



The Impacts of Environmental Conditions on the Applicability of Selected Groundwater Tracers; A Laboratory Research

H. R. Jahani^{1*}, F. Jafari²,
Gh. A. Kazemi³ and Gh. H. Karami⁴

Abstract

In this research, the effects of a number of environmental factors such as pH, sunlight, temperature, salinity, free chlorine, and adsorption in porous media are evaluated on the applicability of selected groundwater tracers. Tracers from different categories as fluorescent dye tracers (uranine, eosin and rhodamine-B), chemical salts (NaCl and KCl), and non fluorescent dye tracer (KMnO₄) have been tested in the laboratory. The results showed that uranine losses its fluorescence in acid environments, while in alkaline conditions its fluorescence increases. The results also showed that due to photochemical decay, if subjected to sunlight, eosin is the most unstable tracer. KMnO₄ turns to brown under sunlight and high temperature conditions and may lose its usefulness as a tracer. Results also confirmed that the fluorescence intensity of rhodamine-B decreases as temperature and/or salinity increases. Uranine and eosin showed high resistance against high temperature and high salinity conditions. An important factor in groundwater tracing is adsorption of tracer in porous media environment. Our research showed that rhodamine-B would easily be adsorbed to fine grain porous media while uranine and eosin high resist against adsorption. KMnO₄ is also easily adsorbed. Chlorine used in drinking water treatment is strongly oxidizing even in low concentrations and can lead to the elimination of fluorescence of uranine, eosin and rhodamine-B.

Keywords: Groundwater tracing, Tracer, pH, Sunlight, Temperature, Salinity, Free chlorine, Adsorption.

ارزیابی آزمایشگاهی تأثیر برخی شرایط محیطی بر ویژگی‌های تعدادی از ردیاب‌های منتخب به منظور کاربرد در مطالعات ردیابی منابع آب

حمیدرضا جهانی^{۱*}، فاطمه جعفری^۲،
غلامعباس کاظمی^۳ و غلامحسین کریمی^۴

چکیده

امروزه عملیات ردیابی از کاربردی‌ترین روش‌های موجود در هیدروژئولوژی است که در آن انتخاب ردیاب مناسب از مهمترین عواملی است که موفقیت مطالعات وابستگی زیادی به آن دارد. در انتخاب ردیاب مناسب، شناخت کافی از رفتار ردیاب در شرایط محیطی مختلف ضروری است. در این مقاله اثر فاکتورهایی همچون pH، نور، دما، شوری، کلر آزاد و جذب در محیط متخلخل بر تعدادی از ردیاب‌های عمده‌ی مورد استفاده در مطالعات ردیابی شامل اورانین، اتوزین و رودامین B (از ردیاب‌های رنگی فلورسنت)، پرمنگنات پتاسیم (از ردیاب‌های رنگی غیر فلورسنت) و کلرید سدیم و پتاسیم (از ردیاب‌های نمکی) بررسی شد. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های متعدد تأیید کننده کاهش چشمگیر ویژگی فلورسنت اورانین در محیط اسیدی و افزایش این ویژگی در محیط قلیایی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که اتوزین 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 فلورسنت رودامین B در اثر افزایش دما و همچنین افزایش شوری ناشی از NaCl و KCl کاهش می‌یابد در حالی که اورانین و اتوزین در برابر افزایش دما و شوری محیط از مقاومت بالایی برخوردارند. در رابطه با جذب در محیط ریزدانه، نتایج نشان داد از میان ردیاب‌های رنگی، رودامین B و پرمنگنات پتاسیم در محیط ریزدانه به شدت جذب می‌شوند. در حالی که اورانین و اتوزین از مقاومت بالایی نسبت به جذب برخوردارند. کلر مورد استفاده در تصفیه آب می‌تواند به عنوان یک اکسید کننده قوی حتی در غلظت‌های کم نیز منجر به از بین رفتن ویژگی فلورسنت اورانین، اتوزین و رودامین B شود.

کلمات کلیدی: ردیابی آب‌های زیرزمینی، ردیاب، pH، نور، دما، شوری، کلر، جذب

تاریخ دریافت مقاله: ۵ مهر ۱۳۸۸
تاریخ پذیرش مقاله:

1- Hydrogeologist and member of the scientific board, Water Research Institute, Tehran, Iran., Email: h.jahani@wri.ac.ir
2- Hydrogeologist, Water Research Institute, Tehran, Iran, Email: fm_jafari@yahoo.com
3- Hydrogeologist and member of the scientific board, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Email: g_a_kazemi@shahroodut.ac.ir
4- Hydrogeologist and member of the scientific board, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, Email: Karamigh@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران
۲- کارشناس پژوهشی هیدروژئولوژی، مؤسسه تحقیقات آب، تهران، ایران
۳- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
۴- استادیار دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

رسوبات و نوع ردیاب اشاره کرد (Smart and Laidlaw, 1977). بر اساس تحقیقات مذکور می‌توان نتیجه گرفت شرایط محیطی تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های ردیاب‌ها خواهند داشت.

با گسترش دامنه کاربرد روش‌های ردیابی در مطالعات کمی و کیفی منابع آب و لزوم بهره‌گیری از ردیاب‌های گوناگون متناسب با نوع مطالعات، شناخت رفتار و کارایی ردیاب در شرایط مختلف محیطی و زمین‌شناسی نیز اهمیت بیشتری پیدا کرده است. ردیاب‌های انتخاب شده در این پژوهش شامل سه ردیاب از گروه ردیاب‌های رنگی فلورسنت شامل اورانین، اتوزین و رودامین B می‌باشد که جزو پرکاربردترین ردیاب‌های استفاده شده در مطالعات آب‌های زیرزمینی هستند. همچنین پرمنگنات پتاسیم (از ردیاب‌های رنگی غیر فلورسنت) به عنوان ردیابی که بویژه در فواصل کوتاه کاربرد داشته و از روش سنجش ساده و سریعی برخوردار است به عنوان ردیاب چهارم انتخاب شد. سرانجام کلرید سدیم و پتاسیم از گروه ردیاب‌های نمکی انتخاب شدند که امتیاز اصلی آن‌ها در مطالعات ردیابی سنجش آسان و سریع و همچنین دسترسی آسان به آن‌ها می‌باشد. ردیاب‌های مزبور در شرایط محیطی تغییرات pH، دما، نور، شوری، جذب در محیط متخلخل و اثر کلر آزاد مورد بررسی قرار گرفته و واکنش هر کدام با یکدیگر مقایسه شده و محدودیت‌ها و برتری‌های هر یک در شرایط گوناگون بررسی شد.

۲- مواد، روش‌ها و سیستم‌های سنجش آزمایشگاهی

۲-۱- مواد

ردیاب‌های بکارگرفته شده در این پژوهش شامل اورانین، اتوزین، رودامین B، کلرید سدیم، کلرید پتاسیم و پرمنگنات پتاسیم می‌باشد. مواد مورد استفاده برای انجام آنالیزها NaCl، KCl، NaOH و HCl بود. کلیه این مواد از محصولات کارخانه Merck تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. در آزمایش اثر کلر نیز به این دلیل که هدف آن بررسی اثر کلر باقی‌مانده حاصل از تصفیه آب بر ردیاب‌ها بود و نیز امکان تزریق کلر به صورت گازی در مقیاس آزمایشگاهی قابل وجود نداشت آب خروجی کلر زده شده تصفیه خانه شماره ۳ تهران بکارگرفته شد.

۲-۲- سیستم‌های سنجش

به منظور آشکارسازی ردیاب‌های فلورسنت (اورانین، اتوزین و رودامین B) از دستگاه اسپکتروفلوروفوتومتر Shimadzu مدل RF 1501 استفاده شد. به این ترتیب که برای هر ردیاب نمودار واسنجی تهیه شده و با تنظیم طول موج برانگیختگی و پرتودهی شدت

ردیاب نوعی ماده (یا انرژی) می‌باشد که به منظور تعیین توزیع زمانی و مکانی آب و مواد آلاینده آن در منابع آب بکار می‌رود (Davis et al., 1985). ردیابی در واقع یکی از روش‌های شناسایی خصوصیات هیدرولوژیکی منابع آب است که امروزه کاربرد بسیار گسترده‌ای دارد. از جمله مهمترین اهداف یک عملیات ردیابی تشخیص نقاط تغذیه و تخلیه آبخوان، بررسی ضریب پراکندگی آبخوان (Seiler et al., 1989)، تعیین جهت و سرعت حرکت آب زیرزمینی (Einsiedl, 2005; Morales et al., 2007)، کشف ارتباط هیدرولیکی منابع مختلف آب (Buzády et al., 2006)، بررسی آلودگی منابع آب (Imes and Fredrick, 2002; Ammann, 2003) بررسی تراوایی تکیه‌گاه سدها به منظور طراحی پرده آب بند و تشخیص درجه کارستی شدن آبخوان (اسدیور، ۱۳۸۰) را می‌توان نام برد.

از مهمترین فاکتورها که نقش اساسی در موفقیت یک پروژه ردیابی دارد شناخت ویژگی‌های ردیاب بکارگرفته شده و واکنش هر ردیاب در شرایط محیطی مختلف است. (Smart and Laidlaw 1977) کارایی هشت ردیاب رنگی فلورسنت آمینو جی اسید، فوتین CU، اورانین، لیسامین FF، پیرانین، رودامین B، رودامین WT و سولفورودامین B را در شرایط آزمایشگاهی و صحرائی مورد ارزیابی قرار دادند. Lindqvist (1960) تأثیر تغییرات pH بر شدت فلورسنس ردیاب‌های رنگی فلورسنت را مورد بررسی قرار داد. براساس این تحقیقات برخی ردیاب‌ها حساسیت زیادی در برابر pH دارند و در برخی شرایط از اختلاف رفتار ردیاب‌ها در pHهای مختلف در سنجش ردیاب‌هایی که بطور همزمان در مطالعات ردیابی بکار گرفته می‌شوند استفاده می‌شود (Benischke, 2005).

همچنین Deaner (1973) اثر غلظت کلر باقی مانده ناشی از تصفیه آب بر شدت فلورسنس رودامین WT و رودامین B را بررسی کرد. بررسی جذب ردیاب در محیط رسوبی نیز از دیگر فاکتورهای مورد بررسی توسط محققین مختلف می‌باشد. طبق نتایج این تحقیقات فرایند جذب ردیاب در محیط متخلخل عامل مهمی است که توجه به آن نقش عمده‌ای در عملکرد ردیاب داشته و استفاده از ردیاب‌ها را محدود می‌کند (Mon et al., 2006). همچنین انتخاب یک ردیاب مقاوم در مقابل جذب ضمن کمک به موفقیت عملیات ردیابی، در تفسیر درست نتایج به دست آمده نیز کمک می‌کند. جذب یک فرایند برگشت ناپذیر است که عوامل گوناگونی بر آن نقش دارند. از جمله این عوامل می‌توان به دما، درجه آشفستگی آب، نوع و دانه‌بندی

فلورسنس نمونه‌ها در شرایط گوناگون اندازه‌گیری می‌شد. اساس اندازه‌گیری فلورسنس در این دستگاه بر مبنای قانون لامبرت بیر (Benischke, 2005) می‌باشد. این قانون رابطه بین شدت فلورسنس را نسبت به غلظت رنگ و طول مسیر عبور نور نشان می‌دهد. برای سنجش کلرید سدیم و پتاسیم، پس از واسنجی هدایت الکتریکی با غلظت، هدایت الکتریکی محلول با دستگاهی به نام Multimeter Hach Sension 156 خوانده شد. برای سنجش پرمنگنات پتاسیم نیز دستگاه اسپکتروفتومتر Hach DR_2010 پس از واسنجی غلظت پرمنگنات در برابر شدت رنگ آن بکار گرفته شد. اساس اندازه‌گیری این دستگاه بر مبنای شدت نور عبوری از نمونه حاوی پرمنگنات پتاسیم می‌باشد.

۳-۲- روش انجام آزمایش‌ها

در هر مرحله از آنالیزها به منظور ارزیابی رفتار ردیاب با غلظت‌های متفاوت و اثر غلظت اولیه در نتیجه آزمایش‌ها، غلظت‌های مختلف و مشخص از هر ردیاب تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. این غلظت‌های اولیه بر مبنای بازه اندازه‌گیری دستگاه سنجنده هر ردیاب، و نوع آزمایش مورد نظر انتخاب می‌شد. یادآوری می‌شود کلیه آزمایش‌ها مطابق دستورالعمل روش استاندارد ASTM 2000 انجام شده است.

روش بررسی اثر pH: به منظور بررسی اثر pH بر ردیاب‌ها، ابتدا غلظت‌های مورد نظر برای هر ردیاب (در مورد ردیاب‌های فلورسنت از هر ردیاب غلظت‌های ۱، ۵ و ۱۰ ppb، نمک‌های کلرور سدیم و پتاسیم محلول‌های با هدایت الکتریکی ۱۵۰۰ و ۱۶۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر و پرمنگنات با غلظت رنگ ۱، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) تهیه و سپس بتدریج با افزایش محلول‌های HCl و NaOH شرایط اسیدی و قلیایی متفاوتی به تفکیک بر نمونه‌ها اعمال و در هر مرحله تغییرات غلظت ردیاب اندازه‌گیری شد. به این ترتیب نموداری از تغییرات غلظت در pH های مختلف به دست آمد.

روش بررسی اثر نور خورشید: برای بررسی اثر نور خورشید بر ردیاب‌ها، نمونه‌های تهیه شده در شرایط یکسان در برابر تابش نور خورشید قرار داده شدند. با گذشت زمان، غلظت هر ردیاب با روش‌های مربوطه اندازه‌گیری و نتیجه به صورت نمودارهای غلظت-زمان تهیه شد. 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: ارزیابی رفتار ردیاب‌ها در دماهای مختلف با اعمال شرایط کاهش (تا حدود صفر درجه سانتی‌گراد) و افزایش (تا حدود ۷۰ درجه) دما نسبت به حالت اولیه و بررسی تغییرات غلظت ردیاب‌ها صورت گرفت. به این ترتیب نموداری از رفتار ردیاب در دماهای مختلف به دست آمد.

روش بررسی اثر شوری: به منظور بررسی اثر شوری، ابتدا غلظت‌های مختلفی از آن‌ها با استفاده از آب مقطر تهیه و سپس در دو مرحله نمک سدیم و نمک پتاسیم بتدریج به محلول‌ها اضافه شده به این ترتیب رفتار ردیاب در محیط‌هایی با شوری متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش اندازه‌گیری درصد جذب ردیاب‌ها: بطور عمده دو

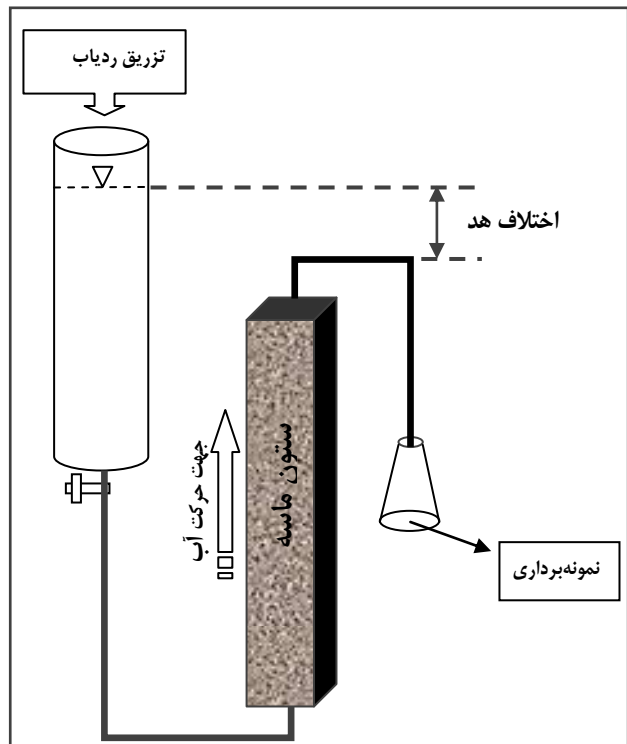
روش برای اندازه‌گیری درصد جذب وجود دارد. یکی از این روش‌ها آزمایش Batch می‌باشد (Mon et al., 2006). در این روش غلظت مشخصی از ردیاب با محلولی حاوی مقدار معینی رسوب در مدت زمان مشخصی با همزن مخلوط و پس از جداسازی دو فاز جامد و مایع (با استفاده از فیلتراسیون و یا سانتریفیوژ) مقدار ردیاب اندازه‌گیری و درصد جذب تعیین می‌شود. در این روش مواد رسوبی به هنگام هم‌زدن به قطعات کوچکتر شکسته می‌شوند و معمولاً نسبت جامد به مایع کمتر از آنچه در طبیعت وجود دارد می‌باشد. به همین دلیل از روش دوم که روش ستون رسوبی نام دارد برای اندازه‌گیری میزان جذب در این تحقیق استفاده شد. سیستم حرکت آب در روش ستونی به نحوه حرکت آب در محیط متخلخل در طبیعت شباهت بیشتری دارد، به همین دلیل روش مناسب‌تری برای تعیین خصوصیات جذبی ردیاب می‌باشد. در این روش با عبور محلول ردیاب مورد نظر با غلظت مشخص از یک ستون رسوبی با دانه‌بندی معین و اندازه‌گیری غلظت ردیاب در محلول عبوری از ستون، درصد ردیاب جذب شده بدست می‌آید. در شکل ۱ مدل آزمایشگاهی تهیه شده برای این روش ارائه شده است.

روش بررسی اثر کلر آزاد باقی مانده: به منظور بررسی اثر

کلر باقی‌مانده حاصل از تصفیه آب بر ردیاب‌ها، غلظت‌های معینی از ردیاب‌ها با استفاده از آب دارای کلر باقی‌مانده با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر تهیه و با گذشت زمان تغییرات غلظت هر کدام از آن‌ها بررسی شد.

با توجه به اینکه معمولاً غلظت میانگین کلر باقی‌مانده به هنگام خروج از تصفیه خانه آب حدود ۱ میلی‌گرم بر لیتر است، به منظور

بررسی اثر کلر، محلول زمینه با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر کلر تهیه شد و سپس محلول‌هایی با غلظت مشخص از این ردیاب‌ها با استفاده از این آب تهیه شدند. از آنجا که 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 پرهیز و مقدار کلر باقی‌مانده با استفاده از کیت کلرسنج دوباره در ابتدای هر آزمایش اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- مدل ستون رسوبی برای اندازه‌گیری مقاومت ردیاب‌ها در برابر جذب

به منظور اندازه‌گیری غلظت اولیه ردیاب‌ها در محیط بدون کلر، نمونه‌های شاهد تهیه و به طور همزمان با نمونه‌های کلردار اندازه‌گیری و در نهایت مقایسه صورت پذیرفت. به این ترتیب نموداری از تغییرات غلظت هر ردیاب در طول زمان با توجه به تأثیر وجود مقدار معینی کلر باقی‌مانده به دست آمد.

۳- نتایج و بحث

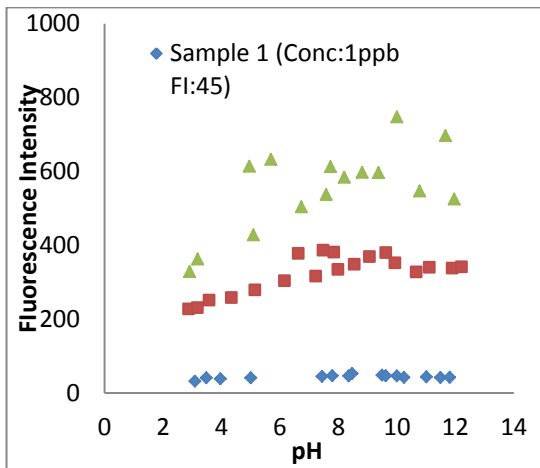
۳-۱- اثر تغییرات pH بر ردیاب‌ها

معمولاً pH آب‌های زیرزمینی در محدوده خنثی قرار دارد ولی بسته به شرایط محیط طبیعی (مثل محیط هیدروترمال) ممکن است در بازه‌های اسیدی و قلیایی نیز قرار بگیرد. به این ترتیب تغییرات pH بر نمونه‌های تهیه شده از ردیاب‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل‌های ۲ تا ۷ ارائه شده است. به علت تفاوت در واکنش

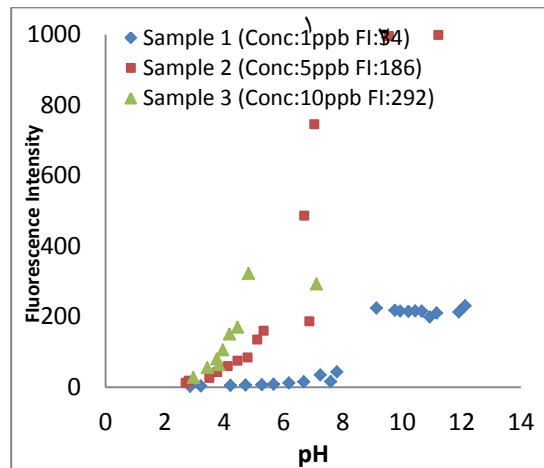
ردیاب‌ها، نمودارها با مقیاس‌های عمودی متفاوت ارائه شده‌اند. مطابق شکل ۱ شدت فلورسنس نمونه اول اورانین در pH بیشتر از ۸، از ۳۴ به بیش از ۲۰۰ می‌رسد. با کاهش pH به کمتر از حدود ۵، شدت فلورسنس آن تقریباً به طور کامل از بین می‌رود. این روند در مورد نمونه ۲ و ۳ نیز صدق می‌کند. فلورسنس نمونه ۲، از ۱۸۶ در محیط 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. نتایج مزبور تأیید کننده حساسیت بالای اورانین به تغییرات pH محیط بوده به طوری که فلورسنس آن در محیط قلیایی به شدت افزایش یافته و حتی به چند برابر مقدار اولیه خود می‌رسد در حالی که در محیط اسیدی 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. این واکنش کاملاً برگشت پذیر است. تغییرات فلورسنس ائوزین در مقایسه با اورانین بسیار کمتر است. این تغییرات در pH اسیدی اتفاق می‌افتد و می‌توان گفت که محیط قلیایی بر روی فلورسنس ائوزین تأثیر ندارد. تغییر در رفتار ائوزین در pH حدود پنج اتفاق می‌افتد و شدت فلورسنس آن به طور مشخصی کاهش می‌یابد (شکل ۳). رفتار رودامین B تاحدودی مانند ائوزین است با این تفاوت که 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). شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که تغییرات pH در بازه سه تا دوازده تأثیری بر میزان هدایت الکتریکی ردیاب‌های نمکی ندارد. با وجودی که امکان قرار گرفتن اسیدپتته آب‌های طبیعی در بازه‌های مورد اشاره بسیار دور از انتظار است ولی برای اطمینان از واکنش ردیاب در شرایط طبیعی و آزمایشگاهی شرایط مزبور فراهم شد. 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. با مقایسه این نمودارها می‌توان گفت رفتار این دو ردیاب در برابر تغییر pH مانند یکدیگر است. طبق شکل ۷ تغییرات pH اثری بر شدت رنگ نمونه‌های پرمنگنات پتاسیم به وجود نمی‌آورد. نتایج بدست آمده از آزمایش اثر pH را می‌توان بصورت جدول ۱ خلاصه نمود.

جدول ۱- تغییرات ویژگی ردیاب‌ها در pH های مختلف

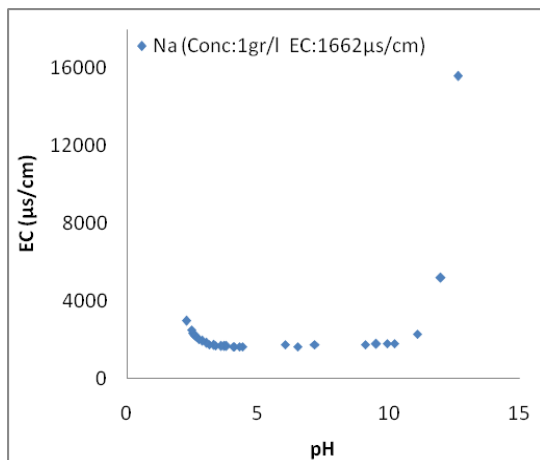
نام ردیاب	محیط اسیدی	محیط قلیایی
اورانین	کاهش بسیار شدید شدت فلورسنس در pH کمتر از ۶	افزایش بسیار زیاد شدت فلورسنس در pH بیشتر از ۸
اٹوزین	کاهش شدت فلورسنس در pH کمتر از ۴	تغییر قابل توجهی در شدت فلورسنس آن به وجود نمی‌آید
رودامین B	کاهش شدت فلورسنس در pH کمتر از ۵	تغییر قابل توجهی در شدت فلورسنس آن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



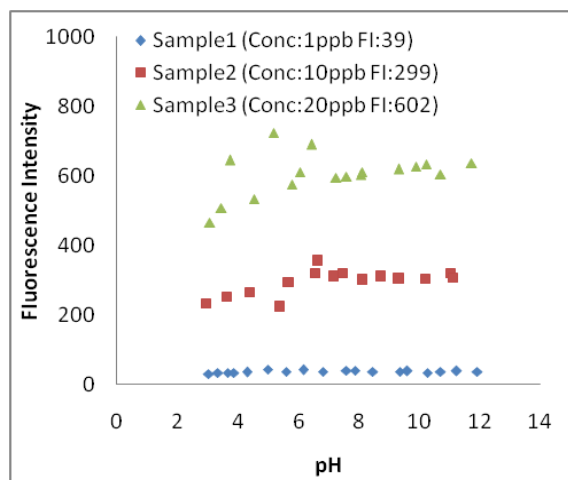
شکل ۴- تغییرات فلورسنس رودامین B با pH



شکل ۲- تغییرات فلورسنس اورانین با pH



شکل ۵- تغییرات درصد هدایت الکتریکی NaCl با pH



شکل ۳- تغییرات فلورسنس اٹوزین با pH

نتایج بدست آمده در این تحقیق تأیید کننده تجزیه فتوشیمیایی و از بین رفتن ویژگی فلورسنس بر اثر تابش نور خورشید به مواد فلورسنت بود. روند این واپاشی در مورد اورانین به گونه‌ای بود که با گذشت چند روز اول فلورسنس نمونه‌ها تقریباً ثابت ماند اما پس از گذشت حدود ۳ روز شدت فلورسنس اورانین در تمامی نمونه‌ها به طور غیر خطی کاهش و به کمتر از نصف مقدار اولیه خود رسید و با گذشت ۱۵ روز به طور کلی از بین رفت (شکل ۸). نرخ واپاشی ائوزین در برابر نور خورشید در مقایسه با اورانین بسیار بیشتر است به گونه‌ای که تنها پس از گذشت ۲ ساعت شدت فلورسنس نمونه‌ها به نصف مقدار اولیه خود می‌رسد و پس از ۴ ساعت فلورسنس کلیه نمونه‌ها از بین می‌رود (شکل ۹). روند این فروپاشی کاملاً به صورت خطی و با شیب زیاد رخ می‌دهد. همان طور که در شکل ۱۰ دیده می‌شود کاهش در فلورسنس رودامین B به طور غیر خطی و عمدتاً در اولین روزها اتفاق افتاد بر خلاف اورانین که در چند روز اول این کاهش بسیار ناچیز بوده است. با گذشت ۵ روز فلورسنس نمونه‌های رودامین B به نصف مقدار اولیه خود می‌رسد و پس از گذشت ۱۵ روز ۲۰ درصد فلورسنس در نمونه‌ها باقی می‌ماند. طبق نتایج به دست آمده، ردیاب‌های فلورسنت را از نظر مقاومت در برابر نور خورشید می‌توان به صورت زیر رتبه‌بندی نمود:

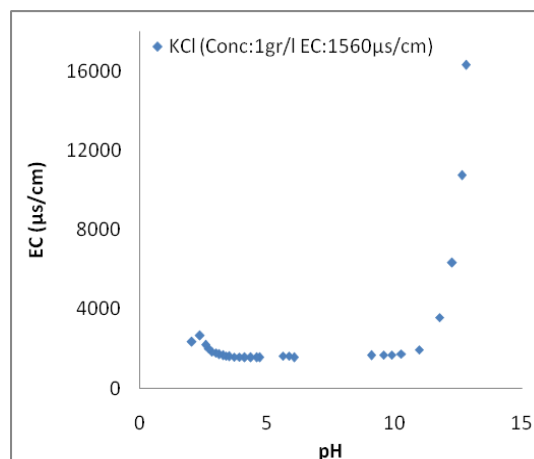
رودامین B < اورانین < ائوزین

در اثر تابش نور خورشید در ردیاب‌های نمکی تغییری به وجود نمی‌آید. اما با تابش نور خورشید در مدت زمان بیش از یک روز پرمگنات پتاسیم به دلیل به وجود آمدن رسوب اکسید منگنز خاصیت اولیه خود را به عنوان ردیاب از دست می‌دهد.

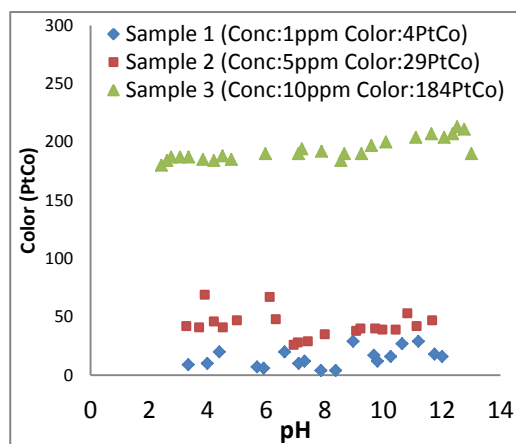
۳-۳- اثر دما بر ردیاب‌ها

مقاومت ردیاب‌ها در برابر دما به ویژه هنگامی که عملیات ردیابی در محیط‌های گرمایی مورد نظر باشد اهمیت بسزایی دارد. رابطه دما با هدایت الکتریکی به صورت یک خط مستقیم است. به منظور حذف اثر دما بر مقدار هدایت الکتریکی ردیاب‌های نمکی، با استفاده از ضریب دمایی نمک‌ها، مقدار هدایت الکتریکی آن‌ها نسبت به دما تصحیح می‌شود. ارزیابی رفتار ردیاب‌ها در دماهای مختلف با اعمال شرایط کاهش و افزایش دما نسبت به حالت اولیه و بررسی تغییرات ردیاب‌ها صورت گرفت (شکل‌های ۱۴ تا ۱۹).

طبق نتایج بررسی اثر دما بر ردیاب‌ها، افزایش دما در هیچ یک از نمونه‌های اورانین منجر به کاهش فلورسنس نشد. البته افزایش دما به بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا حدودی باعث افزایش فلورسنس تعدادی از نمونه‌ها شد. در مورد ائوزین، طبق شکل ۱۵ افزایش دما



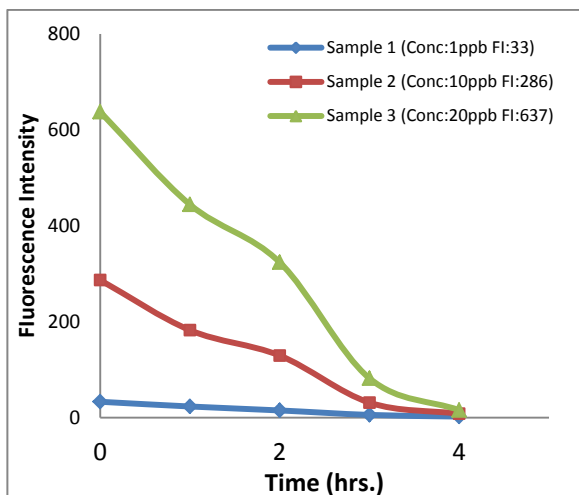
شکل ۶- تغییرات درصد هدایت الکتریکی KCl با pH



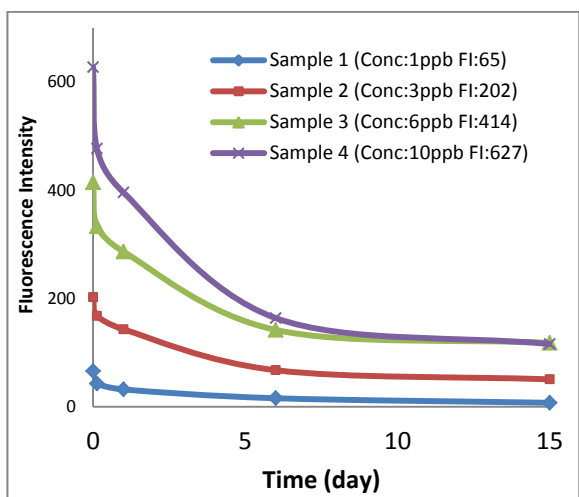
شکل ۷- تغییرات شدت رنگ KMnO4 با pH

۳-۲- اثر تابش نور خورشید بر ردیاب‌ها

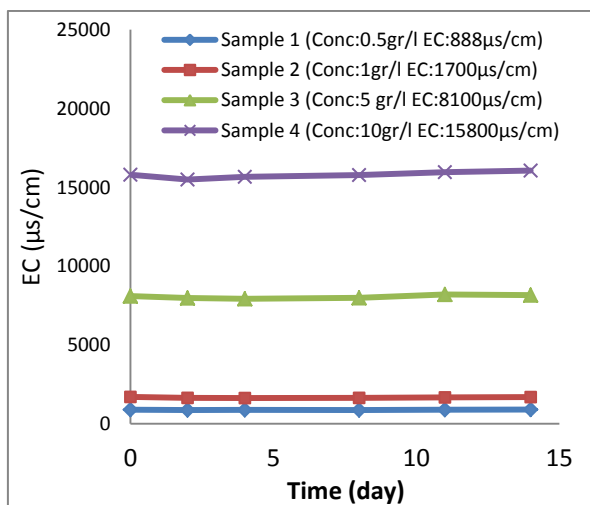
از مهمترین عواملی که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر ردیاب‌ها داشته باشد تجزیه فتوشیمیایی ردیاب بر اثر تابش نور خورشید است. توجه به این فاکتور هنگام نگهداری و انتقال نمونه‌های برداشت شده در عملیات ردیابی و نیز در عملیات‌های ردیابی منابع آب سطحی، می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای در نتایج عملیات داشته باشد. تجزیه 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 گیرد. همچنین باید این نکته را در نظر داشت که با افزایش عمق و آشفتگی آب، شدت نور به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. در بررسی اثر نور، نمونه‌ها تحت شرایط یکسان نور خورشید و در یک دوره زمانی مشخص مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل‌های ۸ تا ۱۳).



شکل ۹- اثر نور بر فلورسنس ائوزین



شکل ۱۰- اثر نور بر فلورسنس رودامین B



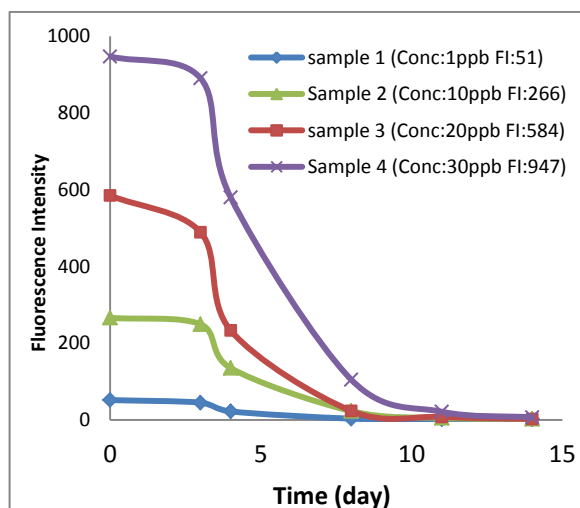
شکل ۱۱- اثر نور بر درصد هدایت الکتریکی اولیه NaCl

تا ۷۰ درجه سانتی گراد نیز تأثیری در فلورسنس نمونه‌ها نداشت و تغییر مشخصی نیز دیده نمی‌شود. برخلاف این دو، فلورسنس رودامین B با افزایش دما تا حدود ۷۰ درجه به نصف مقدار اولیه خود رسید و با کاهش دما از ۲۰ به صفر درجه با روند سریعتری به حدود دو برابر فلورسنس در دمای استاندارد افزایش یافت (شکل ۱۶). بنابراین در میان ردیاب‌های فلورسنت، ائوزین و سپس اورانین دارای پایداری بالایی در دماهای مختلف می‌باشند و می‌توان از آن‌ها به عنوان ردیاب در دماهای بالا نیز استفاده نمود درحالی‌که، افزایش دما باعث از بین رفتن فلورسنس رودامین B می‌شود. کاهش فلورسنس رودامین B با افزایش دما از رابطه زیر پیروی می‌کند:

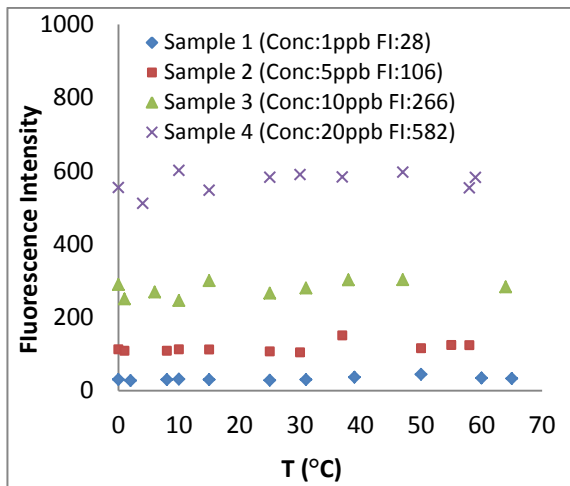
$$FI = a.e^{bt} \quad (1)$$

در این رابطه FI شدت فلورسنس در دمای t ، a شدت فلورسنس در صفر درجه و b ضریب دمایی رودامین B است که در این تحقیق ۰/۰۲- به دست آمد.

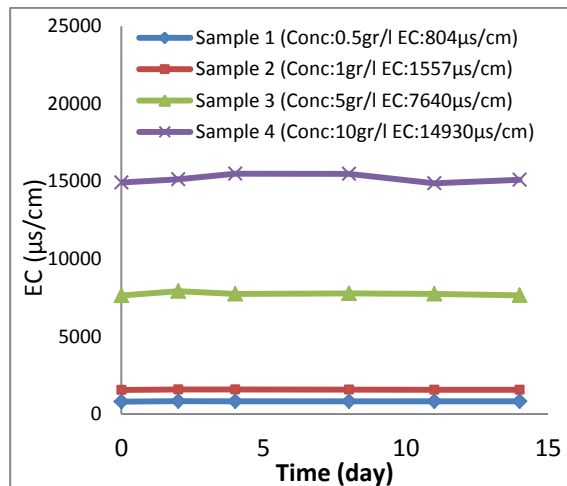
با اعمال تصحیح دمایی در هدایت الکتریکی نمک‌ها، نتایج به دست آمده بیانگر پایداری کلرید سدیم و پتاسیم با تغییرات دما می‌باشد. همان‌طور که شکل ۱۹ نشان می‌دهد شدت رنگ محلول پرمنگنات پتاسیم نیز با افزایش تدریجی دما در طول آزمایش تغییری نکرد. اما باید توجه داشت که آزمایش‌های بررسی اثر دما بر ردیاب‌ها در دوره زمانی کمتر از یک ساعت به طول انجامید. درحالی‌که افزایش دمای طولانی مدت در نمونه‌های پرمنگنات پتاسیم منجر به تغییر رنگ محلول‌ها و تشکیل رسوب قهوه‌ای رنگ اکسید منگنز خواهد شد.



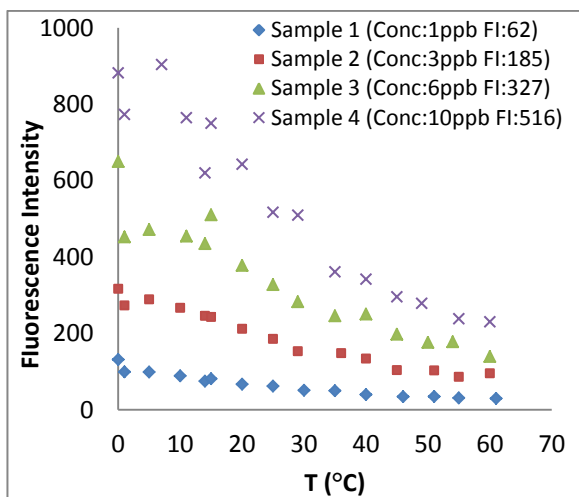
شکل ۱۲- اثر نور بر فلورسنس اورانین



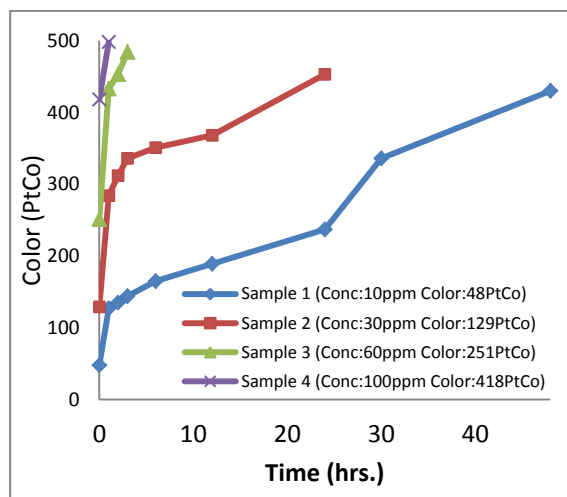
شکل ۱۵- اثر دما بر فلورسنس ائوزین



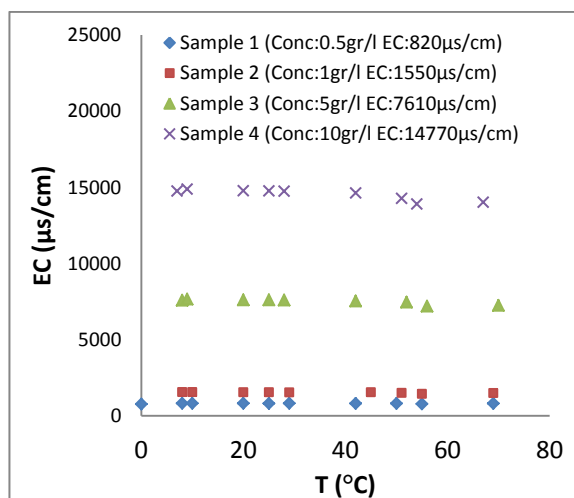
شکل ۱۲- اثر نور بر هدایت الکتریکی KCl



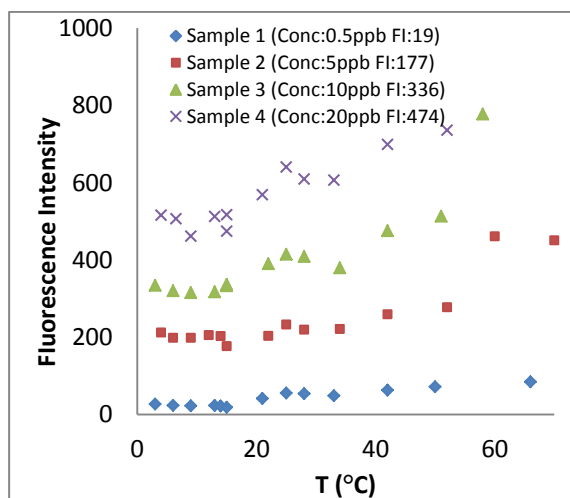
شکل ۱۶- اثر دما بر فلورسنس رودامین B



شکل ۱۳- اثر نور بر شدت رنگ KMnO4



شکل ۱۷- اثر دما بر هدایت الکتریکی NaCl

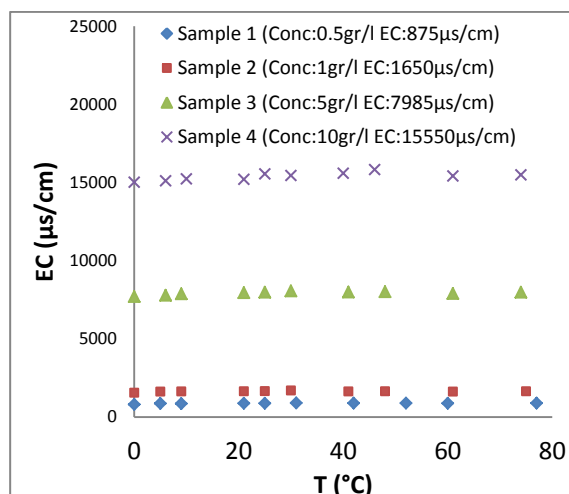


شکل ۱۴- اثر دما بر فلورسنس اورانین

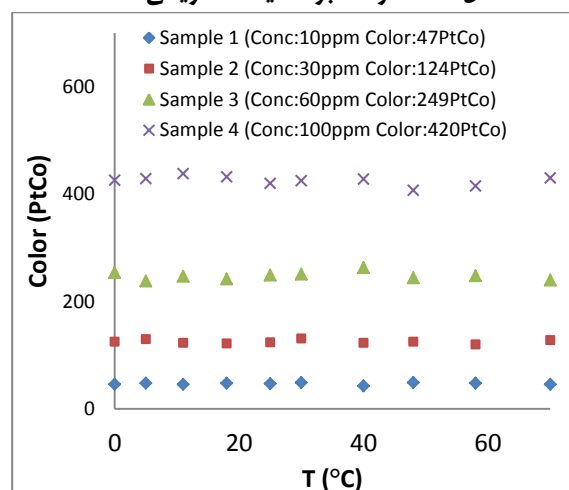
کلرید سدیم و پتاسیم دارای دو نتیجه کاملاً متفاوت بود. به این صورت که با افزایش شوری ناشی از کلرید پتاسیم حتی در مقادیر بسیار بالا تغییری در فلورسنس اتوزین ایجاد نمی‌شود. حال آن که افزایش کلرید سدیم به محلول منجر به کاهش فلورسنس نمونه خواهد شد. کاهش فلورسنس اتوزین در اثر کلرید سدیم ناچیز بوده و می‌توان نتیجه گرفت که اتوزین تنها در محیط‌های با شوری بالاتر از $100 \mu\text{s/cm}$ ناشی از کلرید سدیم بخشی از فلورسنس خود را (حدود ۲۰ درصد) از دست می‌دهد (شکل ۲۱). طبق نتایج به دست آمده (شکل ۲۲) شوری ناشی از هر دو نوع نمک، فلورسنس رودامین B را نسبت به اتوزین به نحو محسوس‌تری کاهش می‌دهد. روند کاهش فلورسنس با افزایش هدایت الکتریکی دارای دو شیب متفاوت است. به این ترتیب 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 شوری ناشی از 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 این که در محلول‌هایی با هدایت الکتریکی بیش از $100 \mu\text{s/cm}$ فلورسنس به شدت کاهش می‌یابد. به این ترتیب افزایش شوری ناشی از کلرید سدیم باعث از بین رفتن بخشی از فلورسنس اتوزین 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. همچنین محیط شور اثری بر محلول پرمنگنات پتاسیم ایجاد نمی‌کند. تنها در محیط‌هایی با شوری بسیار زیاد به علت کدر شدن محلول شدت رنگ در نمونه‌ها افزایش خواهد یافت.

۳-۵- اندازه‌گیری درصد جذب ردیابها

یکی از مواردی که در تجزیه و تحلیل یافته‌های یک عملیات ردیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد محاسبه میزان بازیافت ردیاب یا میزان ردیاب خارج شده از منبع آب می‌باشد. در صورت انتخاب ردیاب نامناسب و جذب بخش زیادی از ردیاب در آبخوان، تفسیر نامناسب نتایج بازیافت ردیاب منجر به درک نادرستی از وضعیت هیدروژئولوژیکی سیستم آبخوان خواهد شد. به منظور اندازه‌گیری درصد جذب ردیابها، پس از انجام آزمایش‌های اولیه برای ارزیابی نفوذپذیری رسوبات مختلف، سرانجام سه دانه‌بندی مختلف دارای 0.5 ، $2/5$ و 5 درصد رس که به ترتیب تیپ A، B و C نامیده شدند، انتخاب شد.



شکل ۱۸- اثر دما بر هدایت الکتریکی KCl

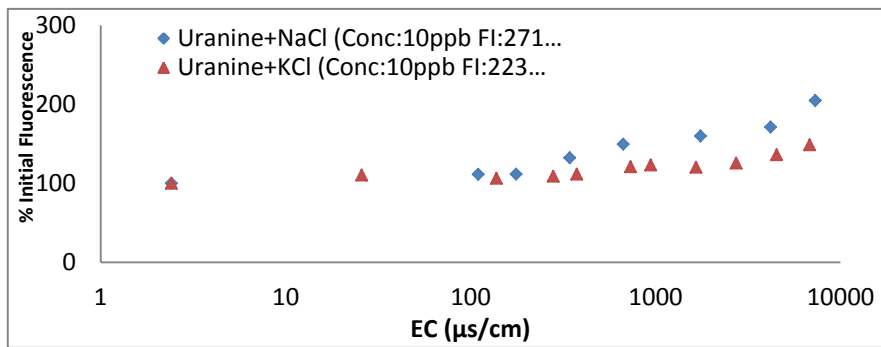


شکل ۱۹- اثر دما بر شدت رنگ KMnO4

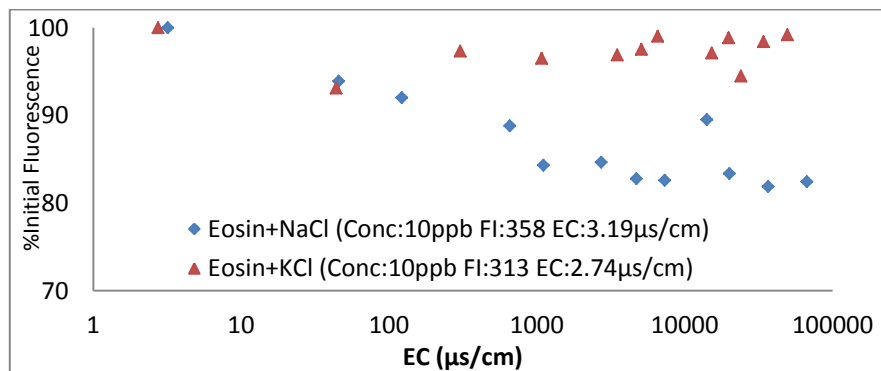
۳-۴- اثر شوری بر ردیابها

در مواقعی که عملیات ردیابی در محیط‌هایی مثل سواحل دریا و یا محیط دریاچه‌ای انجام می‌گیرد، و یا لایه‌های آب شور در درون یا پیرامون آبخوان وجود دارند، یا در صورت کاربرد همزمان نمک‌ها با ردیاب‌های دیگر ممکن است شوری موجود بر روی کارایی و عملکرد ردیاب‌ها تأثیر داشته باشد. نتایج ارزیابی رفتار ردیاب‌ها در شوری‌های مختلف ناشی از دو نوع نمک سدیم و پتاسیم در شکل‌های ۲۰ تا ۲۳ ارائه شده است.

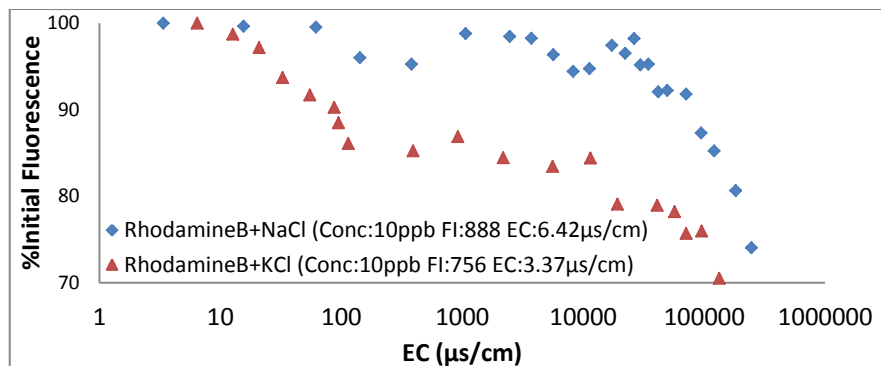
در مورد اورانین، با افزایش شوری ناشی از کلرید سدیم، در ابتدا فلورسنس ثابت باقی می‌ماند اما در هدایت الکتریکی بیشتر از 100 میکروزیمنس بر سانتی‌متر با افزایش شوری شدت فلورسنس اورانین افزایش می‌یابد. این موضوع در مورد کلرید پتاسیم نیز به صورت خفیف‌تری صادق است (شکل ۲۰). تغییر فلورسنس اتوزین با افزایش



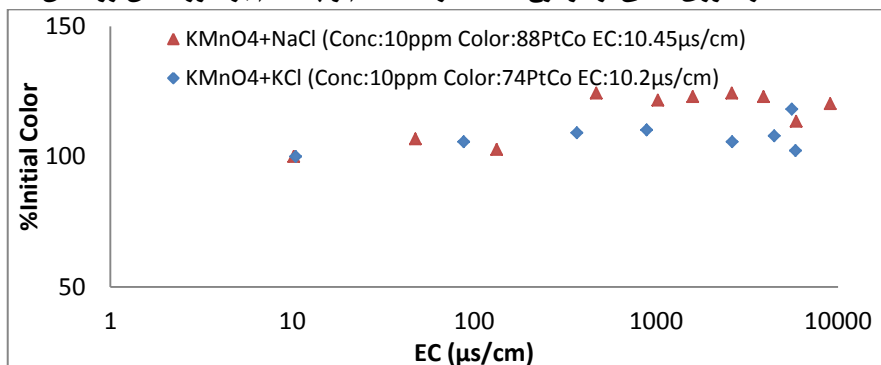
شکل ۲۰- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک کلرید سدیم و پتاسیم بر فلورسنس اورانین



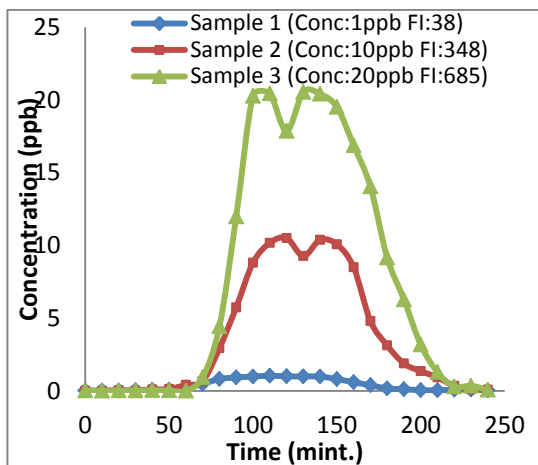
شکل ۲۱- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک کلرید سدیم و پتاسیم بر فلورسنس ائوزین



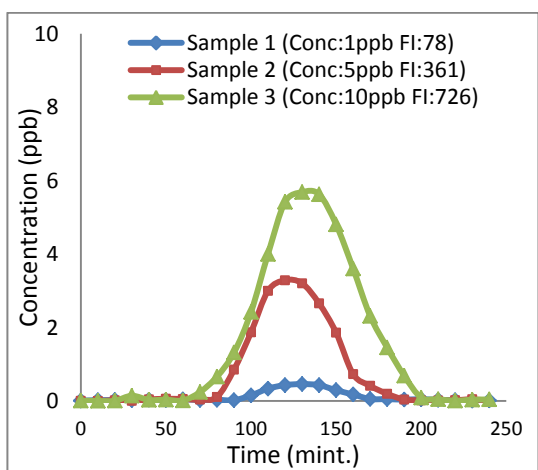
شکل ۲۲- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک کلرید سدیم و پتاسیم بر فلورسنس رودامین B



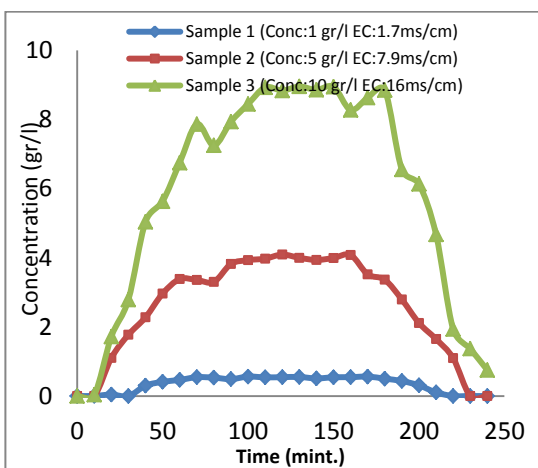
شکل ۲۳- اثر شوری ناشی از دو نوع نمک کلرید سدیم و پتاسیم بر شدت رنگ KMnO4



شکل ۲۵- نمودار غلظت آنوزین عبوری از رسوب تیپ A



شکل ۲۶- نمودار غلظت رودامین B عبوری از رسوب تیپ A

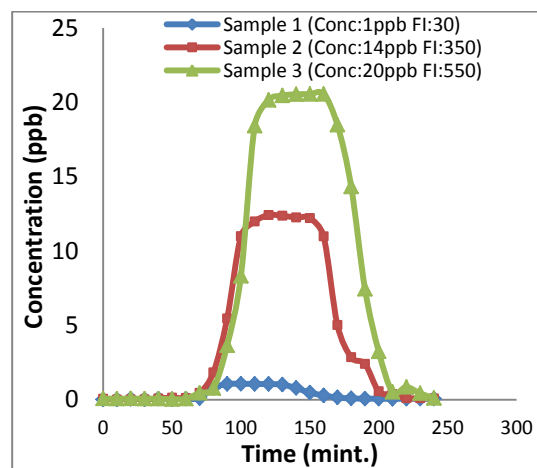


شکل ۲۷- نمودار غلظت NaCl عبوری از رسوب تیپ A

در این تحقیق به منظور بررسی اثر غلظت اولیه ردیاب و همچنین مقدار رسوبات دانه‌ریز، میزان جذب ردیاب‌های مورد بررسی با سه غلظت اولیه متفاوت و نیز سه درصد مختلف از رس (دانه‌بندی تیپ A، B و C) برای هر ردیاب تکرار شد. به این ترتیب برای هر ردیاب ۹ آزمون انجام شد. در این آزمون ستون رسوبی از دانه‌بندی مورد نظر پر شده و پس از اشباع شدن و نمونه‌برداری از غلظت زمینه، ردیاب به تدریج در مخزن تزریق شد و نمونه‌برداری با فواصل زمانی مشخص صورت گرفت. با آنالیز مقدار ردیاب در هر نمونه، منحنی غلظت زمان برای هر آزمون تهیه شده و در نهایت با مقایسه مقدار اولیه ردیاب و مقدار ردیاب بازیافت شده (سطح زیر نمودار غلظت- زمان) درصد ردیاب جذب شده محاسبه شد (شکل‌های ۲۴ تا ۲۹).

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری جذب ردیاب‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشخص است درصد جذب در ردیاب‌ها با یکدیگر کاملاً متفاوت است. این تفاوت در شکل ۳۰ نمایش داده شده است.

طبق نتایج به دست آمده، در تمام ردیاب‌های مورد بررسی درصد جذب در دانه بندی تیپ A کمتر از تیپ B، و درصد جذب تیپ B نیز کمتر از تیپ C می‌باشد. به عنوان مثال در مورد اورانین درصد جذب تیپ A، B و C به ترتیب ۱۷/۲، ۲۰/۶ و ۲۱/۶ درصد بدست آمد. به این ترتیب وجود ذرات دانه‌ریز بخصوص رس در محیط متخلخل تأثیر مهمی بر جذب برخی ردیاب‌ها دارد.



شکل ۲۴- نمودار غلظت اورانین عبوری از رسوب تیپ A

با توجه به نتایج به دست آمده، ردیاب‌ها را می‌توان از نظر جذب در محیط ریزدانه به صورت زیر رتبه‌بندی نمود:

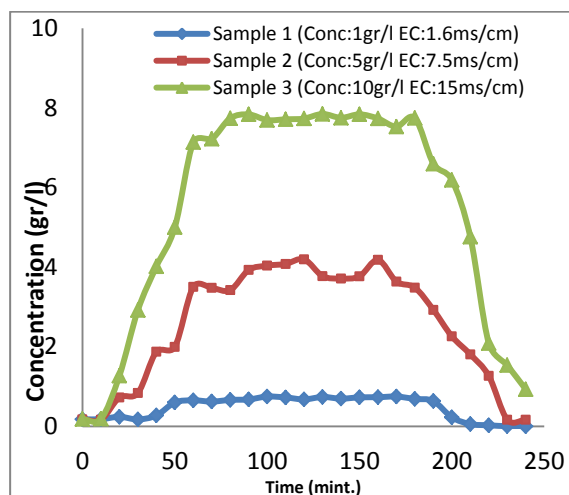
اٲوزین و اورانین > کلرید سدیم و کلرید پتاسیم > رودامین B و پرمنگنات پتاسیم

۳-۶- اثر کلر بر ردیاب‌ها

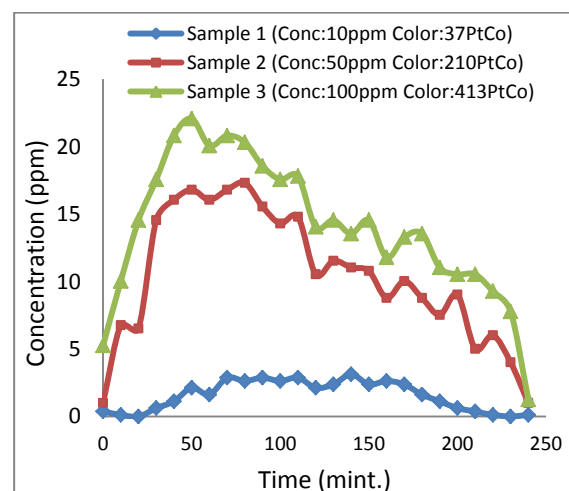
در مواردی که عملیات ردیابی در نزدیک شبکه‌های آبرسانی انجام شده یا احتمال ورود ردیاب به درون شبکه وجود داشته باشد، ردیاب ممکن است تحت تأثیر کلر ناشی از تصفیه آب قرار گیرد. با توجه به این که افزایش زمان ماندگاری کلر در محلول باعث افزایش اثر اکسیدکنندگی آن می‌شود به همین سبب در این بخش تغییر در میزان غلظت ردیاب‌ها در مجاورت کلر با گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفت که نتایج بدست آمده از آن در شکل‌های ۳۱ تا ۳۶ ارائه شده‌اند.

طبق شکل‌های ۳۲، ۳۳ و ۳۴ هر سه نوع ردیاب فلورسنت به شدت تحت تأثیر کلر آزاد باقی‌مانده قرار گرفته و طی مدت کوتاهی فلورسنس خود را به طور کامل از دست می‌دهند. در اثر وجود کلر آزاد، اورانین و اٲوزین 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. رودامین B مقاومت کمتری در برابر کلر آزاد داشته و با سرعت بیشتری نسبت به سایر ردیاب‌های فلورسنت تجزیه شده و از بین می‌رود. این فرایند برگشت ناپذیر است. همچنین وجود کلر آزاد در نمونه‌های کلرید سدیم و پتاسیم در ابتدا منجر به کاهش بسیار جزئی در هدایت الکتریکی شده اما با گذشت زمان هدایت الکتریکی محلول‌ها به مقدار اولیه خود بازگشته و این روند افزایشی تا پایان آزمایش ادامه می‌یابد (شکل‌های ۳۵ و ۳۶). مطابق شکل ۳۷ نیز وجود کلر با غلظت ۱ میلی‌گرم بر لیتر تغییر قابل توجهی در شدت رنگ محلول پرمنگنات پتاسیم بوجود نیاورده و شدت رنگ با گذشت زمان ثابت باقی می‌ماند. به این ترتیب می‌توان نتیجه‌گیری نمود وجود ترکیبات اکسیدکننده در آب مثل کلر آزاد حتی در غلظت‌های کم نیز ردیاب‌های فلورسنت را در مدت زمان کوتاهی به شدت تحت تأثیر قرار داده و باعث از بین رفتن خاصیت فلورسنس آن‌ها می‌شود.

چگونگی تأثیر هر یک از شرایط محیطی بر ردیاب‌های مورد بررسی در جدول ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۸- نمودار غلظت KCl عبوری از رسوب تیپ A

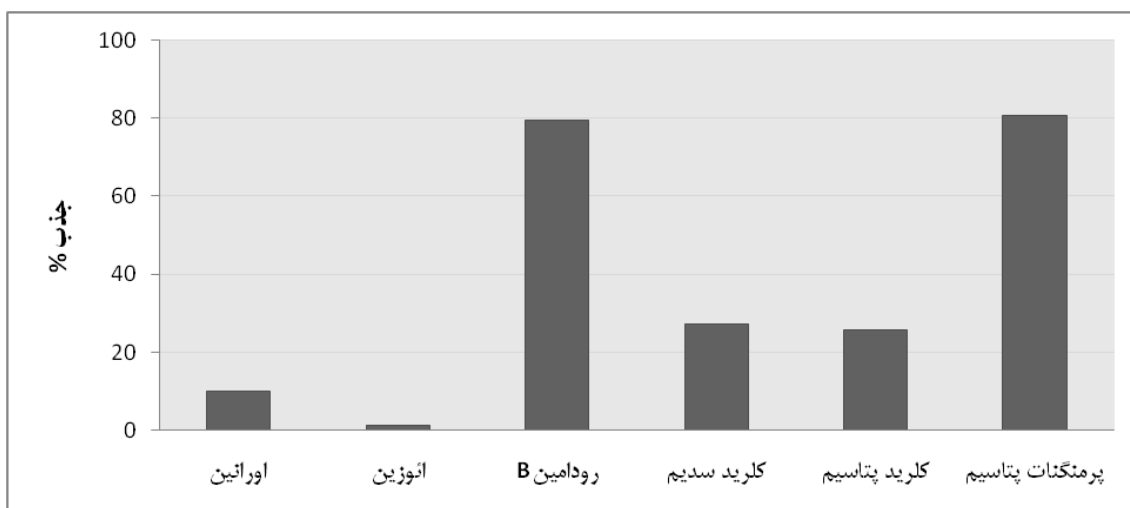


شکل ۲۹- نمودار غلظت KMnO4 عبوری از رسوب تیپ A

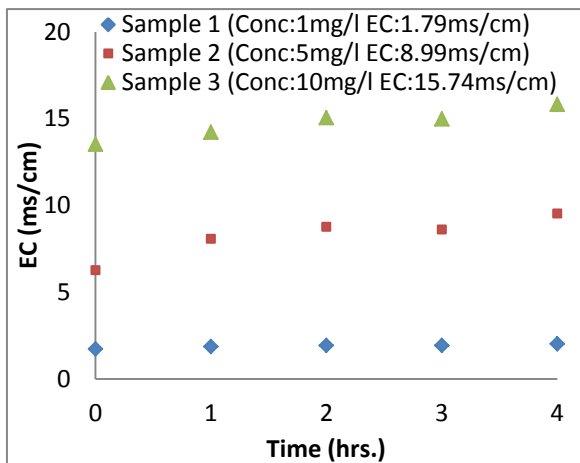
با مقایسه داده‌های به دست آمده می‌توان گفت از بین ردیاب‌های فلورسنت رودامین B با حداکثر جذب ۸۸/۴ درصد دارای بیشترین جذب نسب به اورانین و اٲوزین (به ترتیب با حداکثر جذب ۲۱/۶ و ۲/۰ درصد) می‌باشد و به سرعت جذب رسوبات می‌شود. کلرید سدیم و کلرید پتاسیم به ترتیب با حداکثر جذب حدود ۳۶ و ۳۴ درصد نیز جذب پایینی از خود نشان می‌دهند اما نسبت به ردیاب‌های اورانین و اٲوزین بیشتر توسط محیط جذب می‌شوند. پرمنگنات پتاسیم نیز با جذب حداکثر حدود ۸۷ درصد دارای بیشترین میزان جذب بوده و درصد بسیار زیادی از آن توسط رسوبات جذب محیط می‌شود.

جدول ۲- درصد جذب ردیاب‌ها با غلظت‌های اولیه متفاوت در سه نوع دانه بندی به روش ستون رسوبی

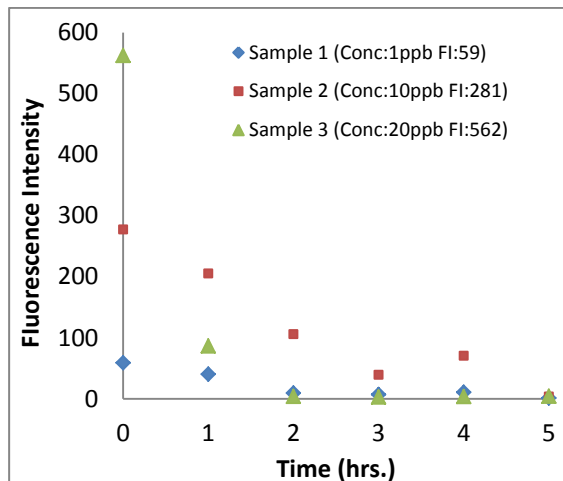
نام ردیاب	غلظت محلول اولیه	درصد جذب		
		دانه بندی تیپ A	دانه بندی تیپ B	دانه بندی تیپ C
اورانین	۱ ppb	۱۷/۲	۲۰/۶	۲۱/۶
	۱۰ "	۱۳/۲	۱۵/۱	۱۸/۹
	۲۰ "	۱۰/۰	۱۴/۰	۱۸/۲
اتوزین	۱ "	۱/۶	۱/۸	۲/۰
	۱۰ "	۱/۴	۱/۶	۱/۸
	۲۰ "	۱/۱	۱/۲	۱/۴
رودامین B	۱ "	۸۳/۷	۸۵/۹	۸۸/۴
	۵ "	۸۰/۹	۸۲/۹	۸۴/۹
	۱۰ "	۷۹/۴	۸۰/۴	۸۱/۴
کلرید سدیم	۱ 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



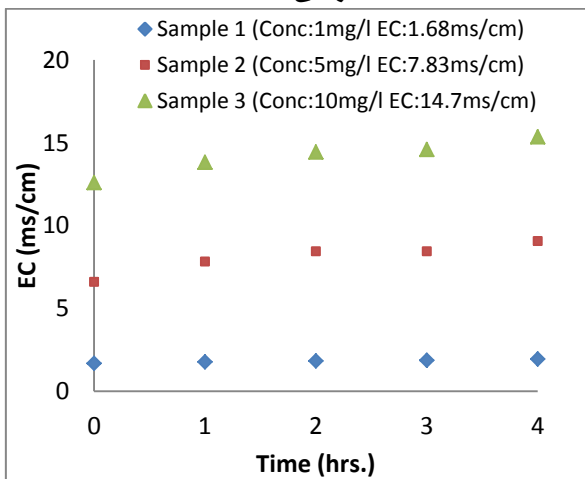
شکل ۳۰- مقایسه حداقل درصد جذب ردیاب‌ها



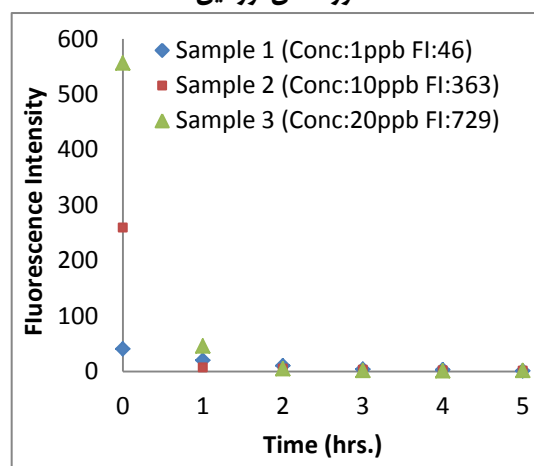
شکل ۳۴- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر هدایت الکتریکی NaCl



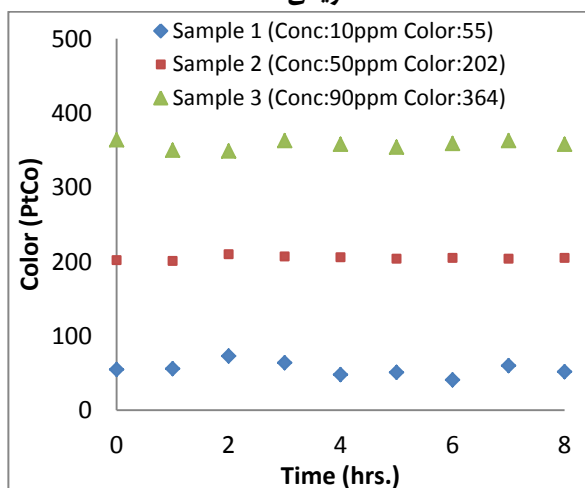
شکل ۳۱- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس اورانین



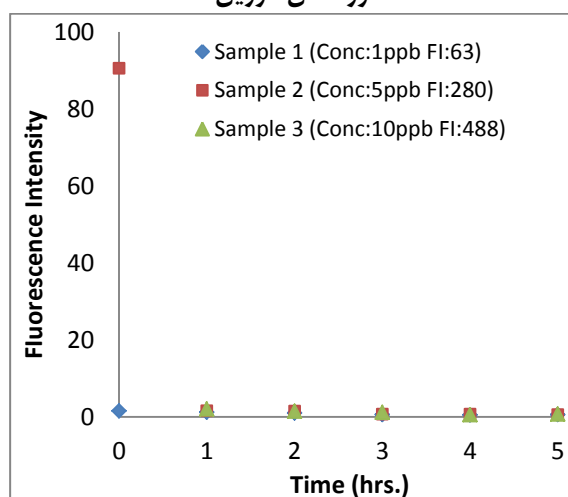
شکل ۳۵- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر هدایت الکتریکی KCl



شکل ۳۲- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس ائوزین



شکل ۳۶- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر شدت رنگ محلول KMnO



شکل ۳۳- اثر کلر آزاد باقی مانده با غلظت ۱ ppm بر فلورسنس رودامین B

جدول ۳- کارایی ردیاب‌ها در شرایط محیطی و مصنوعی مختلف

شرایط مختلف محیطی و عوامل مصنوعی							ردیاب
کلر آزاد	جذب در محیط ریز دانه	شوری	دما	نور	pH قلیایی	pH اسیدی	
--	+	++	++	-	+	-	اوراین
خاموشی سریع فلورسنس در اثر وجود اکسید کننده	پایدار	پایدار در محیط‌های بسیار شور	عدم کاهش فلورسنس در دماهای بسیار بالا	قابل استفاده در کوتاه مدت	افزایش شدید فلورسنس، لزوم سنجش در pH خنثی	کاهش شدید فلورسنس، لزوم سنجش در pH خنثی	
--	++	+	++	--	++	+	اوترین
خاموشی بسیار سریع فلورسنس در اثر وجود اکسید کننده	پایدار	پایدار در شوری ناشی از کلرید پتاسیم و تا حدودی در شوری ناشی از کلرید سدیم	پایدار در دماهای بسیار بالا	خاموشی بسیار سریع فلورسنس در نور	بدون تغییر در محیط قلیایی	کاهش نسبی فلورسنس در pH کمتر از ۴	
--	--	-	--	+	++	+	رودامین B
خاموشی سریع فلورسنس در اثر وجود اکسید کننده	جذب بسیار شدید	کاهش فلورسنس با افزایش شوری محیط	کاهش فلورسنس با افزایش دما	قابل استفاده در کوتاه مدت	بدون تغییر در محیط قلیایی	کاهش نسبی فلورسنس در pH کمتر از ۵	
+	-	-	++	++	++	++	کلرید سدیم
بدون تأثیر قابل توجه بر هدایت الکتریکی محلول	بخشی از آن توسط محیط جذب می‌شود	لزوم استفاده از مقدار زیاد ردیاب به منظور غلبه بر غلظت زمینه	پایدار در دماهای بسیار بالا	پایدار در بلند مدت	پایدار در pH معمول	پایدار در pH معمول	
+	-	-	++	++	++	++	کلرید پتاسیم
بدون تأثیر قابل توجه بر هدایت الکتریکی محلول	بخشی از آن توسط محیط جذب می‌شود	لزوم استفاده از مقدار زیاد ردیاب به منظور غلبه بر غلظت زمینه	پایدار در دماهای بسیار بالا	پایدار در بلند مدت	پایدار در pH معمول	پایدار در pH معمول	
+	--	+	-	-	++	++	پرمنگنات پتاسیم
بدون تأثیر بر شدت رنگ محلول	کاهش بسیار شدید شدت رنگ محلول	بدون تأثیر بر شدت رنگ محلول	قابل استفاده در دوره زمانی کوتاه	قابل استفاده در دوره زمانی کوتاه	بدون تغییر در شدت رنگ حتی در محیط کاملاً قلیایی	بدون تغییر در شدت رنگ حتی در محیط کاملاً اسیدی	

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در طراحی یک عملیات ردیابی و انتخاب ردیاب مناسب، توجه به شرایط هیدروژئولوژیکی آبخوان و هیدروشیمی آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است به گونه‌ای که در نظر نگرفتن آن‌ها ممکن است به شکست پروژه منجر شود. طبق نتایج بدست آمده، از جمله مهم‌ترین عوامل محیطی بازدارنده بر کارایی ردیاب‌ها می‌توان به محیط تأثیر ریزدانه بر رودامین B و پرمنگنات پتاسیم اشاره نمود. نیز می‌توان گفت که وجود آلاینده‌های اکسید کننده همچون کلر آزاد از عواملی است که ردیاب‌های رنگی فلورسنت را تحت تأثیر منفی قرار می‌دهد. رودامین B و پرمنگنات پتاسیم در شرایط دمای بالا نیز ناپایدار بوده و مناسب نیستند. همچنین از بین ردیاب‌های انتخاب شده، اوراین در محیط‌های اسیدی به طور موقت ناپایدار است. در شرایط نور شدید، اوترین و پس از آن اوراین و پرمنگنات پتاسیم ردیاب‌های ناپایداری بوده و در این شرایط استفاده از آن‌ها توصیه نمی‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Conc: Concentration
2- FI: Fluorescence Intensity

۶- سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مؤسسه تحقیقات آب (واقع در تهران- ایران) وابسته به وزارت نیرو، در گروه آب‌های زیرزمینی پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب و گروه محیط زیست پژوهشکده هیدرولیک به انجام رسیده است که بدینوسیله از مسئولین مربوطه سپاسگزاری می‌شود.

۷- مراجع

اسد پور، ج. (۱۳۸۰) "بررسی هیدروژئولوژی کارست در تاق‌دیس راوندی سد سیمه با استفاده از ماده رنگی رودامین B"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

- Imes, J. L. and Fredrick, B. S. (2002) "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*, Fact Sheet 103-02, 6 p.
- Lindqvist, L. (1960) "A flash photolysis study of fluorescein" *Ark. Kemi*, 16, 8, pp. 79-137.
- Mon, J., Flury, M. and Harsh, J. B. (2006) "Sorption of four trarylmethan dyes in a sandy soil determined by batch and column experiments" *Journal of Geoderma*, 133, 3-4, pp. 217-224.
- Morales, T., Valderrama. I. F., Uriarte, J. A., Antigüedad, I. And 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.
- Seiler, K., Maloszewski, P. and 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.
- Smart, P. L. and Laidlaw, I. M. S. (1977) "An evaluation of some fluorescent dyes for water tracing" *Journal of Water Resources Research*, 13(1), pp. 15-33.
- Ammann, A. Hoehn, E. and Koch, S. (2003) "Ground water pollution by roof runoff infiltration evidenced" *Journal of Water Research*, 37, pp. 1143-1153.
- ASTM, (2000) "Annual Book of ASTM Standards Water and Environmental Technology" Volume 11.01 water (I), pp. 88-94.
- Benischke, R. (2005) "Fluorescent tracers in hydrology" Institute for Geothermic and Hydrogeology, Graz, Austria.
- 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.
- Davis, S. N., Campbell, D. J., Bentley, H. W. and Flynn, T. J. (1985) "Ground water tracers" National Water Well Association, Worthington Ohio, 200p.
- Deaner, D. G. (1973) "Effect of chlorine on fluorescent dyes" *J. Water Pollut. Contr. Fed.*, 45(3), pp. 507-514., As cited by Smart and Laidlaw 1977.
- Einsiedl, F. (2005) "Flow system dynamics and water storage of a fissured-porous karst" *Journal of Hydrology*, 312, pp. 312-321.