل ۵-۴۶- پیک پرتودهی رودامین B پس از مخلوط شدن با مخلوط شستشوی A (سمت راست) و B (سمت چپ)

فصل ششم
نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی تاثیر شرایط مختلف طبیعی و غیرطبیعی بر کارایی ردیاب‌های مختلف در مطالعات منابع آب پرداخته شده است.

▪ **اثر pH:** بررسی رفتار ردیاب‌ها در pH های مختلف نشان داد که اورانین به شدت تحت تاثیر pH محیط قرار می‌گیرد به نحوی که در محیط‌های اسیدی خاصیت فلورسنس خود را به طور کلی از دست می‌دهد در حالی که با تغییر شرایط به قلیایی فلورسنس آن نه تنها به مقدار اولیه باز می‌گردد بلکه به چند برابر این مقدار نیز می‌رسد. بنابراین، توجه به pH آب در مطالعات ردیابی در آبخوان‌های با pH غیر خنثی مثل سیستم‌های هیدروترمال اهمیت بسیار زیادی دارد. ائوزین و رودامین B در برابر تغییرات pH نسبت به اورانین کمتر تحت تاثیر قرار گرفته و در شرایط بسیار اسیدی (pH کمتر از ۴ و ۵) تنها بخشی از فلورسنس خود را از دست می‌دهند. در مورد نمک خوراکی و نمک پتاسیم، اگر pH محیط به کمتر از سه و یا بیشتر از دوازده برسد، هدایت الکتریکی محلول به نحو چشمگیری افزایش می‌یابد. در بازه pH سه تا دوازده تغییر چندانی در هدایت الکتریکی این دو ردیاب دیده نمی‌شود. شدت رنگ محلول پرمنگنات پتاسیم تحت تاثیر pH محیط قرار نمی‌گیرد.

▪ **اثر نور:** ردیاب‌های فلورسنت را از نظر مقاومت در برابر نور خورشید می‌توان به صورت زیر رتبه‌بندی نمود:

$$\text{رودامین B} < \text{اورانین} < \text{ائوزین}$$

▪ بدین ترتیب رودامین B از بین ردیاب‌های فلورسنت مقاوم‌ترین ردیاب از نظر تجزیه فتوشیمیایی در برابر نور خورشید می‌باشد، در حالی که اورانین دارای مقاومت کمتر بوده و ائوزین کمترین مقاومت را در برابر تابش نور دارد. در اثر تابش نور خورشید در ردیاب‌های نمکی نیز تغییری به

وجود نمی‌آید. با تابش نور خورشید در مدت زمان بیش از یک روز پرمنگنات پتاسیم به دلیل به وجود آمدن رسوب اکسید منگنز خاصیت اولیه خود را از دست می‌دهد.

▪ **اثر دما:** اورانین و ائوزین دارای پایداری بسیار بالایی در دماهای مختلف می‌باشند و به راحتی می‌توان از آن‌ها به عنوان ردیاب در دماهای بالا نیز استفاده نمود. برخلاف این دو، افزایش دما به طور برگشت ناپذیری باعث از بین رفتن فلورسنس رودامین B می‌شود. رنگ محلول پرمنگنات پتاسیم در اثر افزایش دما تغییر کرده و رسوب اکسید منگنز را تشکیل می‌دهد. کلرید سدیم و پتاسیم نیز دارای پایداری قابل توجهی در دماهای بالا هستند.

▪ **اثر شوری:** افزایش شوری ناشی از کلرید سدیم باعث از بین رفتن بخشی از فلورسنس ائوزین می‌شود. افزایش شوری ناشی از هر دو نمک سدیم و پتاسیم باعث از بین رفتن بخش عمده فلورسنس رودامین B می‌گردد. در حالی که اورانین مقاومت بالایی را در برابر شوری نشان می‌دهد. محیط شور اثری بر محلول پرمنگنات پتاسیم ایجاد نمی‌کند.

▪ **جذب در محیط ریز دانه:** نتایج به دست آمده نشان داد که با افزایش غلظت اولیه ردیاب، درصد جذب کاهش می‌یابد. هم‌چنین از مهمترین عوامل افزایش درصد جذب ردیاب در یک محیط رسوبی افزایش مقدار رسوبات دانه ریز بویژه رس می‌باشد به طوری که وجود درصد کمی از آن نیز می‌تواند منجر به جذب مقدار زیادی از ردیاب شود. با مقایسه مقاومت ردیاب‌ها در برابر جذب در محیط ریزدانه می‌توان گفت که از بین ردیاب‌های فلورسنت رودامین B دارای کمترین مقاومت می‌باشد و به سرعت جذب رسوبات می‌شود. با توجه به کاتیونی بودن رودامین B و آنیونی بودن ائوزین و اورانین می‌توان گفت که رودامین B توسط بار منفی موجود در سطوح رسوبات ریز دانه جذب می‌شود که نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها را تأیید می‌کند. کلرید سدیم و کلرید پتاسیم نیز مقاومت نسبتاً خوبی در برابر جذب از خود نشان می‌دهند اما نسبت به ردیاب‌های اورانین و ائوزین بیشتر توسط محیط جذب می‌شوند. پرمنگنات پتاسیم دارای مقاومت نسبتاً

کمی در برابر جذب بوده و درصد بسیار زیادی از آن توسط رسوبات جذب محیط می‌شود. با توجه به نتایج به دست آمده، درصد جذب پرمنگنات به اندازه ردیاب‌های فلورسنت از غلظت اولیه ردیاب در محیط پیروی نمی‌کند و به طور کلی نمی‌توان آن را ردیاب مقاومی نسبت به جذب دانست. از بین ردیاب‌های انتخاب شده اورانین و ائوزین را می‌توان مقاوم‌ترین ردیاب‌ها در برابر جذب توسط محیط رسوبی دانست. با استفاده از نتایج به دست آمده ردیاب‌ها را می‌توان از نظر مقاومت در برابر جذب به صورت زیر رتبه‌بندی نمود:

ائوزین و اورانین < کلرید سدیم و کلرید پتاسیم < رودامین B و پرمنگنات پتاسیم

▪ **اثر زمان:** اگرچه گذشت مدت زمان حدود چند ساعت تغییر قابل توجهی در ویژگی فلورسنس ایجاد نمی‌کند اما گذشت مدت زمان بیش از چند روز می‌تواند منجر به از بین رفتن بخشی از فلورسنس در ردیاب‌های اورانین، ائوزین و رودامین B شود. بر خلاف ردیاب‌های فلورسنت فاکتور زمان تغییری در ویژگی‌های ردیاب‌های نمکی و پرمنگنات پتاسیم، حتی در بلند مدت نیز ایجاد نمی‌کند.

▪ **اثر کلر آزاد باقی مانده:** عوامل غیر طبیعی همچون وجود ترکیبات اکسیدکننده در آب مثل کلر آزاد حتی در غلظت‌های کم (حدود یک میلی‌گرم بر لیتر) نیز ردیاب‌های فلورسنت را در مدت زمان کوتاهی به شدت تحت تاثیر قرار داده و باعث از بین رفتن خاصیت فلورسنس آن‌ها می‌شود. این نوع مواد اثری بر ردیاب‌های نمکی و نیز پرمنگنات پتاسیم ندارند.

▪ **اثر آلودگی نفتی:** مواد فلورسنت در طول موج‌های نور مرئی برانگیخته می‌شوند در حالی که الکترون‌های نفت در نور فرابنفش خاصیت فلورسنس نشان می‌دهند، بنابراین حضور مواد نفتی تداخلی با مواد فلورسنت ایجاد نمی‌کند. هم چنین آلودگی نفتی تغییری در هدایت الکتریکی ردیاب‌های نمکی به وجود نیاورده و تاثیری در نتایج عملیات ردیابی نخواهد داشت و به سادگی می‌توان از این ردیاب‌ها در مناطق آلوده به مواد نفتی استفاده نمود. در حالی که درصد کمی از

آلودگی نفتی منجر به افزایش شدید شدت رنگ پرمنگنات به صورت کاذب شده و باعث ایجاد خطا در نتایج عملیات می‌شود.

▪ **تداخل ردیاب‌ها:** از بین ردیاب‌های فلورسنت اورانین و ائوزین همچنین، ائوزین و رودامین B با یکدیگر تداخل داشته و تعیین غلظت هر ردیاب به تنهایی نیاز به عملیات تکمیلی در آزمایشگاه دارد. استفاده از پرمنگنات پتاسیم نیز همراه ردیاب‌های فلورسنت مناسب نمی‌باشد زیرا پرمنگنات موجب از بین رفتن فلورسنس این مواد می‌شود. همان طور که اشاره شد به دلیل از بین رفتن فلورسنس رودامین B در محیط شور استفاده از این ردیاب به طور همزمان با ردیاب‌های نمکی مناسب نمی‌باشد. استفاده همزمان اورانین، ائوزین و پرمنگنات پتاسیم با ردیاب‌های نمکی نیز به عنوان اثر شوری بر ردیاب‌ها مورد بحث قرار گرفت.

▪ **اثر مخلوط‌های شستشو:** مخلوط‌های شستشوی ذغال فعال تغییر اندکی در ویژگی‌های طیفی ردیاب‌های فلورسنت به وجود می‌آورند و منجر به تغییر طیف فلورسنس در اورانین و ائوزین می‌شوند. به این ترتیب که حداکثر پرتودهی در اورانین از ۵۱۲ نانومتر به ۵۱۰ نانومتر و در ائوزین از ۵۳۰ نانومتر به ۵۳۴ نانومتر تغییر می‌کند.

۲-۶ پیشنهادها

با استناد به نتایج به دست آمده از این تحقیق پیشنهادهایی به شرح زیر به منظور استفاده از ردیاب مناسب در محیط‌های مختلف زمین شناسی، جلوگیری از آلودگی محیط زیست، تفسیر صحیح نتایج عملیات ردیابی که توجه به آن‌ها در مراحل مختلف عملیات از جمله طراحی عملیات، انتخاب ردیاب، شرایط نمونه برداری و نگهداری از آن‌ها و نیز سنجش نمونه‌ها در آزمایشگاه ضروری است.

▪ استفاده از اورانین در آبخوان‌های با pH غیر خنثی توصیه نمی‌شود. سنجش صحیح فلورسنس اورانین تنها در pH خنثی امکان پذیر می‌باشد. در محیط‌های کاملاً اسیدی نیز استفاده از

رودامین B و ائوزین در ردیابی‌های کمی توصیه نمی‌شود. در چنین شرایطی بهترین گزینه پرمنگنات پتاسیم خواهد بود.

▪ استفاده پرمنگنات پتاسیم، رودامین B، اورانین و بویژه ائوزین در ردیابی آب‌های سطحی و در معرض تابش نور خورشید مناسب نمی‌باشد. از بین ردیاب‌های فلورسنت استفاده از رودامین B به جای اورانین و ائوزین توصیه می‌شود. در چنین محیط‌هایی مناسب‌ترین ردیاب بویژه در فواصل کوتاه، کلرید سدیم یا پتاسیم می‌باشد.

▪ استفاده از ظروف تیره به منظور نگهداری نمونه‌ها به جز در مورد ردیاب‌های نمکی ضروری است.

▪ استفاده از رودامین B و پرمنگنات پتاسیم در آبخوان‌های گرمابی توصیه نمی‌شود. همچنین نمونه‌ها هنگام حمل به آزمایشگاه باید در دمای استاندارد نگهداری شده و مورد سنجش قرار بگیرند. به این ترتیب به منظور ردیابی در چشمه‌های آبگرم و یا محیط‌های گرمابی بکار گرفتن اورانین و ائوزین از ردیاب‌های فلورسنت و یا نمک سدیم و پتاسیم پیشنهاد می‌شود.

▪ رودامین B برای استفاده در مطالعات ردیابی آب‌های شور توصیه نمی‌شود. استفاده از ردیاب‌های نمکی نیز در چنین محیط‌هایی مناسب نیست زیرا مقدار بسیار زیادی از ردیاب مورد نیاز است و کنترل نتایج در چنین شرایطی به سادگی ممکن نیست. اورانین بهترین گزینه برای ردیابی در چنین مناطقی می‌باشد. استفاده از ائوزین در شوری ناشی از کلرید پتاسیم توصیه می‌شود.

▪ استفاده از رودامین B و پرمنگنات پتاسیم در ردیابی آب‌های زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی ریز دانه و سازندهای کارستی که مقادیر قابل توجهی از مواد دانه‌ریز رسی در حفاری‌ها نشان داده‌اند توصیه نمی‌شود. در ردیابی فواصل کم نیز می‌توان از کلرید سدیم، کلرید پتاسیم و در فاصله‌های کم‌تر از پرمنگنات پتاسیم استفاده نمود. اما برای ردیابی در یک ناحیه گسترده استفاده از ردیاب‌های فلورسنت مثل اورانین و ائوزین که مقاومت بیشتری به جذب دارند توصیه می‌شود.

▪ استفاده از ردیاب‌های فلورسنت در آب‌هایی که به دلایلی همچون مجاورت با شبکه آب شهری مشکوک به حضور کلر آزاد می‌باشد توصیه نمی‌شود.

▪ در صورت استفاده از روش رنگ سنجی برای سنجش مقدار ردیاب پرمنگنات پتاسیم استفاده از آن در محیط‌های آلوده به مواد نفتی توصیه نمی‌شود.

▪ در عملیات ردیابی که از چند نوع ردیاب به طور همزمان استفاده می‌شود باید توجه داشت که به دلیل تداخل اورانین و ائوزین با یکدیگر، استفاده از این دو ردیاب به طور همزمان مناسب نیست بویژه هنگامی که غلظت ردیاب‌ها ناچیز باشد تعیین غلظت این ردیاب‌ها به تنهایی بسیار دشوار خواهد بود. این موضوع در مورد ائوزین و رودامین B نیز صدق می‌کند.

▪ استفاده از پرمنگنات پتاسیم همراه ردیاب‌های فلورسنت مناسب نمی‌باشد زیرا پرمنگنات موجب از بین رفتن فلورسنس این مواد می‌شود.

▪ برای به دست آوردن حداکثر پرتودهی برای تشخیص ردیاب در غلظت‌های بسیار کم هنگام استفاده از مخلوط شستشوی A پیک پرتودهی اورانین و ائوزین به ترتیب در ۵۱۰ و ۵۳۴ نانومتر تنظیم شود.

▪ در نظر گرفتن فاکتور زمان سنجش ردیاب‌های فلورسنت بویژه هنگامی که نتایج کمی ردیابی مورد نظر باشد ضروری است.

با ارزیابی نتایج به دست آمده می‌توان گفت که تابش خورشید و جذب ردیاب توسط محیط رسوبی از عمده‌ترین فاکتورهایی است که ردیاب‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. بنابراین هنگام طراحی یک عملیات ردیابی توجه به موقعیت جغرافیایی، شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان و هیدروشیمی آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به نحوی که در نظر نگرفتن آن‌ها ممکن است به شکست پروژه منجر شود. نمونه آب منطقه مورد نظر برای آزمون ردیابی قبل از شروع عملیات بایستی مورد آنالیز قرار گرفته و علاوه بر هدایت الکتریکی، میزان یون‌ها و دما، از نظر وجود ترکیباتی مثل اکسیدکننده‌ها، مواد هیدروکربوری و ... مورد ارزیابی و آزمایش قرار بگیرد و در نهایت با توجه به این معیارها ردیاب و یا ردیاب‌های مناسب انتخاب شوند. ویژگی‌های مورد اشاره در مورد ردیاب‌های مختلف در جدول‌های ۱-۶، ۲-۶ و ۳-۶ نشان داده شده‌اند.

با مقایسه نتایج به دست آمده در این پژوهش با عملیات ردیابی پیشین در کشور، به نظر می‌رسد شاید یکی از دلایل عدم دریافت ردیاب در نقاط نمونه برداری در برخی از این آزمون‌ها انتخاب نادرست ردیاب در این مناطق باشد. برای مثال استفاده از رودامین B به عنوان ردیاب در منطقه سد سلمان فارسی که وجود سیستم گرمابی و دمای بالای آب زیرزمینی در ساحل چپ ساختگاه سد به اثبات رسیده بود گزینه مناسبی نبوده است. همچنین استفاده از نمک برای شستشوی گمانه تزریق با توجه به افزایش شدید شوری در محل یکی از دلایل کاهش فلورسنس ردیاب بوده است. در عملیات ردیابی در ساختگاه سد رودبار لرستان نیز احتمالاً انتخاب رودامین B برای تزریق در تکیه‌گاه چپ با توجه به گسترش آهک‌های مارنی در محل و احتمال جذب این ردیاب در سازند مزبور دلیل عدم ظهور رودامین B در نقاط نمونه برداری متعدد در عملیات ردیابی سد رودبار لرستان بوده است.

با توجه به این که هزینه تمام شده برای تأمین ردیاب مورد نظر یکی از فاکتورهای تعیین کننده و مهم در برنامه‌ریزی‌های یک پروژه ردیابی می‌باشد، بررسی هزینه مقدار مناسب از هر ردیاب و مقادیر استفاده شده از ردیاب‌های مزبور در آزمون‌های ردیابی پیشین کشور نشان می‌دهد از بین ردیاب‌های فلورسنت مورد بررسی در این پژوهش، ائوزین و رودامین B گران‌ترین و غیر اقتصادی‌ترین ردیاب‌ها بوده و در شرایط از نظر فنی مساوی، اورانین بسیار اقتصادی‌تر بوده و ترجیح داده می‌شود. در بین ردیاب‌های غیر فلورسنت نیز از دید اقتصادی به ترتیب نمک خوراکی، نمک پتاسیم و پرمنگنات توصیه می‌شوند. البته باید به این نکته توجه داشت که این نتایج مطلق و قطعی نبوده در مواردی ممکن است با توجه به سایر جوانب کار مثل مسائل اجتماعی ردیابی و یا هزینه مورد نظر استفاده از یک ردیاب به جای دیگری ترجیح داده شود. با توجه به نتایج بدست آمده در این پژوهش، محورهای زیر به عنوان موضوع‌های پژوهشی مرتبط در ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شود:

- ارزیابی اثر جنس رسوبات بر میزان جذب ردیاب‌ها و مقایسه ردیاب‌ها با یکدیگر
- بررسی فاکتورهای فشار آب منفذی و فشار CO_2 بر ردیاب
- بررسی اثر جذب در محیط ریز دانه در شرایط یکسان صحرایی بر روی ردیاب‌های مختلف

جدول ۶-۱- بررسی تداخل ردیاب‌ها به منظور انتخاب ردیاب‌های مناسب برای استفاده همزمان از چند ردیاب

ردیاب	اُتوزین	رودامین B	کلرید سدیم	کلرید پتاسیم	پرمنگنات پتاسیم
اورانین	تداخل دارند حذف تداخل با عملیات تکمیلی در آزمایشگاه	تداخل ندارند	تداخل ندارند	تداخل ندارند	تداخل دارند اورانین از بین می‌رود
اُتوزین	تداخل دارند	تداخل دارند حذف تداخل با عملیات تکمیلی در آزمایشگاه	تداخل دارند بخشی از اُتوزین از بین می‌رود	تداخل ندارند	تداخل دارند اُتوزین از بین می‌رود
رودامین B	تداخل ندارند	تداخل دارند	تداخل دارند رودامین B از بین می‌رود	تداخل دارند رودامین B از بین می‌رود	تداخل دارند رودامین B از بین می‌رود
کلرید سدیم	تداخل ندارند	تداخل ندارند	تداخل ندارند	تداخل ندارند به شرط اندازه‌گیری غلظت یون	تداخل ندارند به شرط اندازه‌گیری غلظت یون
کلرید پتاسیم	تداخل ندارند	تداخل ندارند	تداخل ندارند	تداخل ندارند به شرط اندازه‌گیری غلظت یون	تداخل ندارند به شرط اندازه‌گیری غلظت یون

جدول ۶-۲- معرفی محیط‌های مناسب و نامناسب ردیاب‌ها

ردیاب	محیط مناسب	محیط نامناسب
اورانین	<ul style="list-style-type: none"> آبرفت‌های ریز دانه و یا کارست‌های حاوی رس و دارای سیستم جریان افشان سواحل دریا، محیط دریاچه‌ای و ذخایر آب شور سیستم‌های گرمابی و چشمه‌های آب گرم مناطق آلوده به مواد نفتی 	<ul style="list-style-type: none"> ردیابی آب‌های سطحی آبخوان‌هایی که دارای pH غیر خنثی می‌باشند مناطق آلوده به کلر آزاد ناشی از تصفیه فاضلاب‌ها
اُتوزین	<ul style="list-style-type: none"> آبرفت‌های ریز دانه و یا کارست‌های حاوی رس و دارای سیستم جریان افشان سیستم‌های گرمابی و چشمه‌های آب گرم مناطق آلوده به مواد نفتی 	<ul style="list-style-type: none"> ردیابی آب‌های سطحی آبخوان‌هایی با شوری ناشی از کلرید سدیم مناطق آلوده به کلر آزاد ناشی از تصفیه فاضلاب‌ها محیط کاملاً اسیدی
رودامین B	<ul style="list-style-type: none"> ردیابی آب‌های سطحی در فواصل کوتاه مناطق آلوده به مواد نفتی 	<ul style="list-style-type: none"> آبرفت‌های ریز دانه و یا کارست‌های حاوی رس و دارای سیستم جریان افشان سواحل دریا، محیط دریاچه‌ای و ذخایر آب شور سیستم‌های گرمابی و چشمه‌های آب گرم مناطق آلوده به کلر آزاد ناشی از تصفیه فاضلاب‌ها محیط کاملاً اسیدی
کلرید سدیم و کلرید پتاسیم	<ul style="list-style-type: none"> ردیابی در فواصل کوتاه ردیابی آب‌های سطحی سیستم‌های گرمابی و چشمه‌های آب گرم مناطق آلوده به کلر آزاد ناشی از تصفیه فاضلاب‌ها مناطق آلوده به مواد نفتی 	<ul style="list-style-type: none"> ردیابی در مناطق وسیع و به طور گسترده آبرفت‌های بسیار ریز دانه و یا کارست‌های حاوی رس سواحل دریا، محیط دریاچه‌ای و ذخایر آب شور
پرمنگنات پتاسیم	<ul style="list-style-type: none"> آبخوان‌ها با pH غیر خنثی در فواصل بسیار کوتاه سواحل دریا، محیط دریاچه‌ای و ذخایر آب شور مناطق آلوده به کلر آزاد ناشی از تصفیه فاضلاب‌ها مدل‌های آزمایشگاهی 	<ul style="list-style-type: none"> ردیابی در مناطق وسیع و به طور گسترده آبرفت و محیط‌های رسوبی حاوی مواد ریزدانه ردیابی آب‌های سطحی سیستم‌های گرمابی و چشمه‌های آب گرم مناطق آلوده به مواد نفتی

جدول ۶-۳- کارایی ردیاب‌ها در شرایط محیطی و مصنوعی مختلف

++: کاملاً مناسب +: مناسب -: تقریباً مناسب --: تقریباً نامناسب ---: کاملاً نامناسب								
ردیاب	شرایط مختلف محیطی و عوامل مصنوعی							
	pH اسیدی	pH قلیایی	نور	دما	شوری	جذب در محیط ریز دانه	کلر آزاد	نفت
اورانین	-	+	-	++	++	+	--	++
	▪ قابل استفاده به شرط سنجش نمونه‌ها در pH خنثی	▪ افزایش شدید فلورسنس لزوم سنجش در pH خنثی برای ردیابی‌های کمی	▪ قابل استفاده در کوتاه مدت	▪ پایدار در دماهای بسیار بالا	▪ پایدار در محیط‌های بسیار شور	▪ پایدار	▪ خاموشی سریع فلورسنس در اثر وجود اکسید کننده	▪ بدون تاثیر حتی در آلودگی شدید نفتی
انوزین	+	+	--	++	+	++	--	++
	▪ کاهش نسبی فلورسنس در pH کمتر از ۴	▪ بدون تغییر در محیط قلیایی	▪ خاموشی بسیار سریع فلورسنس در نور	▪ پایدار در دماهای بسیار بالا	▪ پایدار در شوری ناشی از کلرید پتاسیم و تا حدودی در شوری ناشی از کلرید سدیم	▪ پایدار	▪ خاموشی بسیار سریع فلورسنس در اثر وجود اکسید کننده	▪ بدون تاثیر حتی در آلودگی شدید نفتی
رودامین B	+	+	-	-	-	--	--	++
	▪ کاهش نسبی فلورسنس در pH کمتر از ۵	▪ بدون تغییر در محیط قلیایی	▪ قابل استفاده در کوتاه مدت	▪ کاهش فلورسنس با افزایش دما	▪ کاهش فلورسنس با افزایش شوری محیط	▪ جذب بسیار شدید	▪ خاموشی سریع فلورسنس در اثر وجود اکسید کننده	▪ بدون تاثیر حتی در آلودگی شدید نفتی
کلرید سدیم	+	+	++	++	--	-	+	++
	▪ لزوم سنجش غلظت ردیاب در pH بیشتر از ۱۲ برای ردیابی‌های کمی	▪ لزوم سنجش غلظت ردیاب در pH بیشتر از ۱۲ برای ردیابی‌های کمی	▪ پایدار در بلند مدت	▪ پایدار در دماهای بسیار بالا	▪ لزوم استفاده از مقدار زیاد ردیاب به منظور غلبه بر غلظت زمینه	▪ بخشی از آن توسط محیط جذب می‌شود	▪ بدون تاثیر بر هدایت الکتریکی محلول	▪ بدون تاثیر حتی در آلودگی شدید نفتی
کلرید پتاسیم	+	+	++	++	--	-	+	++
	▪ لزوم سنجش غلظت ردیاب در pH کمتر از ۳ برای ردیابی‌های کمی	▪ لزوم سنجش غلظت ردیاب در pH بیشتر از ۱۲ برای ردیابی‌های کمی	▪ پایدار در بلند مدت	▪ پایدار در دماهای بسیار بالا	▪ لزوم استفاده از مقدار زیاد ردیاب به منظور غلبه بر غلظت زمینه	▪ بخشی از آن توسط محیط جذب می‌شود	▪ بدون تاثیر بر هدایت الکتریکی محلول	▪ بدون تاثیر حتی در آلودگی شدید نفتی
پرمنگنات پتاسیم	+	+	-	-	+	--	+	-
	▪ بدون تغییر در شدت رنگ حتی در محیط کاملاً اسیدی	▪ بدون تغییر در شدت رنگ حتی در محیط کاملاً قلیایی	▪ قابل استفاده در دوره زمانی کوتاه	▪ قابل استفاده در دوره زمانی کوتاه	▪ بدون تاثیر بر شدت رنگ محلول	▪ کاهش بسیار شدید شدت رنگ محلول	▪ بدون تاثیر بر شدت رنگ محلول	▪ ایجاد رنگ کاذب و تداخل

فهرست منابع

منابع فارسی:

- اسدپور حسن‌آباد، ر، (۱۳۸۰)، پایان‌نامه ارشد، بررسی هیدروژنولوزی کارست در تاقدیس راوندی سد سیمره با استفاده از ماده رنگی رودامین B، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.
- افتخاری، ع، (۱۳۷۲)، پایان‌نامه ارشد، کاربرد ردیاب‌های رنگی در بررسی خصوصیات هیدروژنولوزیکی منطقه کارستی سپیدان فارس، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.
- امیریگی، ح، (۱۳۸۲)، **اصول تصفیه و بهداشت آب**، انتشارات اندیشه رفیع، تهران.
- بذگر، الف، (۱۳۸۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مطالعه پدیده‌های انتشار، پخش و نفوذ آب شور در سفره آبرفتی مجاور سفره کارستی رحمت، با استفاده از ردیاب رنگی اورانین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز.
- تقوایی پور، الف، (۱۳۸۰)، **آنالیز آب**، انتشارات دانشگاه اراک، اراک.
- خانلری، غ، حیدری، م، موسیوند، م، (۱۳۸۵)، ارزیابی هیدروژنولوزیکی سد گرین نهاوند با استفاده از ردیاب‌های رنگی، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- استاندارد دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات آبخوان‌های آبرفتی (نشریه شماره ۲۶۳- الف)، (۱۳۸۲)، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو.
- استاندارد دستورالعمل کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات کارست و سازندهای سخت (نشریه شماره ۲۵۷- الف)، (۱۳۸۲)، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو.
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، گزارش مطالعات ردیابی ساختگاه سد سلمان فارسی (قیر)، (۱۳۷۶).
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی و ایزوتوپی در ساختگاه سد و نیروگاه رودبار لرستان، (۱۳۷۸).
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی سراب کاوات (جوانرود-باختران)، (۱۳۶۵).
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، خلاصه‌ای از بررسی‌های اکتشافی با استفاده از ایزوتوپ‌های محیطی و مواد رنگی، (۱۳۷۳).
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی منابع آب زیرزمینی دره لیتو، (۱۳۶۶).
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی منطقه سد رسوبگیر مجتمع مس سرچشمه کرمان، (۱۳۶۹).
- مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی منطقه سد پانزده خرداد، (۱۳۶۹).

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی سایت سد میرزای شیرازی، (۱۳۷۲).

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، گزارش مطالعات ردیابی ساختگاه سد هینی مینی، (۱۳۷۴).

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، تشخیص تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی از آبهای سطحی مناطق آبرفتی و کارستیک دشت ارژن از طریق روش‌های ردیابی (ایزوتوپهای محیطی و ردیاب‌های مصنوعی)، (۱۳۷۵).

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی ساختگاه سد کوثر (تنگ دوک) بهبهان، (۱۳۷۶).

ردیابی مسیر فرار آب در تکیه‌گاه چپ سد مارون (بهبهان)، (۱۳۷۶)، مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو.

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، گزارش مطالعات ردیابی رنگی و ایزوتوپی ساختگاه سد هواسان، (۱۳۷۸).

شرکت فناوری آب و محیط زیست، گروه مطالعات میدانی و محیط زیست، مطالعات ایزوتوپی و ردیابی رنگی در ساختگاه سد گلورد نکا، (۱۳۸۴).

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، گزارش مطالعات ردیابی ساختگاه سد میرزای شیرازی کوار (مرحله دوم)، (۱۳۷۴).

مؤسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو، مطالعات ردیابی و ایزوتوپی در گستره ساختگاه سد تنگ شمیران، (۱۳۷۸).

منابع لاتین:

- Aboud K. A. Lawler J. P. Disco M. D. (۱۹۶۹) "Utility of Radioisotope Methodology in Estuary Pollution Control Study; ۱: Evaluation of the Use of Radioisotopes and Fluorescent Dyes for Determining Longitudinal Dispersion" Report NYO-۳۹۶۱-۱, US Atomic Energy Commission, New York. pp ۱۷۹.
- Aley T. (۱۹۹۹) "Ground Water Tracing Hand Book" The Ozark underground laboratories, pp ۵-۲۳.
- Ammann, A. Hoehn, E. and Koch, S. (۲۰۰۳) "Ground water pollution by roof runoff infiltration evidenced whit multi-tracer experiments" **Journal of Water Research**, ۳۷, pp ۱۱۴۳-۱۱۵۳.
- ASTM. (۲۰۰۰) "Annual Book of ASTM Standards Water and Environmental Technology" Volume ۱۱.۰۱ water (I), pp ۸۸-۹۴.
- Atkinson T. C. and Bukowiecki A. A. (۲۰۰۰) "Sorption of fluorobenzoic acids on peat and kaolinite. In: A. Dassargues, Editor, Tracers and Modelling in Hydrogeology" **International Association Sciences Hydrology**, ۲۶۲, pp ۱۸۷-۱۹۴.
- Avilov S. V. Bode C. Tolgyesi F. G. Klymchenko A. S. Fidy J. Demchenko A. P. (۲۰۰۵) "Temperature Effect on α -Crystalline Structure Probed by ۶-Bromomethyl-۲-(۲-furanyl)-۳-hydroxychromone, an

- environmentally sensitive low wavelength fluorescent Dye Covalently Attached to the Single Residue" **International Journal of Biological Macromolecules**, 36, 8, pp 290–298.
- Benischke R. (2001) "Fluorescent Tracers in Hydrology Principles, Instrumentation, Physico-Chemical Properties, Analytics" Vol. 1, Institute of hydrogeology geothermic, Joanneum Research, Elisabethstraße 16/II, A-8010 Graz, Austria.
- Benischke R. (2005) "Fluorescent Tracers in Hydrology Principles, Instrumentation, Physico-Chemical properties, Analytics" Vol. 2, Institute of water resources management, Hydrogeology & Geophysics, Joanneum research, Elisabethstraße 16/II, A-8010 Graz, Austria.
- Bürgisser C. S. Cernilk M. Borkovec M. Sticher H. (1993) "Determination of nonlinear adsorption isotherms from column experiments: an alternative to batch studies" **Environmental Science & Technology**, 27, pp 943–948.
- Buzády, A. Erostyák, J. and Paál, G. (2006) "Determination of uranine tracer dye from underground water of Mecsek Hill, Hungary" **Journal of Biochemical and Biophysical Methods**, 69, 1–2, pp 207–214.
- Charideh A. Rahman A. (2007) "Environmental isotopic and hydrochemical study of water in the karst aquifer and submarine springs of the Syrian coast" **Hydrogeology Journal**, 18, pp 351–364.
- Clark and Byron (1988) "Drug absorption from inhalation aerosols administered by positive-pressure ventilation. II: Effect of disodium fluorescein aerosol particle size on fluorescein absorption kinetics in the beagle dog respiratory tract" **Journal of Pharmaceutical Sciences**, 77, 9, pp 932–942.
- Davis S. N. Campbell D. J. Bentley H. W. Flynn T. J. (1988) "Ground Water Tracers" National Water Well Association, Worthington Ohio, pp 200.
- Davis S. N. Thompson G. M. Bentley H. W. and Stiles G. (1980) "Ground Water Tracers a Short Review" **Ground water**, 18, 1, pp 14–23.
- Deaner D. G. (1973) "Effect of Chlorine on Fluorescent Dyes" **Water pollution Control Federation**, 45, 3, pp 507–514.
- Dole R. B. Fuller M. L. (1906) "Use of Fluorescein in the Study of Underground Waters" **Underground water papers**, pp 160.

- Dolenko, T. A. Fadeev, V. V. Gerdova, I. V. Dolenko S. A. Rainer R. (2002) "Fluorescence diagnostics of oil pollution in coastal marine waters by use of artificial neural networks" **Applied Optics** **Lp**, 41, 24, pp 5155-5166.
- Draw D. P. (1968) " A Study of the Limestone Hydrology of the St. Dunstan's Well and Ashwick Drainage Basins Eastern Mendip" **Proc. Univ. Bristol Speleol. Soc.** 11, 3, pp 257-276.
- Dunn B. and Vaupel, D. E. (1965) "Effect of Sample and Fluorometer Compartment Temperatures on Fluorometer Reading" **United State Geological Survey**, 525, pp 225-227.
- Einsiedl F. (2005) "Flow System dynamics and water storage of a fissured – porous karst aquifer characterized by artificial and environmental tracers" **Journal of Hydrology**, 312, 1-4, pp 312-321.
- Faria P. C. C. Orfao J. J. M. Pereira M. F. R. (2004) "Adsorption of Anionic and Cationic Dyes on Activated Carbons with Different Surface Chemistries" **Water Research**, 38, 8, pp 2043-2052.
- Feuerstein D. L. and Selleck R. E. (1963) "Fluorescent tracers for dispersion measurements" **Journal of the Sanitary Engineering Division, American Society of Civil Engineers**, 89, SS4, pp 1-21.
- Flury M. Flühler H. (1995) "Tracer characteristics of brilliant blue FCF" **Soil Science Society of America**, 59 pp 22-27.
- Ford D. C. and Williams P. W. (1989) "**Karst Geomorphology and Hydrology**" Academic Division of Unwin Hyman Ltd, London, pp 601.
- Ford D. C. and Williams P. W. (1992) "**Karst geomorphology and hydrology**" Academic, Chichester, England; a Hoboken, NJ: John Wiley, pp 554.
- Griffioen J. Appelo C. A. J. Veldhuizen M. V. (1992) "Practice of chromatography: deriving isotherms from elution curves" **Soil Science Society of America**, 56, pp 1429-1437.
- Hogan R. N. and Zimmerman C. F. (1997) "**Sodium Fluorescein and other Tissue Dyes**" Text book of ocular pharmacology, Lippincott-Raven, Philadelphia.
- Igler B. A. Totsche K. U. Knabner P. (1998) "Identification of nonlinear sorption isotherms by soil column breakthrough experiments" **Physics and Chemistry of the Earth**, 23, pp 215-219.
- Jeffrey, L. I. and Berian, S. F. (2001) "Using dye-tracing and chemical analyses to determine effects of a wastewater discharge to jam up creek on water quality of big spring southeastern Missouri" **U.S. Geological Survey (USGS)**, "<http://mo.water.usgs.gov>".

- Käss W. (1998) "Tracing Technique in Geohydrology" Umkirch, LKr. Breisgau-Hochschwarzwald, Germany.
- Ketelsen H. Meyer-Windel S. (1999) "Adsorption of Brilliant Blue FCF by soil" **Geoderma**, 90, pp 131-145.
- Kola L. and Amataj S. (2006) "The Influence of Some Chemical and Physical Parameters of Water Samples on Spectral Determinations of Fluorescent Dyes" **Bulletin of the Chemists and Technologists of Macedonia**. 25 2, pp 107-112.
- Kyriakidis N. B. and Skarkalis P. (2000) "Fluorescence spectra measurement of olive oil and other vegetable oils" **Journal Of. AOAC INTERNATIONAL**, 83, 6, pp 1435-1439.
- Laughlin M. J. (1982) "A review on the use of dyes as soil water tracers" **Water SA**, 8, 4, pp 196-201.
- Lindqvist L. (1960) "A flash photolysis study of fluorescein" **Ark. Kemi**. 16, 8, pp 99-137.
- Liu ch. H. Wu J. sh. Chiu H. Ch. suen Sh. Y. Chu Kh. H. (2007) "Removal of anionic reactive dyes from water using anion exchange membranes as adsorbers" **Water Research**, 41, pp 1491-1500.
- Lloyd J. B. F. (1971) "Synchronized Excitation of fluorescence emission spectra" **Nature Physical Science**, 231, pp 64.
- Lyons R. G. (1993) "Identification and Separation of Water Tracing Dyes Using pH Responses Characteristics" **Journal of Hydrology**. 152, 1-4, pp 13-29.
- Molares T. Valderrama I. F. Uriarte J. A. Antigüedad I. Olazar M. (2007) "Predicting travel times and transport characterization in karst conduits by analyzing tracer-breakthrough curves" **Journal of Hydrology**, 334, 1-2, pp 183-198.
- Mon J. Flury M. Harsh J. B. (2006) "Sorption of four trarylmethan dyes in a sandy soil determined by batch and column experiments" **Geoderma**, 133, 3-4, pp 217-224.
- Müller K. Duwig C. Delmas P. Morin H. Ren K. prado B. Woodward A. (2008) "Quantifying Fluorescent Tracer Distribution in Allophonic Soils to Image Solute Transport" **European Journal of Soil Science**, 59, 1, pp 94-102.
- Niven and Byron (1990) "Solute absorption from the airways of the isolated rat lung. II: Effect of surfactants on absorption of fluorescein" **Pharmaceutical Research**, 7, 1, pp 8-13.
- Pritchard D. W. and Carpenter J. H. (1960) "Measurement of turbulent diffusion in estuarine and inshore water" **Bulletin International Association Sciences Hydrology**, 20, pp 37-50.

- Reynolds E. R. C. (1966) "The percolation of rain water through soil demonstrated by fluorescent dyes" **European Journal of Soil Science**, 17, 1, pp 127-132.
- Ryder A. G. Lewanski Ph. Montanari L. (2004) "Light emission of oil a valuable information source for petroleum analysis" **TPoint**, 2, pp 9-14.
- Scanlan J. W. (1968) "Evaluation and application of dye tracing in a karst terrain" M. Sc thesis, University of Missouri, Rolla.
- Scott C. H. Norman V. W. Field F. K. (1969) "Reduction of Fluorescence of two Tracer Dyes by Contact whit Fine Sediment" **Geological Survey Research**, 65-B, pp 164-168.
- Seiler K. Maloszewski P. Behrens H (1989) "Hydrodynamic dispersion in karstified limestones and dolomites in the upper Jurassic of the Franconia Alb" **Journal of Hydrology**, 108, pp 235-247.
- Shiau B. Sabatini D. A. Harwell J. H. (1993) "Influence of rhodamine WT properties on sorption and transport in subsurface media" **Ground water**, 31, pp 913-92.
- Smart P. L. (1984) "A Review of the Toxicity of Twelve Fluorescent Dyes Used for Water Tracing" **The NSS Bulletin, Journal of Caves and Karst Studies**, 46, 2, pp 21-33.
- Smart P. L. and Laidlaw I. M. S. (1977) "An Evaluation of Some Fluorescent Dyes for Water Tracing" **Water Resources Research**, 13, 1, pp 15-33.
- Smettem K. R. J. and Trudgill, S. T. (1983) "An Evaluation of Some Fluorescent and Non Fluorescent Dye in the Identification of Water Transmission" **European Soil Science**, 34, 1, pp 45-56.
- Talbot J. W. and Henry J. L. (1968) "The Adsorption of Rhodamine-B on to Materials Carried in Suspension by Inshore Waters" **ICES Journal of Marine Science**, 32, 1, pp 7-15.
- Tanthapanichakoon W. Ariyadejwanich P. Japthong P. Nakagawa K. Mukai S.R. Tamon H. (2005) "Adsorption-desorption characteristics of phenol and reactive dyes from aqueous solution on mesoporous activated carbon prepared from waste tires " **Water Research**, 39, 7, pp 1347-1353.
- Thornton R. D. and Light T. S. (1989) "A new approach to accurate resistivity measurement of high purity water" **Ultrapure water**, 6, 5, pp 14-26.
- Watt J. P. C. (1969) " **Development of the Dye Dilution Method for Measuring Water Yields from Mountain Watersheds**" Master's thesis for Colorado State Univ., Fort Collins, CO.
- Weight W. D. Sonderegger J. L. (2001) "**Manual of Applied Field Hydrogeology**" McGraw-Hill, New York, pp 608.

- Weiler M. and Flühler H. (۲۰۰۳) "Inferring flow types from dye patterns in macroporous soils" **Journal of Geoderma**, ۱۲, ۱-۲, pp ۱۳۷-۱۵۳.
- Wilson J. F. Cobb J. E. Kilpatrick F. A. (۱۹۶۸) " **Fluorometric procedures for dye tracing in techniques of water resources United State Geological Survey**" Applications of Hydraulics, pp ۴۲.
- Wolfbeis O. S. Furlinger E. Kroneis H. Marsoner. (۱۹۸۳) "Fluorimetric analysis: ۱. A study on fluorescent indicators for measuring near neutral ("Physiological") pH-values" **Fresenius Journal of Analytical Chemistry** ۳۱۴, ۱۲, pp ۱۱۹-۱۲۴.
- Wright R. R. and Collings M. R. (۱۹۶۴) "Application of fluorescent tracing techniques to hydrologic studies" **Journal Amer. Water Work Assoc.** ۵۶, ۶, pp ۷۴۸-۷۵۵.
- Yates W. E. and Akesson N. B. (۱۹۶۳) "Fluorescent tracers for quantitative micro residue analysis" **Transactions of the ASAE**, ۶, pp ۱۰۵-۱۱۴.

Abstract

Tracing is one of the most precise and reliable methods in hydrogeology. It is an important task to select a proper tracer. To achieve this aim, it is necessary to have enough knowledge of the physical and chemical behaviors of various tracers in different field conditions. In this research, the effects of environmental factors such as pH, sunlight, temperature, salinity, time on different tracers as well as adsorption of tracers onto porous media are discussed. Also, the impacts of artificial factors such as free color, hydrocarbon pollutants and mixing on a number of common tracers that are currently in use in Iran are evaluated.

Different categories of tracers such as Uranine, Eosin and RhodamineB (Fluorescent tracers), NaCl and KCl (Chemical tracers) and KMnO_4 (Non fluorescent dye tracer) have been selected for this study. The result of the experiments show that Uranine losses its fluorescence in acid environments, while in alkaline conditions its fluorescence increases. The results also show that because of photochemical decay, Eosin is the most unstable tracer if subjected to sun light. KMnO_4 turn to brown under sun light and higher temperature conditions and may lose its tracing capability. The fluorescence intensity of RhodamineB decreases with increasing temperature and NaCl and KCl induced salinity. Uranine and Eosin have high resistance against high temperature and salinity.

An important factor in ground water tracing is tracer adsorption in porous media environment. RhodamineB is a cationic tracer and is easily adsorbed. Uranine and Eosin have high resistance to adsorbing. KMnO_4 is adsorbed easily. Chlorine used in drinking water treatment facilities is a strong oxidizer even in low concentration. It can lead to elimination of fluorescence of both Uranine, Eosin and RhodamineB. Experiments regarding common hydrocarbon pollutants in groundwater show that the color intensity of KMnO_4 increases when percentage of oil are increased. However, presence of oil doesn't change fluorescence of Uranine, Eosin and RhodamineB. Also KMnO_4 causes these tracers to decay. Therefore simultaneous application of these tracers is not recommended.

Keyword: Groundwater tracing, Tracer, Environmental factors, pH, photo, Temperature, Adsorption, Oil pollution.