

## حذف آرسنیک آب آشامیدنی با استفاده از پراکسید هیدروژن و کلراید فریک

دکتر حسین پورمقدس<sup>۱</sup> مهندس فردوس کرد مصطفی پور<sup>۲</sup> مهندس حسین علیدادی<sup>۲</sup> مهندس غلامحسین حیدری<sup>۳</sup>

۱- عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان ( دانشکده بهداشت )

۲- دانشجویان دکترای بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی اصفهان ( دانشکده بهداشت )

۳- عضو هیات علمی دانشگاه علوم پزشکی زاهدان ( دانشکده بهداشت )

### چکیده :

**مقدمه :** آرسنیک عنصری است که در ترکیبات پوسته زمین وجود دارد . محیط زیست از طریق منابع طبیعی و فعالیت های بشری با آرسنیک آلودگی پیدا کرده است . هم اکنون تخمین زده می شود که بیشتر از ۱۰۰ میلیون نفر آبی مصرف می نمایند که غلظت آرسنیک آن از حداکثر مقدار مجاز تعیین شده ، بیشتر است . آرسنیک هم سمی و هم سرطان زا است . اشکال معدنی آرسنیک در آب حل می شوند که مهمترین نوعی است که انسان را در مرض خطر ابتلا به بیماری ها قرار می دهد . آرسنیک در غلظت های زیاد در آب آشامیدنی می تواند سبب سرطان پوست ، ریه در انسان ها و بیماری های دیگر شود .

هدف از انجام این تحقیق کاهش غلظت آرسنیک در آب آشامیدنی با استفاده از یک اکسیدکننده و یک کوآگولانت است .

**روش :** به نمونه های آب آشامیدنی شهر غلظت مشخصی از آرسنیک (آرسنیت سدیم) اضافه گردید . در مرحله اول، pH بهینه با استفاده از جارتست و غلظت مشخص اکسید کننده پراکسید هیدروژن و کوآگولانت کلراید فریک تعیین گردید . سپس با غلظت های ۳ و ۵ میلی لیتر در لیتر پراکسید هیدروژن و کلراید فریک ۵، ۱۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ میلی گرم در لیتر ، مقدارهای ایتیمم پراکسید هیدروژن و کلراید فریک برای حذف آرسنیک تعیین گردید . غلظت آرسنیک در آب به روش رنگ سنجی دی اتیل دی تیو کاربامات تعیین گردید .

**بحث و نتیجه گیری :** برای حذف آرسنیک در غلظت های ۱/۲ و ۲ میلی گرم در لیتر و اکسید کننده پراکسید هیدروژن با غلظت ۲ میلی لیتر در لیتر و کوآگولانت کلراید فریک با غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر ، pH بهینه بین ۶ تا ۷ تعیین گردید . نتایج همچنین نشان داد که در غلظت ۲ میلی گرم در لیتر آرسنیک و غلظت ۵ میلی لیتر در لیتر پراکسید هیدروژن و ۵ میلی گرم در لیتر کلراید فریک ، راندمان حذف بیش از ۹۰ درصد بوده است .

**کلید واژه ها :** حذف آرسنیک ، پراکسید هیدروژن ، کلراید فریک ، اکسیداسیون ، کوآگولاسیون .

## مقدمه

افزایش جمعیت و تقاضای بیشتر برای غذا و دیگر لوازم زندگی، باعث شده است که بشر محیط زیست را جهت تامین نیازهای خود دستخوش تغییرات نماید. کارخانجات، ایجاد سد ها، راه ها، استفاده بیشتر از منابع آب های سطحی و زیرزمینی، استخراج معادن و توسعه کشاورزی همراه با استفاده از سموم آفت کش و کود باعث آلودگی محیط زیست به انواع فلزات سمی و سموم شده است.

امروزه برخی از این آلاینده ها ضمن آلودگی محیط زیست وارد چرخه غذایی شده اند و سلامت بشر را تهدید می نمایند. برخی از این آلاینده ها آب ها را آلوده نمودند که می توانند بطور مستقیم سلامت انسان ها را مورد تهدید قرار دهند و ضمن بیماری های مختلف، موجب سرطان و حتی مرگ شوند. از جمله این آلاینده ها، آرسنیک است که آب های برخی از مناطق جهان به آن آلودگی پیدا نموده است. آرسنیک عنصری است که در ترکیبات مختلف پوسته زمین وجود دارد. محیط زیست از راه های طبیعی فعالیت انسان با آرسنیک آلودگی پیدا می نماید که این آلودگی مربوط به همه جای کره زمین است. آرسنیک عمدتاً در محیط بوسیله آب انتقال می یابد. هم اکنون، مشکل اصلی آلودگی آب زیرزمینی در بنگلادش، بنگال غربی، هند، مرکز مغولستان، تایوان و برخی کشورهای آمریکای جنوبی است. بیشتر از ۱۰۰ میلیون نفر در معرض خطر گزارش شده اند (۱).

محققین اعتقاد دارند که آلودگی آب زیرزمینی به آرسنیک بدلیل تجزیه رسوبات زمینی حاوی آهن با آرسنیک است (۱). آرسنیک موجود در آب زیرزمینی را به رها شدن از مواد معدنی در قسمت زیر سطحی و ته نشست ها نسبت می دهند که بوسیله شرایط پتانسیل اکسیداسیون و کاهش متغیر تسهیل می شود (۲).

آرسنیک در محیط آبی در جایی که فعالیت گرمایی زمین زیاد است غلظتش بالا است. فرسایش خاک و رواناب کشاورزی غلظت آرسنیک را در رسوبات بالا می برند (۳).

فاضلاب صنایع منبع اصلی آرسنیک در محیط است. آرسنیک و ترکیبات آرسنیک در فاضلاب صنایع فلزی، شیشه سازی و سرامیک، ساخت رنگ و آفت کش ها، پالایشگاه نفت، صنایع خاک کمیاب و دیگر صنایع شیمیایی آلی و معدنی یافت می شود. آن در ساخت علف کش ها و آفت کش ها کاربرد دارد (۴). آب یکی از منابع مهم انتقال آرسنیک در محیط است (۳).

آرسنیک کلاً در شکل معدنی در منابع آب وجود دارد. آرسنیک در حالت اکسیداسیون +۵، +۳، +۳ و ۰ پایدار است. آرسنیک پنج ظرفیتی (+۵) یا گونه های آرسنات  $AsO_4^{3-}$ ،  $HAsO_4^{2-}$ ،  $H_2AsO_4^-$  هستند. آرسنیک سه ظرفیتی (+۳) یا گونه های آرسنیت شامل  $As(OH)_3$ ،  $As(OH)_4^-$ ،  $AsO(OH)_2^-$ ،  $AsO_3^{3-}$  هستند (۳).

کلاً تکنولوژی حذف آرسنیک در سه دسته اصلی قرار می گیرند: ۱- کوآگولاسیون - رسوب شیمیایی ۲- جذب سطحی ۳- جداسازی غشایی (۵)

سازمان محیط زیست آمریکا ذکر نموده است که کوآگولاسیون با نمک های آهن و آلومینیم و سبک سازی با آهک موثرترین فرآیند تصفیه برای حذف آرسنیک از آب است تا استاندارد اولیه آب آشامیدنی  $0.05 \text{ mg/l}$  بدست آید. اکسیداسیون  $As^{3+}$  به  $As^{5+}$  و حذف با استفاده از فرآیند بالا سفارش شده است (۳) بعد از اکسیداسیون آرسنیک با استفاده از کوآگولاسیون - رسوب و جذب سطحی، آرسنیک را می توان حذف نمود (۵).

Scott و همکاران (۱۹۹۵) مطالعات تمام مقیاسی را در آب شهری ناحیه کالیفرنای جنوبی جهت تعیین حذف آرسنیک با استفاده از آلوم و کلرایدفریک انجام دادند. متوسط غلظت آرسنیک در آب منبع  $2/1$  میکروگرم در لیتر بود. هنگامی که منبع آب با ۳ تا ۱۰ میلی گرم در لیتر کلرایدفریک تصفیه می شد، حذف آرسنیک ۸۱ تا ۹۶ درصد بود. هنگامی که آب منبع با ۶، ۱۰ یا ۲۰ میلی گرم در لیتر آلوم تصفیه می شد، حذف آرسنیک ۲۳ تا ۷۱ درصد بود (۶).

McNeill و Edwards (۱۹۹۷) گزارش کرده اند که حلالیت و پایداری فلوک های هیدروکسید فلزی نقش مهمی را در حذف آرسنیک بازی می نمایند. هنگامی که کوآگولانت های فریک اضافه می شود، بیشتر آنها نهایتاً تبدیل به هیدروکسیدفریک می شوند. به هر حال در کوآگولاسیون با آلوم، قسمت زیادی از آلومینیم افزوده شده، همچون کمپلکس های محلول باقی می ماند. بدلیل اینکه فقط ذرات هیدروکسیدهای فلزی می توانند حذف آرسنیک را موجب شوند، واحدهایی که آلوم را مصرف می نمایند بایستی به دقت حلالیت آلومینیم را مورد ملاحظه قرار دهند در زمانی که آرسنیک بایستی حذف شود، کمپلکس های آلومینیم می تواند از فیلترها عبور نماید و حذف کلی آرسنیک را کاهش دهد (۶).

Hering و همکاران (۱۹۹۶) در آزمایشات کوآگولاسیون با کلرایدفریک در pH مساوی ۷ ثابت کردند که حذف  $As^{3+}$  و  $As^{5+}$  بستگی بر دوز کوآگولانت دارد. حذف کامل  $As^{5+}$  برای دوزهای کوآگولانت بالای  $5 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک مشاهده شده بود. حذف کامل  $As^{3+}$  تحت شرایط آزمایش مشاهده نشده بود (۶).

Sorg و Logsdon (۱۹۷۸) ثابت کردند که بالاترین حذف آرسنیک در کوآگولاسیون با آلوم در pH مساوی ۵ تا ۷ و در کوآگولاسیون با فریک در pH مساوی ۵ تا ۸ بدست می آید (۶).

Edwards (۱۹۹۴) به این نتیجه رسید که در دوزهای بالای کوآگولانت، حذف  $As^{5+}$  برای کوآگولانت های آلوم و فریک در pH مساوی  $7/6$  یا کمتر شبیه هم است. به هر حال در مقادیر pH بیشتر از  $7/6$ ، متوسط حذف ۸۷ درصد برای  $10 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک و فقط ۶۷ درصد برای  $20 \text{ mg/l}$  آلوم است. Edwards با بررسی اطلاعات تحقیقی جمع آوری شده قبلی برای حذف  $As^{3+}$  بوسیله کوآگولاسیون با آهن و آلومینیم ثابت نمود که حذف  $As^{3+}$  خیلی بالاتر در طول کوآگولاسیون با آهن در مقایسه با آلوم است بعلاوه حذف  $As^{3+}$  بوسیله جذب سطحی در داخل هیدروکسیدهای آلومینیم بطور برجسته ای در pH بالای ۸ کاهش می یابد (۶).

Hering و همکاران (۱۹۹۶) اثر معکوس را مشاهده کردند. در آزمایشات کوآگولاسیون با کلرایدفریک در محدوده pH ۴ تا ۹، pH هیچ نفوذی در حذف  $As^{5+}$  ندارد. به هر حال وابستگی شدید pH برای  $As^{3+}$  در آزمایشات کوآگولاسیون با کلرایدفریک، با حداقل کارایی در pH مساوی ۶ مشاهده شده بود (۶).

Hering و همکاران (۱۹۹۶) در آزمایشات کوآگولاسیون ثابت کردند که با دوز  $4/9 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک در pH مساوی ۷ و غلظت اولیه آرسنیک از ۲ تا  $100$  میکروگرم در لیتر،  $As^{3+}$  و  $As^{5+}$  مستقل از غلظت اولیه حذف می شوند. Cheng و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که حذف  $As^{5+}$  هنگامی که با  $20 \text{ mg/l}$  آلوم و  $30 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک تصفیه می شود، مستقل از غلظت اولیه است، که غلظت اولیه  $As^{5+}$  از  $2/2$  تا  $128$  میکروگرم در لیتر متغیر بود (۶).

Hering و همکاران (۱۹۹۶) اثرات سولفات و کلسیم، بر کارایی حذف  $As^{3+}$  و  $As^{5+}$  در طول کوآگولاسیون با  $4/9 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک را بررسی نمودند. به هر حال فقط کمی کاهش در  $As^{5+}$  مشاهده شد. در pH بالاتر، حذف  $As^{5+}$  در حضور کلسیم افزایش داشت (۶).

آلاینده های معدنی از قبیل آرسنیک نیز می تواند در طول تصفیه کوآگولاسیونی با آلوم یا کلرایدفریک از طریق جذب سطحی، Occlusion (تله افتادن آلاینده جذب شده در قسمت داخلی ذرات رشد کرده) و تشکیل جامد - محلول (پیوستگی آلودگی به داخل فاز توده ترجیحاً فقط بر سطح در حال رسوب) حذف شود. در دوز کوآگولانت بالا، جذب سطحی آلاینده های معدنی به جامدات هیدروکسید فلزی احتمالاً مکانیسم غالب برای حذف آلودگی است. رسوب فازهای جامد با آلودگی مانند یون جز جامد از قبیل آرسنات فریک یا محلول های جامد آرسنات فریک با هیدروکسیدفریک فقط اگر حاصل ضرب حلالیت جامد زیاد شود، رخ می دهد که در غلظت آلودگی کم بعید است (۷).

به تله افتادن در طول کوآگولاسیون، آرسنیک ذره ای را حذف خواهد کرد. حذف جز محلول بوسیله واکنش های متقابل سطح مابین آرسنیک و فلوک آلومینیم است. در مقالات ذکر شده است که  $As^{5+}$  محلول بوسیله جذب سطحی به فلوک پایه آلومینیم حذف می شود اما  $As^{3+}$  محلول نمی تواند حذف شود. زلال سازی در حذف بیش از ۹۰ درصد  $As^{5+}$  به تله افتاده و جذب سطحی شده مؤثر است (۸).

حذف  $As^{3+}$  در طول کوآگولاسیون با آلوم، کلرایدفریک و سولفات فریک نشان داده است که کم اثرتر نسبت به حذف  $As^{5+}$  تحت شرایط قابل مقایسه است. حذف بهتر  $As^{5+}$  در طول کوآگولاسیون با  $Fe^{3+}$  نسبت به نمک های آلومینیم بر پایه وزنی بدست می آید (یعنی میلی گرم در لیتر بر حسب کلرایدفریک یا آلوم)، به هر حال کارایی حذف بر پایه مولاری (یعنی مول  $Fe^{3+}$  یا  $Al^{3+}$  در لیتر) شبیه است (۷).

$Fe^{3+}$  نمک هایی هستند که جهت کوآگوله کردن مواد کلوئیدی در تصفیه آب بیشترین استفاده دارند که نمک به یون های فلزی هیدرولیز می شوند. هنگامی که به آب اضافه می شوند، نمک  $Fe^{3+}$  به یون های سه ظرفیتی  $Fe^{3+}$  دیسوسیسه می شوند، پس از آن با مولکول های آب تشکیل کمپلکس های هیدروکسیدی  $[Fe(H_2O)_6]^{3+}$  را می دهند. این کمپلکس ها سپس با آب بوسیله جایجایی مولکول های آب در در کمپلکس فلزی - آبکی با یون های  $OH^-$  واکنش می دهند. این واکنش های بعدی واکنش های هیدرولیتیک نامیده می شود. واکنش های هیدرولیتیکی نتیجه اش تشکیل چندین گونه محلول شامل کمپلکس های منومریک، دی

مربک و پلی مربک هیدروکسی فلزی است هنگامی که نمک  $Fe^{3+}$  به آب در مقادیر کمتر از حد حلالیت هیدروکسی اضافه میشوند، محصولات هیدرولیز شکل خواهند گرفت و ذرات کلئید را جذب سطحی مینمایند. جذب سطحی محصولات هیدرولیز، سبب ناپایداری بوسيله خنثی سازی بار خواهند شد. به هر حال هنگامی که مقادیر  $Fe^{3+}$  اضافه شده به آب از حد حلالیت هیدروکسید بگذرد، محصولات هیدرولیز همچون میانه سنتیکی با احتمال رسوب هیدروکسید فلزی شکل خواهد گرفت. در این حالت، خنثی سازی بار و به دام انداختن در رسوب جهت ناپایدار کردن و کوآگوله کردن کلئیدها عمل می نماید. حلالیت  $Fe(OH)_3$  در pH مساوی ۸/۲ حداقل است و چنانچه از این نقطه pH افزایش یا کاهش یابد، حلالیت افزایش می یابد. رسوب هیدروکسید فلزی amorphous برای کوآگولاسیون جارویی فلوک ضروری است. pH بایستی جهت تامین شرایط ایتیمم برای کوآگولاسیون کنترل شود. برای pH زیر نقطه ایزوالکتریک هیدروکسید فلزی بار مثبت پلیمرها (میانه سنتیکی) شکل خواهد گرفت. جذب سطحی این پلیمرهای مثبت می تواند بار کلئیدهای منفی را بوسيله خنثی سازی بار ناپایدار نماید. بالای نقطه ایزوالکتریک پلیمرهای منفی غالب خواهند شد و ناپایدار شدن بوسيله تشکیل پل بدست می آید (۹).

هنگامی که  $As^{5+}$  به راحتی بوسيله کوآگولاسیون شیمیایی و جذب سطحی حذف می شود، اکسیداسیون کامل  $As^{3+}$  به  $As^{5+}$  نیاز است (۵).

حذف مؤثر آرسنیک از آب نیازمند اکسیداسیون کامل  $As^{3+}$  است مخصوصاً اگر استاندارد آب آشامیدنی پایین باشد. انواع روش های اکسیداسیون قابل دسترس وجود دارند اما در تصفیه آب آشامیدنی ملاحظاتی از قبیل محدودیت لیست مواد شیمیایی، باقیمانده اکسیدانت، محصولات فرعی اکسیداسیون و اکسیداسیون اجزا معدنی و آلی آب وجود دارد. بنابراین مقررات ملی تصفیه آب آشامیدنی در انتخاب اکسیدانت مهم است.

در فرآیند اکسیداسیون با مواد شیمیایی، اکسیدانت مؤثر، کلر آزاد، هیپوکلریت، ازن، پرمنگنات و پراکسید هیدروژن /  $Fe^{2+}$  (معرف فنتون) هستند اما کلر آمین استفاده نمی شود (۱۰).

پراکسید هیدروژن یکی از قوی ترین اکسیدکننده هایی است که تا حال شناخته شده است. حتی از کلر، دی اکسید کلر و پرمنگنات پتاسیم قوی تر است. ضمن استفاده از پراکسید هیدروژن بعنوان کنترل آلاینده ها، آن در صنایع نساجی، کاغذسازی، غذایی، معدنی، پتروشیمی و دترجنت ها استفاده می شود. امروزه حتی در مواردی همچون هوا، آب و فاضلاب، خاک و لجن کاربرد دارد (۱۱).

هدف از اجرای این تحقیق کاهش غلظت آرسنیک با استفاده از یک اکسید کننده و یک کوآگولانت و بدست آوردن غلظت مناسب آنها است.

### روش اجرا

غلظت معین آرسنیک (۲-۲/۰ میلی گرم در لیتر) در آب شهری و بطور مصنوعی با استفاده از آرسنیت سدیم ساخته خواهد شد. آزمایشات با سه متغیر pH، پراکسید هیدروژن و کلراید فریک پیش خواهد رفت. برای بدست آوردن pH بهینه حذف آرسنیک یک ظرف دستگاه جارست را بدون افزودن پراکسید هیدروژن و کلراید فریک بعنوان شاهد انتخاب می نمایند. هر یک از ظروف دیگر دستگاه جارست را با یک لیتر آب شهری که دارای غلظت مشخص آرسنیک است، پر می نماییم. با استفاده از هیدروکسید سدیم و اسید کلریدریک نمونه ها در pH مابین ۱۰-۳ تنظیم می شود. در مرحله اول آزمایش ۲ میلی لیتر در لیتر پراکسید هیدروژن ۳۵ درصد بعنوان اکسید کننده و ۱۰ میلی گرم در لیتر کلراید فریک بعنوان کوآگولانت استفاده خواهد شد و در مرحله دوم، این غلظت ها به ۵ میلی لیتر در لیتر پراکسید هیدروژن و ۵۰ میلی گرم در لیتر کلراید فریک خواهد رسید.

پس از بدست آوردن pH بهینه، به نمونه ها در هر مرحله ۳ و ۵ میلی لیتر در لیتر پراکسید هیدروژن و ۵، ۱۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵ میلی گرم در لیتر کلراید فریک اضافه خواهد شد و آزمایش در غلظت های آرسنیک ۲۰۰ و ۲۰۰ میکروگرم در لیتر پیش خواهد رفت. پراکسید هیدروژن در ظرف یک لیتری جارقبل از تزریق کلراید فریک اضافه می شود و پس از افزودن کلراید فریک نمونه ها در ۲۰۰ دور در دقیقه به مدت یک دقیقه و سپس ۴۵ دور در دقیقه برای ۱۰ دقیقه در جارست به هم زده می شود سپس به نمونه ها اجازه داده می شود تا به آهستگی برای ۲۰ دقیقه ته نشین شوند. پس از آن ۱۰۰ میلی لیتر نمونه در زیر یک سانتی متری سطح آب برداشته شده و پس از فیلتر کردن، مقدار آرسنیک آن تعیین می شود. برای هر نمونه pH و کدورت قبل و بعد از انجام موارد بالا تعیین می شود. آزمایشات بر طبق کتاب استاندارد متد انجام خواهد شد (۱۲). این تحقیق در سال ۸۱ در دانشگاه علوم پزشکی اصفهان - دانشکده بهداشت انجام شده است.

## نتایج

### ۱- تعیین pH بهینه حذف آرسنیک

الف) برای غلظت اولیه آرسنیک  $0.2 \text{ mg/l}$ .

با توجه نمودار شماره ۱ ملاحظه می شود که بیشترین درصد حذف آرسنیک در pH های مساوی ۵ و ۸ بدست می آید که حذف آرسنیک برای این pH ها برابر با ۹۸ درصد است که کدورت خروجی اندازه گیری شده در پایان آزمایش به ترتیب برابر  $4.44 \text{ NTU}$  و  $0.9 \text{ NTU}$  است. با رساندن pH به ۶ و ۷ با اینکه کمی از درصد حذف آرسنیک کاهش می یابد اما کدورت خروجی به ترتیب  $0.9 \text{ NTU}$  و  $0.85 \text{ NTU}$  می رسد.

ب) برای غلظت اولیه آرسنیک  $2 \text{ mg/l}$

بیشترین درصد حذف آرسنیک در pH مساوی ۵ اتفاق می افتد که حذف آرسنیک برابر با ۸۱ درصد است. کدورت خروجی اندازه گیری شده در پایان آزمایش در این pH برابر با  $6.58 \text{ NTU}$  است. با افزایش pH و رسیدن به نقطه ۶ الی ۷ با اینکه درصد حذف آرسنیک کاهش می یابد و به ترتیب برابر با ۶۲ و ۶۵ درصد است. اما کدورت خروجی به ترتیب به  $2.32 \text{ NTU}$  و  $0.58 \text{ NTU}$  می رسد. با ملاحظه موارد ذکر شده و با توجه به استاندارد کدورت خروجی در تصفیه خانه های آب که توسط سازمان محیط زیست آمریکا  $1 \text{ NTU}$  در نظر گرفته شده است، pH مابین ۶-۷ بهترین pH به جهت حذف بالاتر آرسنیک و هم رعایت استاندارد خروجی کدورت انتخاب می شود (نتایج فوق در نمودار شماره ۲ بیان شده است).

### ۲- تعیین غلظت مناسب پراکسید هیدروژن و کلرایدفریک

الف) برای غلظت اولیه آرسنیک  $0.2 \text{ mg/l}$  و کاربرد  $3 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن

نمودار شماره ۳ نشان می دهد که با افزایش دوز کلرایدفریک تا  $15 \text{ mg/l}$  ضمن اینکه حذف آرسنیک افزایشی را از خود نشان می دهد، کدورت خروجی هم افزایش می یابد. بعد از این نقطه با افزایش دوز کوآگولانت تا مقدار  $45 \text{ mg/l}$  مقدار کدورت کاهش یافته و به  $0.18 \text{ NTU}$  می رسد. با افزایش دوز کوآگولانت و رساندن آن به ۵۵ مواجه با افزایش کدورت به میزان  $0.1 \text{ NTU}$  می شویم. در این مرحله می توان نتیجه گرفت که بهترین دوز کلرایدفریک با توجه به درصد حذف آرسنیک و مقدار کدورت خروجی،  $45 \text{ mg/l}$  است.

ب) برای غلظت اولیه آرسنیک  $0.2 \text{ mg/l}$  و کاربرد  $5 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن

نمودار شماره ۳ نشان می دهد که بالاترین درصد حذف آرسنیک در دوز کلرایدفریک  $55 \text{ mg/l}$  بدست می آید که کدورت خروجی برابر با  $0.41 \text{ NTU}$  را دارا است. در دوزهای کوآگولانت ۱۵ و ۳۵ میلی گرم در لیتر، با اینکه درصد حذف آرسنیک به ترتیب از  $65/5$  به  $62/5$  درصد می رسد اما کدورت خروجی به ترتیب برابر با  $0.83 \text{ NTU}$  و  $0.19 \text{ NTU}$  است. پس از این مرحله و با افزایش دوز کوآگولانت کلرایدفریک و رساندن آن به  $45 \text{ mg/l}$ ، درصد حذف بطور سریعی کاهش یافته و به ۱۵ درصد می رسد که کدورت خروجی برابر با  $2.74 \text{ NTU}$  را ایجاد می نماید. در این مرحله می توان نتیجه گرفت که بهترین دوز کلرایدفریک  $55 \text{ mg/l}$  است.

ج) برای غلظت اولیه آرسنیک  $2 \text{ mg/l}$  و کاربرد  $3 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن

نمودار شماره ۴ نشان می دهد که بالاترین درصد حذف آرسنیک در دوز کلرایدفریک  $45 \text{ mg/l}$  است که حذفی برابر با ۴۸ درصد را دارد، کدورت خروجی آن برابر با  $0.26 \text{ NTU}$  است. با افزایش یا کاهش دوز کلرایدفریک ضمن کاهش درصد حذف آرسنیک، کدورت به شدت افزایش می یابد.

در این مرحله می توان نتیجه گرفت که بهترین دوز کلرایدفریک  $45 \text{ mg/l}$  است.

د) برای غلظت اولیه آرسنیک  $2 \text{ mg/l}$  و کاربرد  $5 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن

نمودار شماره ۴ نشان می دهد بالاترین درصد حذف آرسنیک به ترتیب در دوزهای ۳۵ و ۵۵ میلی گرم در لیتر کلرایدفریک بدست می آید که درصد حذف آرسنیک به ترتیب برابر با  $97/5$  و  $96/5$  درصد و کدورت خروجی برابر با  $0.23 \text{ NTU}$  و  $0.53 \text{ NTU}$  است. با بررسی نمودار ۴ مشاهده می شود که در دوز کلرایدفریک بیشتر از  $20 \text{ mg/l}$  ضمن اینکه درصد حذف آرسنیک افزایش می یابد، از میزان کدورت خروجی کاسته می شود. در این مرحله بهترین دوز کلرایدفریک  $35 \text{ mg/l}$  است.

با بررسی نمودار ۴ مشاهده می شود که در غلظت اولیه آرسنیک  $0.2 \text{ mg/l}$  هنگامی که غلظت پراکسید هیدروژن از ۳ به ۵ میلی لیتر در لیتر رسانده شود، تا دوز حدود  $20 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک، حذف آرسنیک افزایش داشته اما با افزایش دوز کلرایدفریک و غلظت  $5 \text{ ml/l}$

پراکسید هیدروژن تا دوز  $45 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک درصد حذف کاهش می یابد اما پس از این نقطه و افزایش دوز کوآگلانت و رساندن آن به  $55 \text{ mg/l}$ ، بالاترین راندمان حذف بدست می آید.

با کاربرد  $3 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن تا دوز  $45 \text{ mg/l}$  کلرایدفریک راندمان حذف افزایش می یابد اما پس از آن با افزایش دوز کلرایدفریک راندمان کاهش می یابد. با در نظر گرفتن مقدار کدورت خروجی، می توان نتیجه گرفت که بهترین دوز کلرایدفریک جهت حذف آرسنیک در غلظت کم ( $2 \text{ mg/l}$ )،  $45 \text{ mg/l}$  و  $3 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن است.

با بررسی نمودار مشاهده می شود که در غلظت اولیه آرسنیک  $2 \text{ mg/l}$ ، هنگامی که مقدار پراکسید هیدروژن از  $3$  به  $5$  میلی لیتر در لیتر رسانده می شود، درصد حذف آرسنیک افزایش می یابد (دوز کلرایدفریک  $35 \text{ mg/l}$ ) در دوز  $45 \text{ mg/l}$  و غلظت  $3 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن، راندمان حذف افزایش می یابد، در صورتی که غلظت پراکسید هیدروژن به  $5 \text{ ml/l}$  در همین نقطه رسانده شود، راندمان حذف آرسنیک کاهشی را از خود نشان می دهد، یعنی راندمان حذف از  $48$  درصد به  $17/5$  درصد کاهش می یابد که به ترتیب در غلظت های  $3$  و  $5$  میلی لیتر در لیتر پراکسید هیدروژن است. با در نظر گرفتن مقدار کدورت خروجی، می توان نتیجه گرفت که بهترین دوز کلرایدفریک  $45 \text{ mg/l}$  و  $5 \text{ ml/l}$  پراکسید هیدروژن است.

### بحث و نتیجه گیری

آرسنیک از سمومی است که از دو راه وارد محیط زیست گردیده است. راه طبیعی که سالیان طولانی این عمل ادامه داشته و راه مصنوعی آن که پس از پیشرفت بشری حاصل گردیده است. در حال حاضر بشر مجبور است تا حد خاص غلظت آرسنیک را در آب آشامیدنی بپذیرد تا از خطرات ناشی از آرسنیک جلوگیری بعمل آورد. روش های مختلفی جهت حذف آرسنیک از آب پیشنهاد گردیده است اما مسئله ای که اهمیت دارد کم هزینه بودن روش و تطبیق آن با روش های معمولی تصفیه آب است.

یکی از روش های حذف آرسنیک که در حال حاضر مورد توجه است و بوسیله سازمان محیط زیست آمریکا بر آن تاکید شده است، حذف آرسنیک با استفاده از کوآگلوسایون و رسوب است. شاید یکی از مزایای این روش تطبیق آن با روش مرسوم تصفیه آب است. مشکلی که در حذف آرسنیک از آب آشامیدنی وجود دارد، کارایی کم حذف آرسنیک سه ظرفیتی با این روش است که به یک اکسید کننده جهت اکسیداسیون و تبدیل آن به آرسنیک پنج ظرفیتی نیاز است.

در این تحقیق جهت اکسیداسیون آرسنیک از پراکسید هیدروژن استفاده شده است. پراکسید هیدروژن از اکسید کننده های قوی است که تاکنون شناخته شده است و حتی اکسیدکنندگی آن از کلر هم قوی تر است. کوآگلانتی که جهت کوآگلوسایون و رسوب شیمیایی آرسنیک پنج ظرفیتی انتخاب شده است کلرایدفریک است. کلرایدفریک در محدوده  $\text{pH}$  مابین  $5/6 - 5/3$  عملکرد خوبی داشته و تقریباً کمترین حلالیت را در آب از خود نشان می دهد.

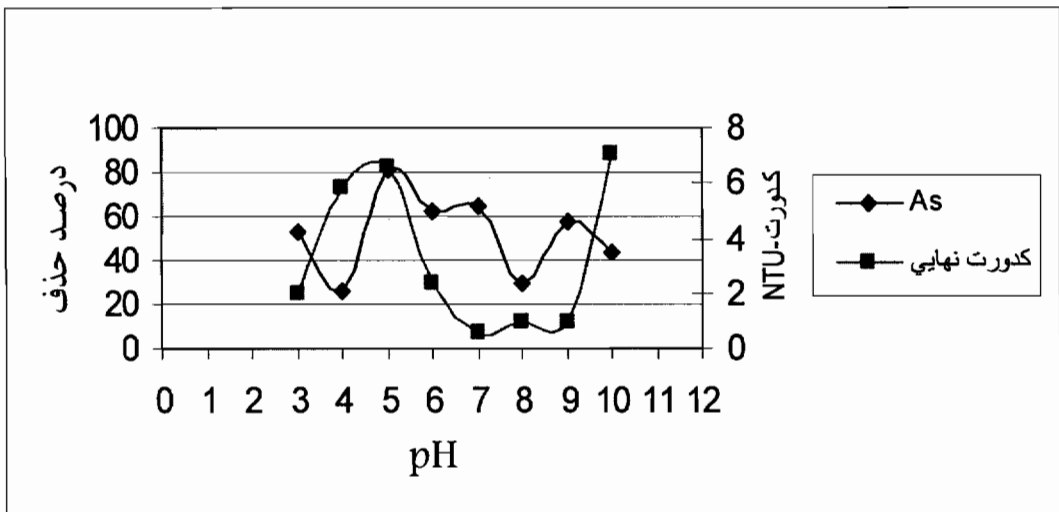
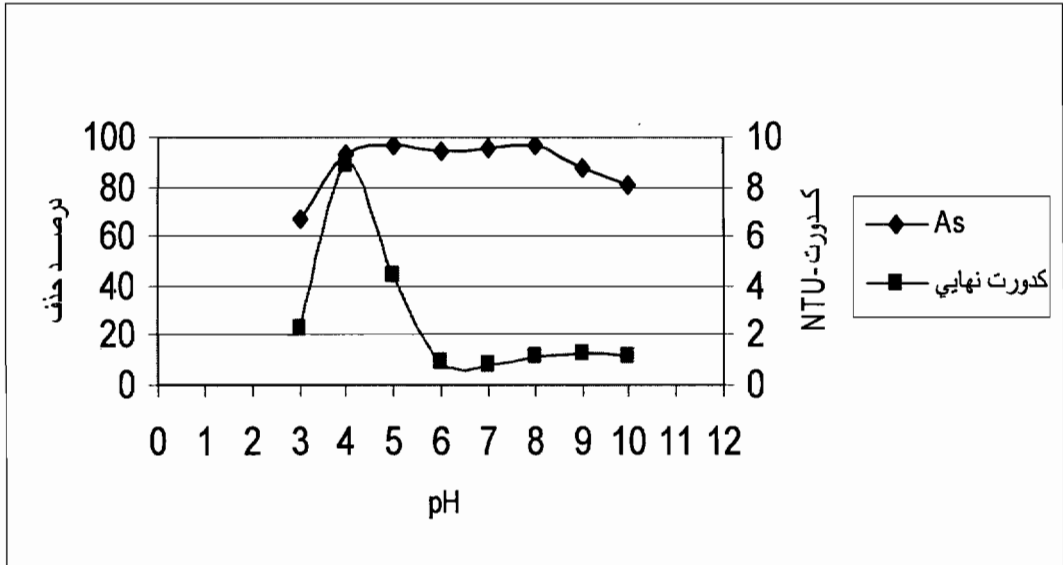
در این تحقیق نتایج زیر بدست آمده است:

- $\text{pH}$  بهینه جهت حذف آرسنیک با راندمان بالا و دارا بودن کمترین مقدار کدورت خروجی،  $6/5$  است.
- غلظت پراکسید هیدروژن جهت اکسیداسیون آرسنیک  $3-5 \text{ ml/l}$  مناسب است که بستگی بر غلظت اولیه آرسنیک سه ظرفیتی دارد.
- دوز کلرایدفریک که در این  $\text{pH}$  بهینه بتوان بالاترین راندمان حذف آرسنیک را داشت، مابین  $45 - 35$  میلی گرم در لیتر است.
- بالاترین راندمان حذف بدست آمده با توجه به موارد بالا بیش از  $90$  درصد است.

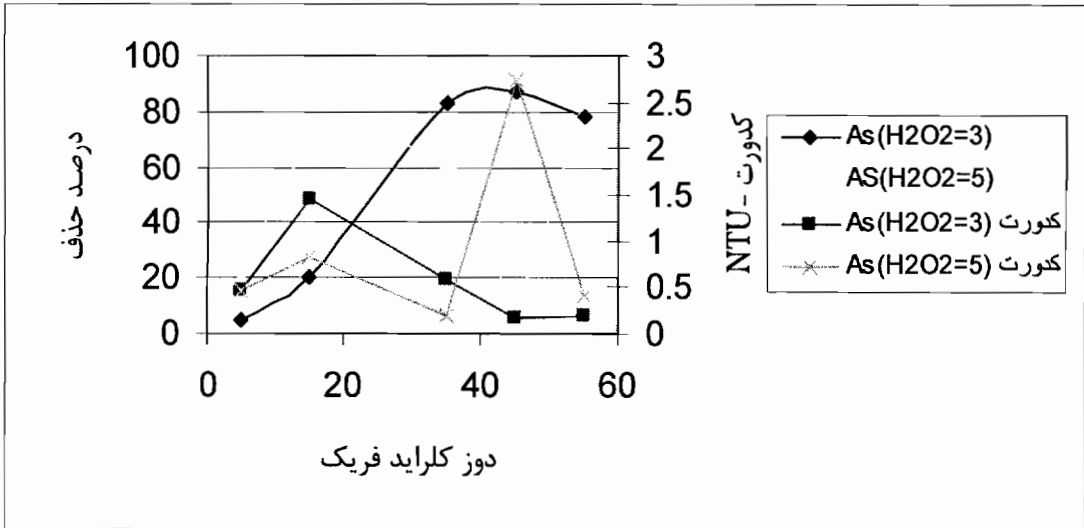
### منابع:

- 1- Krishna, M.V.B., Chandrasekaran, K., Karunasagar, D., and Arunachalam, J., "A combined treatment approach using Fenton's reagent and zero valent iron for the removal of arsenic from drinking water", Journal of Hazardous Materials, PP. 229-240, 2001.
- 2- Ramaswami, A., Tawachsupa, S., and Isleyen, M., "Bach - mixed Iron Treatment of high Arsenic waters", water Research, Vol.35, No.18, PP. 4474-4479, 2001.
- 3- Viraraghavan, T., Subramanian, K.S., and Aruldoss, J.A., "Arsenic in drinking water - problems and solution", Wat.Sci.Tech.Vol.40, No.2, PP.69 - 76, 1999.
- 4- Patterson, J.W., "Industrial waste water Treatment Technology", Butter worth, U.S.A, 1985
- 5- Jiang, J.Q., "Removing arsenic from ground water for the developing world - a review", Wat.Sci.Tech.Vol.44, No.6, PP.89 - 98, 2001.
- 6- EPA., "Technology and costs for removal of Arsenic from Drinking water", U.S.A, 2002.
- 7- Hering, J.G., Chen, P.Y., Wilkie, J.A., Elimelech, M., and Liang, S., "Arsenic removal by ferric chloride", AWWA, PP.155 - 167, 1996

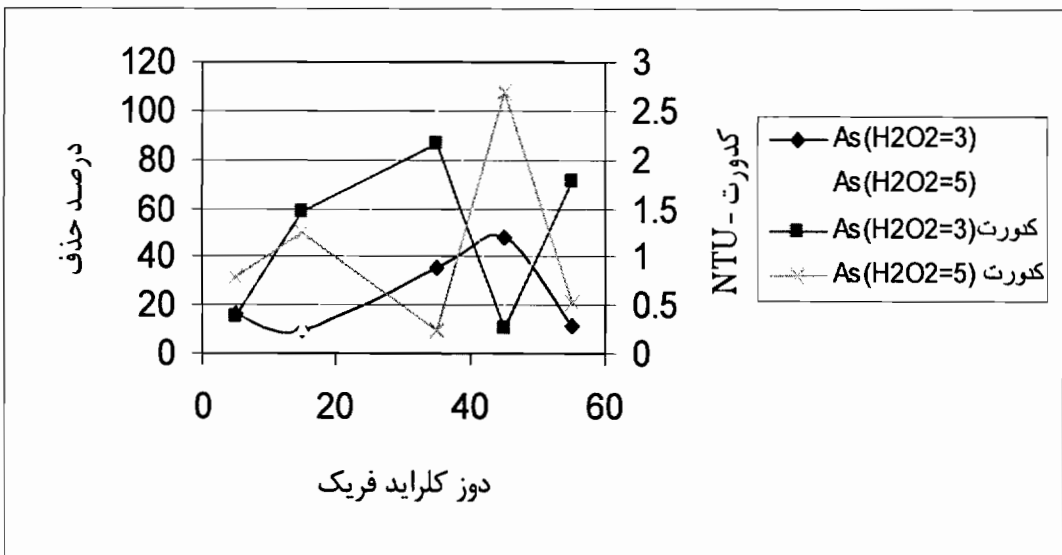
- 8- Gregor, J. , " Arsenic removal during conventional aluminium - based drinking - water treatment " , Wat.Res.Vol.35 , No.7 , PP.1656 - 1664 , 2001 .  
 9- HDR Engineering ing., "Handbook of public water system" ,seconde dition,john wiley,USA,2001  
 10- Driehaus , W. , Seith , R. , and Jekel , M. , " Oxidation of Arsenate(III) with Managanese oxides in water treatment " , Wat.Res.Vol.29 , PP.297 - 305 , 1995 .  
 11- [http:// WWW.h202.com/intro/overview.html](http://WWW.h202.com/intro/overview.html)  
 12- APHA , AWWA , WEF. , " Standard method for the examination of water and waste water " U.S.A , 1941 .



نمودار ( ۲ ) تغییرات درصد حذف آرسنیک ومقدار کدورت در آب آشامیدنی  
 (  $H_2O_2=2ml/l$  )  $FeCl_3=10mg/l$  ,  $As=0.2mg/l$  )



نمودار (۳) تغییرات درصد حذف آرسنیک و مقدار کدورت در آب آشامیدنی (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=3-5, ml/l, pH=6.5, As=0.2mg/l)



نمودار (۴) تغییرات درصد حذف آرسنیک و مقدار کدورت در آب آشامیدنی (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>= 3-5, ml/l, pH=6.5, As=2mg/l)

## Arsenic removal from drinking water using hydrogen peroxide and ferric chloride

H. Pourmoqaddass, F. Kord Mostafapour, H. Alidadi, Gh. Heydari

### Abstract

**INTRODUCTION:** Arsenic is a ubiquitous element present in various compounds throughout the earth crust. Earth environment has been polluted by arsenic through natural and anthropogenic sources. It has been estimated that more than 100 million people drink water which exceeded the arsenic standard level. Arsenic is a toxic and carcinogenic element. Inorganic arsenic in high concentration in drinking water could cause skin and lung cancer in human.

The results of research for arsenic removal from drinking water, using an oxidizing agent and a coagulant is presented in this article.

**Methods:** A known concentration of arsenic ( $\text{NaAsO}_2$ ) were added to drinking water sample. First optimum pH value were determined by Jar test method. Hydrogen peroxide, an oxidizing agent in 3 and 5 ml/l and ferric chloride as coagulant in the concentration of 5, 15, 35, 45 and 55 mg/l were added to the sample to remove arsenic from water. The concentration of As were determined using diethyldithiocarbamate method.

**Results and discussion:** The optimum pH value were 6 to 7 for the arsenic removal in the concentration of 0.2 and 2 mg/l with  $\text{H}_2\text{O}_2$  of 2 ml/l and  $\text{FeCl}_3$  10 mg/l. The results also showed that the efficiency of the removal of arsenic from water were more than 90 percent when the arsenic concentration were 2 ml/l, while  $\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{FeCl}_3$  concentrations were 5 ml/l and 50 mg/l respectively.

**KEY WORDS :** Arsenic Removal – Hydrogen Peroxide – Ferric Chloride – Oxidation – Coagulation .