

مجله دانشگاه علوم پزشکی قم  
دوره دوم - شماره ۱ - بهار ۸۷

## کارایی حذف آرسنیک از آب آشامیدنی توسط گرانول هیدروکسید آهن (GFH)

علیرضا عسگری\* دکتر امیرحسین محوی\*\* دکتر فروغ واعظی\*\*\* فاطمه خلیلی\*\*\*

\* کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

\*\* استادیار بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

\*\*\* دانشیار بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

\*\*\*\* کارشناس بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

### هکیده

#### زمینه و هدف

آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی به آرسنیک، در بسیاری از نقاط دنیا و از جمله در برخی نواحی استان کردستان گزارش شده است. هدف از انجام این مطالعه، بررسی کارایی حذف آرسنیک توسط گرانول‌های هیدروکسید آهن (GFH) به‌عنوان یک جاذب جدید می‌باشد.

#### روش بررسی

در این مطالعه اثر تغییرات زمان، غلظت آرسنیک، وزن جاذب، PH، اثر یون‌های سولفات و کلراید در حذف آرسنیک و همچنین میزان آهن افزوده شده به آب در حضور و عدم حضور یون‌های سولفات و کلراید در حین حذف آرسنیک توسط این جاذب بررسی شد. هم‌چنین تبعیت فرآیند جذب از معادلات فروندلیخ و لانگموئر، مورد مطالعه قرار گرفت.

#### یافته‌ها

جذب توسط GFH از هر دو مدل ایزوترم جذب فروندلیخ و لانگموئر، با ضرایب همبستگی  $R^2 > 0.95$  به‌طور تقریباً یکسانی تبعیت دارد. PH بهینه حذف ۷/۵ و بهترین زمان برای حذف آرسنیک ۳۰ دقیقه برآورد گردید. یون‌های سولفات و کلراید در غلظت‌های به‌کار رفته در این مطالعه تأثیر چندانی در فرآیند حذف آرسنیک نداشتند و هم‌چنین میزان آهن افزوده شده به آب پس از فرآیند حذف آرسنیک بیشتر از حد استاندارد (۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر) آب آشامیدنی بود.

#### نتیجه‌گیری

جاذب گرانول هیدروکسید آهن را می‌توان برای مناطق آلوده کشور به‌خصوص استان کردستان استفاده نمود. چرا که دارای کارایی بالا در حذف آرسنیک، بدون نیاز به اصلاح PH آب می‌باشد، هرچند که دارای معایبی نظیر اضافه نمودن آهن به آب، وارداتی بودن و هزینه نسبتاً بالای اولیه است.

**کلید واژه‌ها:** آرسنیک، گرانول هیدروکسید آهن (GFH)، جذب، آب آشامیدنی.

نویسنده مسئول: استادیار بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

آدرس: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده بهداشت تلفن: ۰۹۱۲۳۲۱۱۸۲۷

تاریخ دریافت: ۸۶/۱۲/۸ Email: ahmahvi@yahoo.com تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۷

## مقدمه

مسئله آلودگی آب‌های زیرزمینی در مناطق آلوده، به‌عنوان یک تهدید جدی مطرح است. از آنجایی که آب‌های زیرزمینی اصلی‌ترین منبع تأمین آب آشامیدنی محسوب می‌شود (۱). آلودگی آب‌های زیرزمینی به آرسنیک، اخیراً به‌عنوان یک مشکل بزرگ مورد توجه خاص قرار گرفته است (۲) و مواجهه با آن قابلیت بیماری‌زایی فراوانی دارد (۳). میلیون‌ها نفر از مردم سرتاسر دنیا در معرض آب آشامیدنی آلوده به آرسنیک هستند که به‌طور طبیعی در آب‌های زیرزمینی وجود دارد و به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا شناخته شده است (۵،۴). مواجهه با آرسنیک می‌تواند منجر به یک‌سری از بیماری‌ها مانند: دیابت، بیماری‌های کبدی، بیماری‌های قلبی و عروقی، پوستی و سرطان شود (۶). گزارش‌های متعددی از مسمومیت‌های آرسنیک ناشی از آب آشامیدنی آلوده دربنگلادش (۷)، آرژانتین (۸)، تایوان (۹)، مکزیک (۱۰)، هند (۱۱) و ایالات متحده آمریکا (۱۲) وجود دارد و اخیراً شش ناحیه در آسیا با غلظت‌های بالایی از آرسنیک در آب زیرزمینی شناخته شده‌اند که شامل: کامبوج، جمهوری دموکراتیک لائوس، پاکستان، میانمار، ویتنام، نپال (۱۳)، همین‌طور مناطق غرب ایران و به‌خصوص استان کردستان دارای مشکل آلودگی آب طبیعی به آرسنیک می‌باشد (۱۴). مطالعات در تایوان، شیلی، آرژانتین و ژاپن گزارش‌گر رابطه آرسنیک با سرطان دستگاه تنفسی می‌باشد و علاوه بر این اخیراً آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) آرسنیک در آب آشامیدنی را در گروه اول عوامل سرطان‌زایی دستگاه تنفسی معرفی کرده است (۱۵). آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا MCL آرسنیک در آب آشامیدنی را از ۵۰ به ۱۰ میکروگرم بر لیتر کاهش داده است (۱۶). فن‌آوری‌های مختلف و مؤثری برای کاهش غلظت آرسنیک در محلول‌های آبی مانند: انعقاد و زلال‌سازی، اسمز معکوس، تعویض یون، صافی‌های غشایی و فرآیند جذب وجود دارد (۱۷-۱۹). فن‌آوری انعقاد و زلال‌سازی عمدتاً هزینه بر می‌باشد و برای

تأسیسات کوچک نامناسب است و همین‌طور اثر کمی بر روی  $As(III)$  در مقایسه با  $As(V)$  دارد. فرآیند اسمز معکوس نیازمند استفاده از غشا که دارای هزینه‌های بالای نگهداری و تعویض می‌باشد و همین‌طور فرآیند هزینه بر است و نیز  $As(V)$  را بیشتر از  $As(III)$  حذف می‌کند که این امر نیازمند اکسید نمودن  $As(III)$  به  $As(V)$  می‌باشد تا بتوان بهتر آن را از آب جداسازی نمود. روش جذب نیز برای حذف آرسنیک مطابق با نوع جاذب مورد استفاده فرق می‌کند، برای مثال آلومینای فعال (AA) فقط  $As(V)$  را حذف می‌کند (۲۰، ۲۳). بسیاری از اکسیدهای آهن مانند گرانول هیدروکسید آهن (GFH)<sup>۱۲</sup> دارای ظرفیت بالای جذب آرسنیک می‌باشند (۲۴). هدف از انجام این مطالعه بررسی کارایی گرانول‌های هیدروکسید آهن در حذف آرسنیک کل از آب آشامیدنی می‌باشد.

## روش بررسی

**الف) تهیه محلول‌ها:** در این مطالعه آرسنیک کل در غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر توسط رقیق‌سازی با استفاده از آب دی‌یونیزه از محلول تیترازول استاندارد ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر آرسنیک ساخت شرکت مرک، آماده شد. محلول‌های سولفات و کلراید در دو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از نمک‌های سولفات پتاسیم ( $K_2SO_4$ ) و کلرورسدیم ( $NaCl$ ) تهیه گردیدند.

**ب) تهیه و آمادسازی جاذب:** گرانول‌های هیدروکسید آهن (GFH) با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ از شرکت آلمانی WASSerchemie Gmb H and Co. KG خریداری شد. به‌منظور حذف رطوبت، GFH را به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد طبق پیشنهاد Badruzzaman و همکاران (۲۵) در دستگاه آون قرار داده و سپس در دسی‌کاتور خنک نمودیم و از آن برای تهیه دوزهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم بر لیتر استفاده گردید.

<sup>1</sup>. Granular Ferric Hydroxide

دقیقه انجام شد و برای محاسبه میلی گرم جرم جذب شده آرسنیک در یک گرم جاذب (qe) از معادله ۱ استفاده گردید. لازم به ذکر است که کلیه آزمایشات در دمای محیط آزمایشگاه و حدود ۲۵ درجه سانتی گراد، انجام شده است و در نهایت برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایشات انجام شده از نرم افزار Excel استفاده گردید.

معادله ۱:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

qe: میلی گرم جرم جذب شده آرسنیک در یک گرم جاذب

C0: غلظت اولیه جذب شونده بر حسب میلی گرم بر لیتر

Ce: غلظت ثانویه جذب شونده بر حسب میلی گرم بر لیتر

V: حجم محلول بر حسب لیتر

M: جرم جاذب بر حسب گرم

جدول شماره ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی GFH  
(بر اساس اطلاعات شرکت سازنده)

اکسی هیدروکسی فریک	۵۷-۵۲٪ وزنی
رطوبت	۴۸-۴۳٪
تخلخل	۷۷-۷۲٪
PH	۸/۲-۷/۵
مساحت ویژه سطح	۲۸۰ m <sup>2</sup> /g
دانسیته	۱۲۵۰ Kg/m <sup>3</sup>
اندازه مؤثر	۰.۳۲-۲ mm
ضریب یکنواختی	تقریباً ۳
قیمت به ازای هر کیلوگرم	۴۳۰۰۰ تومان

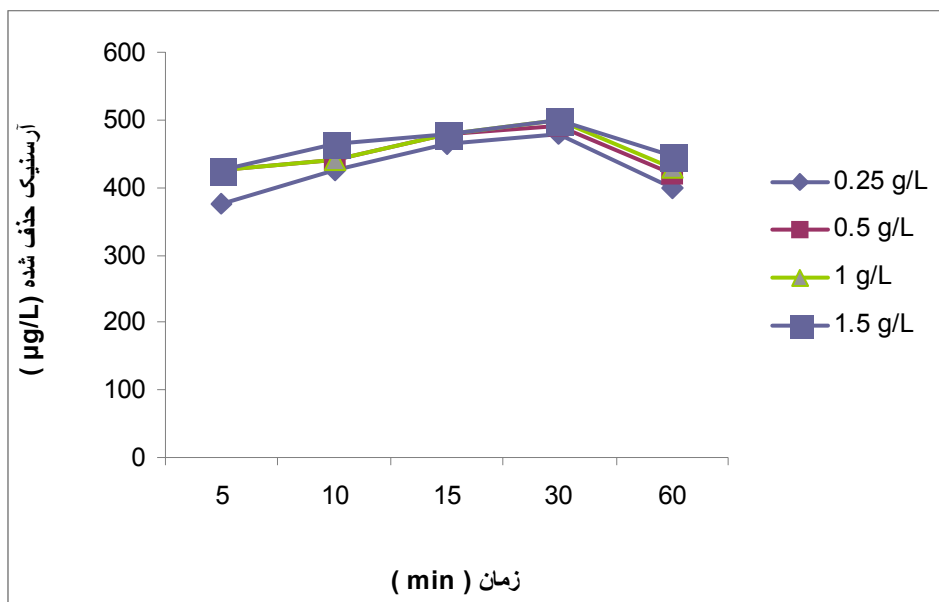
## یافته‌ها

نمودارهای شماره ۱ تا ۳ نشان دهنده اثرات تغییرات زمان تماس در گستره ۵ تا ۶۰ دقیقه بین جاذب به کار رفته و آرسنیک کل در غلظت‌های ۱، ۰/۵ و ۲ میلی گرم بر لیتر می‌باشد. در نمودارهای شماره ۴ تا ۶ اثرات تغییر دوز جاذب از ۰/۲۵ تا ۱/۵ گرم بر لیتر در

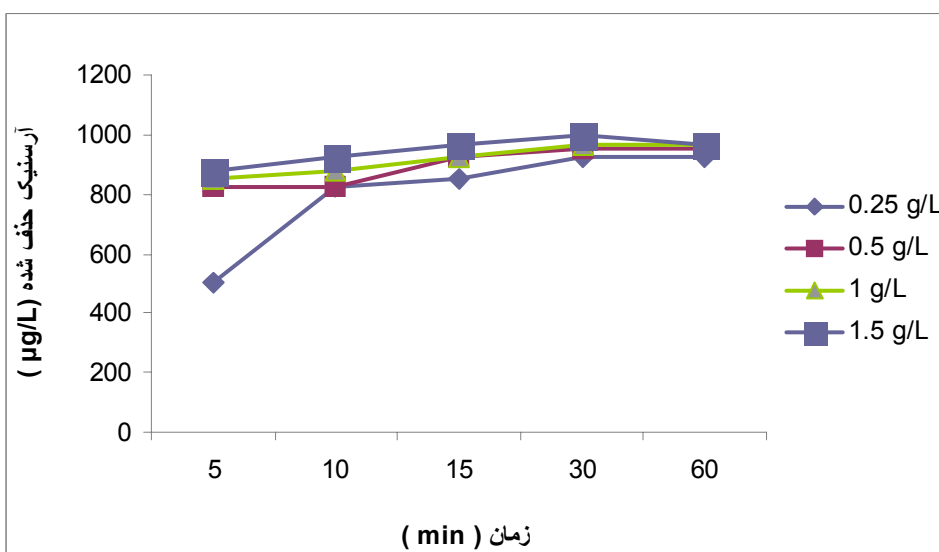
(ج) انجام آزمایشات: GFH را در دوزهای یاد شده در تماس با محلول‌های سنتتیک آرسنیک کل در غلظت‌های ۱، ۰/۵ و ۲ میلی گرم بر لیتر در زمان‌های تماس ۵، ۱۰، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ دقیقه قرار داده و به منظور ایجاد اختلاط مناسب از دستگاه همزن مدل Heidolph با سرعت ۳۲۵ دور در دقیقه استفاده گردید، سپس نمونه‌های به دست آمده از صافی واتمن ۰/۴۵ میکرون عبور داده شد و با استفاده از کیت EZ Arsenic test محصول شرکت هک آمریکا، اقدام به سنجش غلظت آرسنیک باقی مانده پس از فرآیند جذب کرد. کلیه سنجش‌های انجام شده توسط این کیت بر اساس مطالعه مصدافی‌نیا و همکاران (۲۶) در حجم ۹/۶ میلی لیتری این کیت با توان سنجش ۳۵، ۷۵، ۱۷۵، ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۴۰۰۰ میکروگرم بر لیتر و با توجه به تغییر رنگ چشمی و مقایسه با شاخص رنگی موجود در کیت صورت گرفت. هم‌چنین به منظور جلوگیری از خطا از افرادی که هیچ اطلاعی در ارتباط با آزمایش نداشتند برای مقایسه چشمی استفاده شد. جهت بررسی اثر PH، از اسید نیتریک و سودسوزآور برای تنظیم PH در گستره ۵ تا ۸ استفاده گردید و برای اندازه‌گیری PH دستگاه PH متر مدل E520 به کار برده شد. در بررسی اثر یون‌های سولفات و کلراید از دو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم بر لیتر آن‌ها در دوز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر با زمان تماس ۳۰ دقیقه و در PH=۷/۵ و غلظت‌های ۱، ۰/۵ و ۲ میلی گرم بر لیتر آرسنیک کل استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری سولفات باقی مانده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Perkinelmer با طول موج ۴۲۰ نانومتر و برای سنجش کلراید باقی مانده مطابق روش ارائه شده در کتاب استاندارد متد (۲۷) عمل گردید. هم‌چنین برای اندازه‌گیری میزان آهن افزوده شده به آب، در حضور و عدم حضور یون‌های سولفات و کلراید از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل DR/2000 با طول موج ۵۱۰ نانومتر استفاده گردید. مطالعه ایزوترم جذب در وزن ثابت ۵ گرمی GFH، PH=۷/۵ و زمان تماس ۳۰ دقیقه در غلظت‌های متغیر آرسنیک کل (۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ میلی گرم بر لیتر) با حضور یک شاهد و سرعت اختلاط ۳۲۵ دور در

یون‌های سولفات و کلراید در دو غلظت اولیه ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در زمان تماس ۳۰ دقیقه و  $\text{PH}=7/5$  و دوز جاذب ۰/۵ گرم بر لیتر و همچنین میزان آهن افزوده شده به آب در حضور و عدم حضور یون‌های سولفات و کلراید آورده شده است.

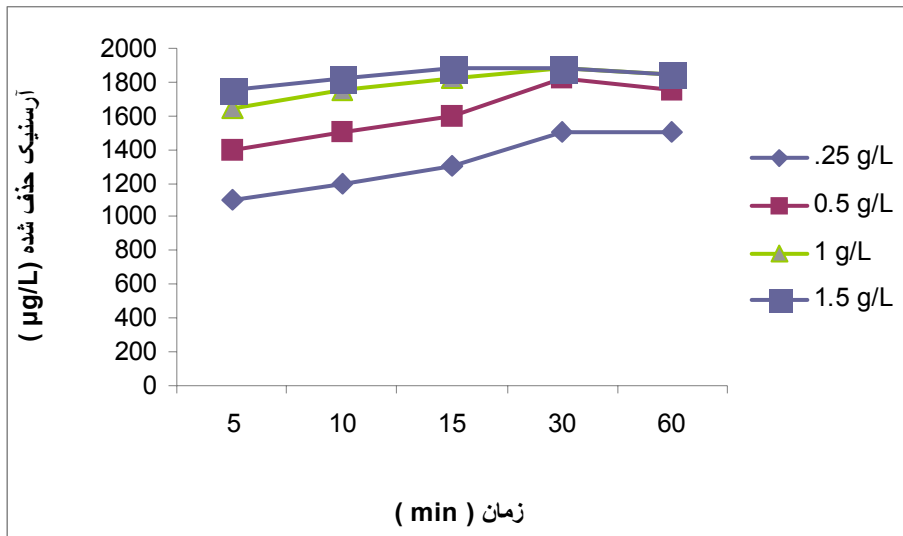
غلظت‌های اولیه آرسنیک کل (۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر) نشان داده شده است. نمودار شماره ۷ نشان دهنده اثر تغییر  $\text{PH}$  در سه غلظت اولیه آرسنیک کل مطالعه شده می‌باشد. نمودارهای شماره ۸ و ۹ نتایج مطالعه ایزوترم‌های جذب فروندلیخ و لانگموئر را نشان می‌دهند. در جدول شماره ۲ نتایج بررسی اثر



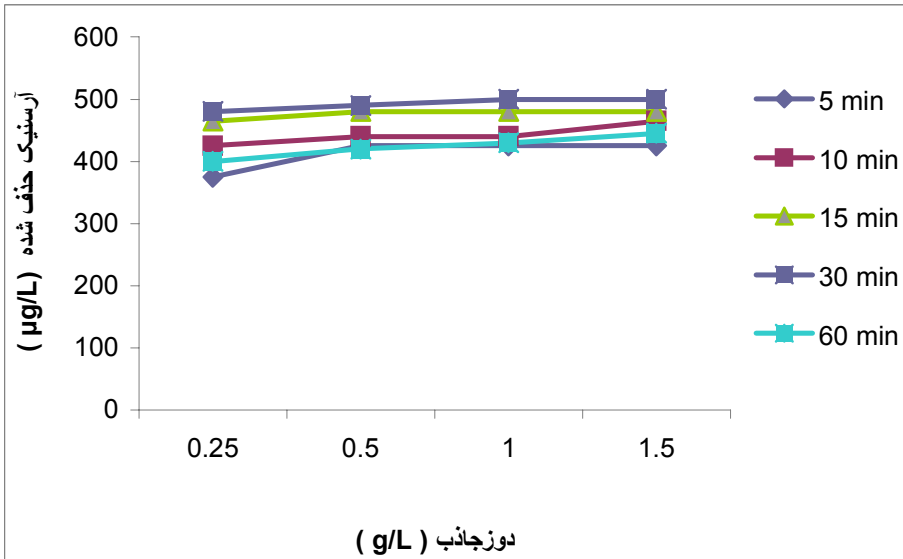
نمودار شماره ۱: اثر زمان تماس در حذف آرسنیک در غلظت اولیه ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر



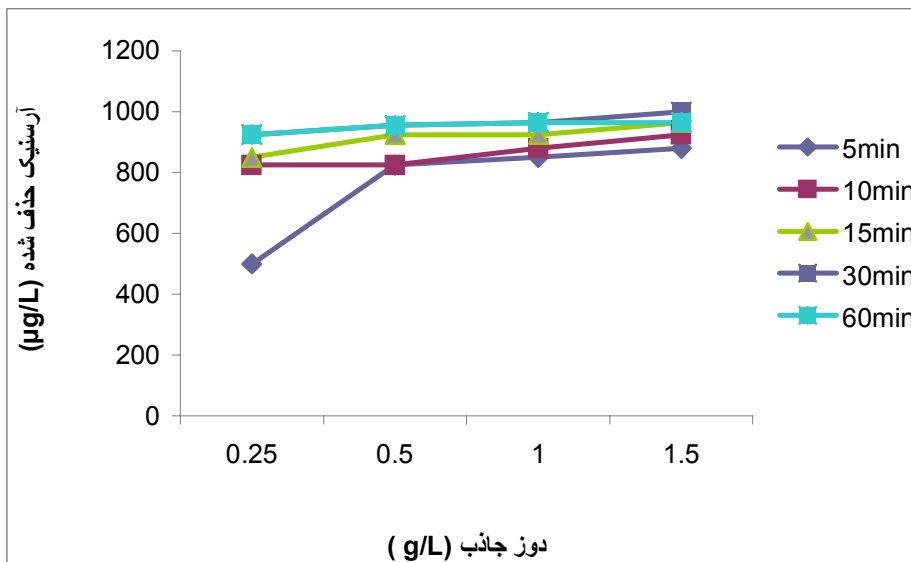
نمودار شماره ۲: اثر زمان تماس در حذف آرسنیک در غلظت اولیه ۱ میلی‌گرم بر لیتر



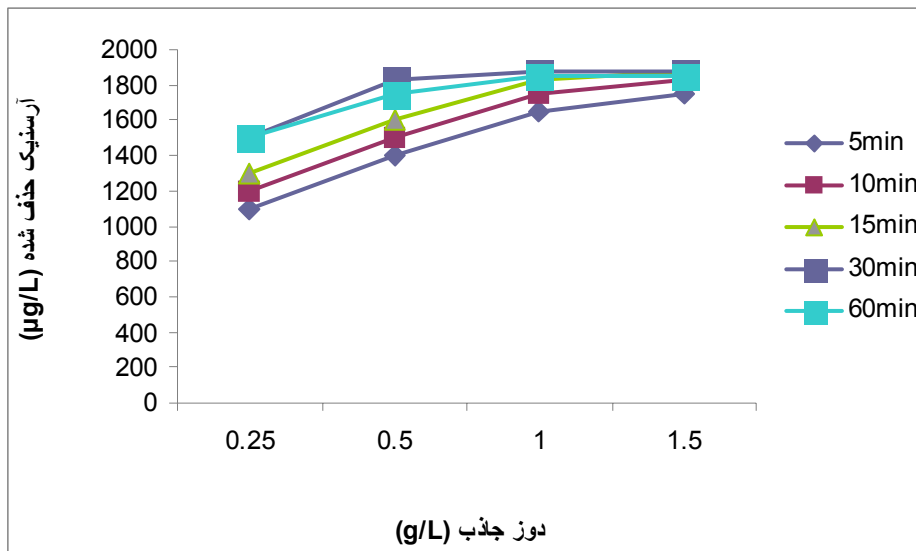
نمودار شماره ۳: اثر زمان تماس در حذف آرسنیک در غلظت اولیه ۲ میلی گرم بر لیتر



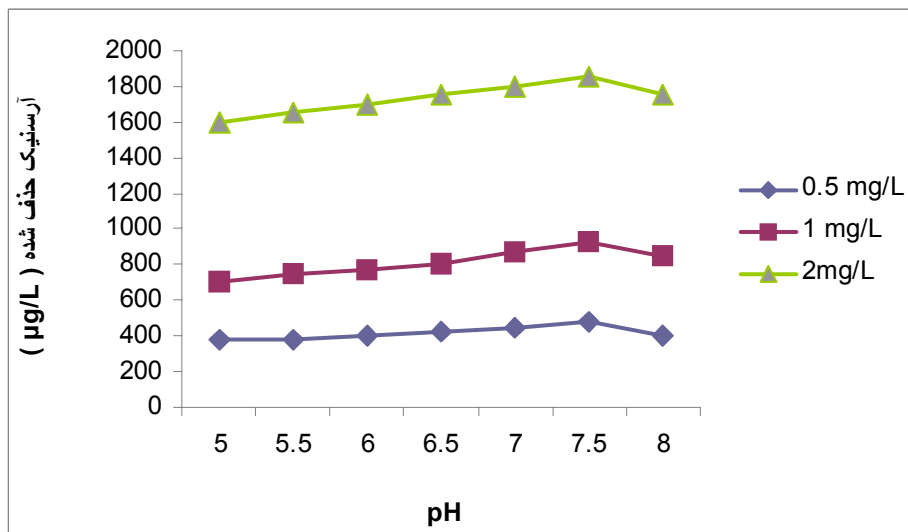
نمودار شماره ۴: اثر دوز جاذب در حذف آرسنیک با غلظت اولیه ۰/۵ میلی گرم بر لیتر



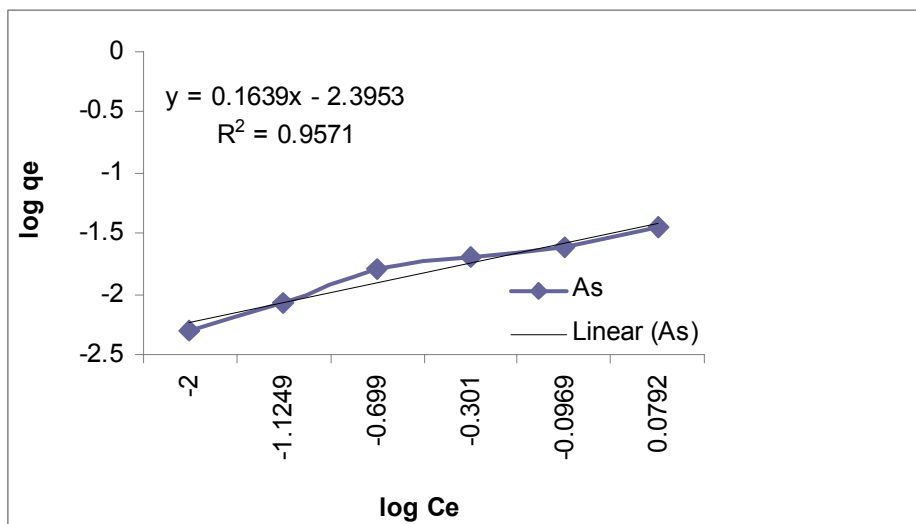
نمودار شماره ۵: اثر دوز جاذب در حذف آرسنیک با غلظت اولیه ۱ میلی گرم بر لیتر



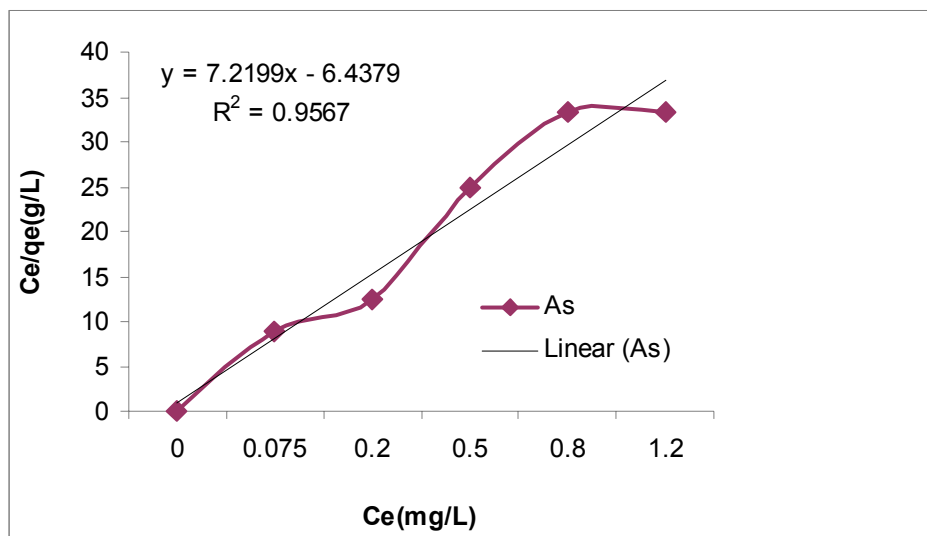
نمودار شماره ۶: اثر دوز جاذب در حذف آرسنیک با غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر



نمودار شماره ۷: اثر PH در حذف آرسنیک در سه غلظت مطالعه شده



نمودار شماره ۸: مطالعه ایزوترم جذب فروندلیخ



نمودار شماره ۹: مطالعه ایزوترم جذب لانگموئر

جدول شماره ۲: اثر یون‌های سولفات و کلراید و میزان آهن افزوده شده به آب

غلظت اولیه آرسنیک میکروگرم بر لیتر	غلظت اولیه سولفات میلی‌گرم بر لیتر	غلظت اولیه کلراید میلی‌گرم بر لیتر	باقی‌مانده آرسنیک میکروگرم بر لیتر	باقی‌مانده سولفات میکروگرم بر لیتر	باقی‌مانده کلراید میکروگرم بر لیتر	غلظت باقی‌مانده سولفات میلی‌گرم بر لیتر	غلظت باقی‌مانده کلراید میلی‌گرم بر لیتر	آهن افزوده شده میلی‌گرم بر لیتر	آهن افزوده شده در حضور سولفات میلی‌گرم بر لیتر	آهن افزوده شده در حضور کلراید میلی‌گرم بر لیتر
۵۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۵	۳۵	<۳۵	۱۶۷/۹	۶۷/۹۲	۰/۴۶	۰/۶۵	۰/۴۹
۱۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۷۵	۷۵	۲۵ تقریباً	۱۳۷/۷۸	۵۷/۲۶	۰/۵۷	۰/۶۱	۰/۳۹
۲۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۰۱/۳۱	۷۳/۱۸	۰/۶۴	۰/۶۸	۰/۶۵
۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۵	۳۵	<۳۵	۳۱۲/۲۲	۶۲/۴۵	۰/۶۱	۰/۶۷	۰/۶۲
۱۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۷۵	۷۵	۷۵	۲۳۵/۶۷	۷۸/۳۳	۰/۶۲	۰/۷۸	۰/۴۸
۲۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۱۷۵	۱۷۵	<۱۷۵	۲۴۵/۲۴	۸۵/۲۸	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۶۵

### بمط

با توجه به نمودارهای ۱ تا ۳ نتیجه می‌شود که با گذشت زمان، میزان حذف آرسنیک افزایش می‌یابد اما این افزایش حذف در مورد هر سه غلظت آرسنیک آزمایش شده یعنی ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم بر لیتر فقط تا حدود ۳۰ دقیقه می‌باشد و بعد از آن یک سیر نزولی را در هر سه غلظت آرسنیک تا زمان ۶۰ دقیقه شاهد هستیم و به عبارتی واجذب صورت می‌گیرد. بنابراین در زمان ۳۰ دقیقه بهترین کارایی حذف آرسنیک در هر سه غلظت ابتدایی آرسنیک توسط گرانول‌های هیدروکسید آهن به دست می‌آید.

از نمودارهای شماره ۴ تا ۶ چنین استنباط می‌شود که میزان آرسنیک حذف شده در دوز ۰/۲۵ گرم بر لیتر جاذب، در هر سه غلظت ابتدایی آرسنیک دارای کارایی حذف چندان بالایی نیست، ولی با افزایش دوز جاذب به میزان دو برابر یعنی ۰/۵ گرم بر لیتر، این میزان حذف در غلظت‌های اولیه ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم بر لیتر آرسنیک افزایش می‌یابد و در مورد غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر، راندمان بالای حذف در دوز ۱ گرم بر لیتر جاذب به دست می‌آید. با افزایش دوز جاذب به مقادیر بیشتر کارایی حذف یک سیر صعودی بسیار آرام را طی

و در عدم حضور یون‌های سولفات و کلراید حداقل ۰/۴۶ و حداکثر ۰/۶۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان آهن افزوده شده به آب در حضور کلراید کمتر از مقدار آن در حضور سولفات می‌باشد ولی به‌طور کلی میزان آهن افزوده شده به آب بیشتر از مقدار استاندارد می‌باشد. هم‌چنین با توجه به جدول شماره ۲ مشاهده گردید که میزان باقی‌مانده کلراید در غلظت‌های اولیه ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر حداکثر ۷۳/۱۸ و ۸۵/۲۸ می‌باشد و میزان باقی‌مانده سولفات در غلظت‌های اولیه ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، حداکثر ۱۳۷/۷۸ و ۳۱۲/۲۲ میلی‌گرم بر لیتر است. این نتیجه نشان داد که کارایی حذف سولفات در حضور آرسنیک توسط GFH بسیار کمتر از کارایی حذف کلراید می‌باشد و GFH دارای راندمان بیشتری در حذف کلراید نسبت به سولفات است. نتایج حاصل از جدول شماره ۲ هم‌چنین نشان داد که کارایی حذف آرسنیک در حضور سولفات و کلراید توسط GFH تغییر چندانی ندارد و بنابراین حضور این یون‌ها در کارایی حذف، اثرگذار نیست.

### نتیجه‌گیری

براساس مطالعه انجام شده مشخص گردید که گرانول‌های هیدروکسید آهن دارای کارایی بسیار بالایی در حذف آرسنیک حتی در آب آشامیدنی غلظت‌های بالا می‌باشند. زمان بهینه برای حذف آرسنیک بر اساس آزمایشات انجام شده ۳۰ دقیقه برآورد شد و هم‌چنین مشخص شد که در GFH در PH حدود ۷/۵ بیشترین بازده را برای حذف آرسنیک دارد این PH در حدود PH آب‌های طبیعی می‌باشد و بنابراین نیازی به اصلاح آن در حین کار با GFH وجود نخواهد داشت و این امر به نوبه خود باعث کاهش هزینه‌های راهبری سیستم خواهد شد. افزایش دوز جذب به میزان کم موجب افزایش کارایی حذف خواهد بود اما از آنجایی که در دوزهای بالاتر کارایی حذف تغییرات چندانی را نشان نداد، توصیه می‌شود که از دوزهای پایین این جذب برای حذف آرسنیک استفاده شود [از مزایای جذب ذکر شده می‌توان به راهبری ساده، کاربرد آسان و توانایی بالای حذف آرسنیک اشاره نمود و

می‌کند بنابراین با توجه به هزینه نسبتاً بالای اولیه جذب دوز، ۰/۵ گرم بر لیتر آن را می‌توان به‌عنوان یک دوز مناسب و کار در حذف آرسنیک در نظر گرفت. نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج Banerjee و همکاران (۲۸) می‌باشد. با توجه به نمودار شماره ۷، ایجاد تغییرات PH در کارایی حذف آرسنیک اثرگذار است، به‌نحوی که در PH کمتر از ۷/۵ در هر سه غلظت ابتدایی آرسنیک، کارایی حذف تقریباً بالا می‌باشد و در PH=۷/۵ به حداکثر مقدار خود می‌رسد و در مقادیر بیشتر از این PH، کارایی حذف تقریباً کاهش می‌یابد. در مطالعه Thriunavukkarasu و همکاران (۲۹)، PH بهینه حذف آرسنیک توسط GFH، ۷/۶ ذکر شد و همین‌طور در مطالعه Sperlich و همکاران (۳۰)، PH بهینه حذف آرسنیک توسط جذب یاد شده ۷-۷/۶ بیان گردید. نیز Banerjee و همکاران (۲۸) نشان دادند که در PH بیشتر از ۸/۵ راندمان حذف آرسنیک تغییری نداشته اما در PH کمتر از ۷/۵ حذف آرسنیک توسط GFH قابل ملاحظه بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده از این مطالعه مشابه نتایج مطالعات ذکر شده می‌باشد.

مطالعات ایزوترم جذب نشان داد که جذب آرسنیک توسط GFH از هر دو ایزوترم فروندلیخ و لانگموئر (نمودارهای شماره ۸ و ۹) با ضرایب همبستگی  $R^2 > 0.95$  تبعیت می‌نماید و این پیروی تقریباً در مورد هر دو ایزوترم یکسان است. Badruzzaman و همکاران (۲۵)، Sperlich و همکاران (۳۰)، Thriunavukkarasu و همکاران (۲۹)، Genez و همکاران (۳۱) و هم‌چنین Pal و همکاران (۳۲) نشان دادند که جذب توسط گرانول‌های هیدروکسید آهن از هر دو ایزوترم جذب فروندلیخ و لانگموئر پیروی می‌کند. با توجه به مقدار استاندارد ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر آهن در آب آشامیدنی، نتایج آزمایشات (جدول شماره ۲) انجام شده نشان داد که در PH=۷/۵ و زمان تماس ۳۰ دقیقه و دوز جذب ۰/۵ گرم بر لیتر، میزان آهن اضافه شده به محیط در حضور کلراید حداقل ۰/۳۹ و حداکثر ۰/۶۵ میلی‌گرم بر لیتر، در حضور سولفات حداقل ۰/۶۱ و حداکثر ۰/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر



آلودگی آرسنیک استفاده نمود، در ضمن توصیه می‌شود در مطالعات بعدی جاذبه‌های مصرف شده از لحاظ خطرزا بودن توسط آزمایش TCLP آنالیز شوند.

از معایب آن می‌توان به وارداتی بودن، هزینه نسبتاً بالای اولیه و افزودن آهن در مقادیری بیشتر از حد استاندارد به آب اشاره کرد. به‌طور کلی می‌توان از GFH در مناطق آلوده کشور به‌خصوص استان کردستان برای رفع معضل

## References:

- Pal T, Mukherjee PK, Sengupta S. Nature of Arsenic Pollutants in Ground Water of Bengal Basin in a Case Study From Baruipur Area, West Bengal, India. *Curr Sci* 2002;22(5):544-561.
- Nicolaose PN, Gregory MD, Jeffrey AL. Arsenic Removal by Zero-Valent Iron: Field, Laboratory and Modeling Studies. *Water Research* 2003;37:1417-1425.
- Wang W, Yang L, Hou S, Tan J LH. Prevention of Endemic Arsenism with Selenium. *Curr Sci* 2001;18(9):1215-1218.
- Focazio MJ, Welch AH, Watkins SA, Helsel DR, Horn MA. A Retrospective Analysis on the Occurrence of Arsenic in Ground-Water Resources in the United States and Limitations in Drinking-Water-Supply Characterizations. *Water Resources Investigations Report 99-4279*. US Geological Survey Reston VA USA; 2000:58-69.
- Smith AH, Goycolea M, Haque R, Biggs ML. Marked Increase in Bladder and Lung Cancer Mortality in a Region of Northern Chile Due to Arsenic in Drinking Water. *Am J Epidemiol* 1998;147:660-669.
- Lackovic JA, Nikolaidis NP, Dobbs GM. Inorganic Arsenic Removal by Zero-Valent Iron. *Environ Eng Sci* 2000;7(1):29-39.
- Dhar RK, Biswas BK, Samanta G, Mandal BK, Chakraborti D, Roy S, et al. Groundwater Arsenic Calamity in Bangladesh. *Current Sci* 1997;73:48-58.
- Borgono JM, Vincent P, Venturino H, Infante A. Arsenic in the Drinking Water of the City of Antofagasta: Epidemiological and Clinical Study before and after Installation of a Treatment Plant. *Environ Health Perspect* 1997;19:103-105.
- Chen SL, Dzung SR, Yang MH, Chiu KH, Shieh GM, Wai CM. Arsenic Species in Ground Waters of the Blackfoot Disease Area, Taiwan. *Environ Sci Technol* 1994;28:877-81.
- Del Razo LM, Arellano MA, Cebrian ME. The Oxidation States of Arsenic in Well Water From a Chronic Arsenism Area of Northern Mexico. *Environ Pollut* 1990;64:143-53.
- Eleonora D, Virginia ST, Ciminellia WH. Removal of As(III) and As(V) From Water Using a Natural Fe and Mn Enriched Sample. *Water Research* 2005;39:5212-5220.
- Lasater M. Phytoextraction of Toxic Metal: A Review of Biological Mechanism, Review and Analyses with Heavy Metal. *J Environ Qual* 2002;31:109-120.
- Sunbaek B, Van AK. Environmental Monitoring and Remediation AS- Contamination in the Asian Region. 3rd ed. International Work Shop on Environmental & Sustainable Development; 2000. p.78-81.
- Mosaferi M, Evaluation of Health Effects of Arsenic in Kurdistan Province Drinking Water and Methods of Removal. PHD, Thesis, Tehran: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health and Center for Environmental Research, Medical Science University of Tehran; 2005. [Persian]
- Jekel MR. Removal of Arsenic in Drinking Water Treatment: Jerome O Nriagu editor. *Arsenic in the Environment Part I: Cycling and Characterization*. New York Wiley; 1994. p. 48-97.
- Kartinen EO, Martin CJ. An Overview of Arsenic Removal Processes. *Desalination* 1995;103:78-88.
- Bitner MJ, Chwirka JD. Arsenic Removal Treatment Technologies for Drinking Water Supplies. *Proceedings of 39th New Mexico Water Conference Albuquerque, NM; 1994*. p. 251-5.
- Pierce ML, Moore CB. Adsorption of Arsenite and Arsenate on Amorphous Iron Hydroxide. *Water Res* 1982;16:1247-53.
- Hsia TH, Lo SL, Lin CF. Characterization of Arsenate Adsorption on Hydrous Iron Oxide Using Chemical and Physical Methods. *Colloids Surf A: Physicochem Eng ASpects* 1994;5:1-7.
- Wilkie JA, Hering JG. Adsorption of Arsenic Onto Hydrous Ferric Oxide: Effects of Adsorbates/Adsorbent Ratio and Co-Occurring Solutes. *Colloids Surf A: Physicochem Eng ASpects* 1996;107:97-110.
- Sun X, Doner HE. Adsorption and Oxidation of Arsenite on Goethite. *Soil Sci* 1998;163(4):278-87.
- Kinniburgh DG. Arsenic Contamination of Groundwater in Bangladesh. In *Final Report Eds. BCSR WC/00/19 British Geological Survey: Keyworth; 2001*. p. 101-132.
- Le Z. A Method for Preparing Silica-Containing Iron(III) Oxide Adsorbents for Arsenic Removal. *Water Research* 2003;37:4351-4358.
- Jakel M, Seith R. The Removal of the Arsenic: Comparison of Conventional and New Techniques for the Removal of Arsenic in a Full-Scale Water Treatment Plant. *Water Supply* 2000;18(1):628-631.
- Badruzzaman M, Westerhoff P, Knappe DRU. Intraparticle Diffusion and Adsorption of Arsenate

- Onto Granular Ferric Hydroxide (GFH). Water Research 2004;38:4002-4012.
26. Mesdaghinia AR, Mosaferi M, Yunesian M, Nasseri S, Mahvi AH. Measurement of Arsenic Concentration in Drinking Water of a Polluted Area Using a Field and SDDC Methods Accompanied by Assessment of Precision and Accuracy of Each Method. Hakim 2005;8(1):43-51. [Persian]
27. APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and WASTewater. 20th ed. WASHINGTON; D.C: American Public Health Association;2005. p. 70-75,186-190.
28. Banerjee K, Nour S, Selbie M, Prevost M, Charles D. Optimization of Process Parameters for Arsenic Treatment with Granular Ferric Hydroxide. AWWA 2003;1-18.
29. Thirunavukkarasu OS, Viraraghavan T, Subramanian KS. Arsenic Removal From Drinking Water Using Granular Ferric Hydroxide. Water SA 2003;29(2):161-168.
30. Sperlich A, Werner A, Genz A, Amy G, Worch E, Jekel M. Breakthrough Behavior of Granular Ferric Hydroxide (GFH) Fixed-Bed Adsorption Filters: Modeling and Experimental Approaches. Water Research 2005;39(6):1190-1198.
31. Genz A, Kornmüller A, Jekel M. Advanced PHosPHorus Removal from Membrane Filtrates by Adsorption on Activated Aluminium Oxide and Granulated Ferric Hydroxide. Water Research 2004;38(16):3523-3530.
32. Pal BN. Granular Ferric Hydroxide for Elimination Arsenic from Drinking Water. Water Research 2001;18(12):2153-2163.

## *Study of the Efficiency of Arsenic Removal from Drinking Water by Granular Ferric Hydroxide (GFH)*

A.R. Asgari MSc\* A.H. Mahvi PhD\*\* F. Vaezi PhD\*\*\* F. Khalili BS\*\*\*\*

\* Master of Sciences of Environmental Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\*\* Assistant Professor of Environmental Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\*\*\* Associate Professor of Environmental Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

\*\*\*\* Bachelor of Sciences of Environmental Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### **Background and Objective**

Pollution of surface and ground water to arsenic (As) has been reported from many parts of the world and in some regions of Iran especially in Kurdistan province. Natural pollution of water to As is in fact dependent to geological characteristics of a region. To day, various methods have been recommended for As removal that each of which has special advantages and drawbacks. Granular ferric hydroxide (GFH) is a relatively new adsorbent available in market which is principally introduced for As removal.

### **Methods**

This study was an applied survey in which the effects of changing contact time, As concentration, adsorbent weight, pH as well as the effect of sulfate and chloride ions in arsenic removal were determined. Moreover, the model of absorption by GFH was studied and compared with Freundlich and Langmuir models. Raw data were analyzed by Excel and SPSS softwares.

### **Results**

Results showed that As adsorption by GFH imitate both the Freundlich and Langmuir equations (with  $R^2 > 0.95$ ). Optimum PH was 7.5 and duration of the process about 30 minutes was sufficient for optimum removal of As. It was also found that efficiency of As removal was high when small amounts of adsorbent were used. Furthermore, sulfate and chloride ions in concentrations used in this study had no noticeable effect on As removal and Fe added during process remains in the water more than the standard value (0.3 mg/l).

### **Conclusion**

According to this study, GFH could be considered as a suitable adsorbent for As removal from polluted water resources because of its high performance without any needs to PH adjustment. However, there are few drawbacks such as Fe addition and relatively high initial cost.

**Keywords:** Arsenic, Granular Ferric Hydroxide (GFH), Adsorption, Drinking Water

**Corresponding Autor:** Assistant Professor of Environmental Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences

ahmahvi@yahoo.com