مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی کردستان/ دوره سیزدهم/ تابستان ۱۳۸۷ /۸۶-۷۶

گرانول هیدروکسید آهن (GFH) جاذبی برای حذف آرسنات و آرسنیت از آب آشامیدنی

علیرضا عسگری[۱]، امیر حسین محوی[۲]، فروغ واعظی[۳]، آذر قصری[۴]

۱- کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۲- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، (مؤلف مسؤول) تلفن: ۶۶۴۶۲۲۶۸-۰۲۱، ahmahvi@yahoo.com

۳- دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

۴- کارشناس گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی آبهای زیر زمینی به آرسنیک به عنوان یک مشکل بزرگ مورد توجه خاص می‌باشد و گزارشهای متعددی از آلودگی آبهای سطحی و زیر زمینی به آرسنیک به خصوص دو گونه آرسنات و آرسنیت در دسترس می‌باشد که در این بین بعضی از مناطق استان کردستان نیز دچار این مشکل می‌باشند. فن آوریهای متعددی برای حذف آرسنیک از آب آشامیدنی وجود دارد که عموماً دارای هزینه‌های بالا می‌باشند.

روش بررسی: در این مطالعه از GFH به عنوان یک جاذب تقریباً جدید برای حذف آرسنات و آرسنیت در سه غلظت ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر و در وزنهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم استفاده شد و تغییرات اثر زمان، غلظت، pH ، وزن جاذب، میزان آهن افزوده شده به آب در حین فرآیند حذف و اثر یونهای سولفات و کلراید در فرآیند حذف و همچنین تبعیت فرآیند جذب از معادلات فروندلیخ و لانگموئر مورد بررسی قرار گرفت و از نرم افزار Excel برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آزمایشات نشان داد که GFH دارای راندمان حذف ۹۵ ، ۸۶/۵ و ۸۳/۷۵ درصدی آرسنات (As (V و ۹۱، ۸۳/۵ و ۸۰ درصدی آرسنیت (As(III به ترتیب در سه غلظت اولیه ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر هر دو گونه آرسنات و آرسنیت در pH حدود ۷/۵، زمان تماس ۳۰ دقیقه و دز جاذب ۰/۵ گرم در لیتر می‌باشد. همچنین یونهای سولفات و کلراید تأثیر چندانی در کارایی حذف ندارند. فرآیند جذب آرسنات و آرسنیت توسط GFH از ایزوترم جذب فروندلیخ با ضرائب همبستگی R^2=۰/۹۶ تبعیت یکسانی را نشان می‌دهد در حالی که آرسنات با ضریب همبستگی R^2=۰/۹۴ نسبت به آرسنیت با داشتن ضریب همبستگی R^2=۰/۹۲ تبعیت بیشتری را از ایزوترم جذب لانگموئر نشان می‌دهد. نتایج همچنین نشان دادند که میزان آهن افزوده شده به محیط بیشتر از مقدار استاندارد ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر آب آشامیدنی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: جاذب GFH را می‌توان برای مناطق آلوده کشور به خصوص استان کردستان استفاده نمود چراکه دارای کارایی بالای حذف هر دو نوع آرسنات و آرسنیت بوده، نیاز به اصلاح pH آب می‌باشد و این در حالی است که دارای معایبی نظیر اضافه نمودن آهن به آب، وارداتی بودن و هزینه نسبتاً بالای اولیه می‌باشد که البته مشکل آهن اضافه شده به محیط را می‌توان توسط روشهای معمول حذف نمود.

کلید واژه‌ها: آب آشامیدنی، آرسنات، آرسنیت، گرانول هیدروکسید آهن (GFH)، جذب

وصول مقاله: ۸۷/۱/۸ اصلاح نهایی: ۸۷/۳/۱۳ پذیرش مقاله: ۸۷/۵/۳

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

مقدمه

آرسنیک شبه فلز سنگینی است که نام آن از کلمه یونانی آرسنیکون به معنی قوی گرفته شده است. این عنصر در محیط در حالتهای مختلف اکسیداسیون یافت می‌شود که می‌توان به آرسنات، آرسنیت، و حالت صفر ظرفیتی آن اشاره کرد (۱). آرسنیک معمولاً به صورت آرسنات یا آرسنیت در منابع آب دیده می‌شود. آرسنات (H_3AsO_4, $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, or AsO_4^{3-}) به طور عمده به شکل آنیونهای یک و دو ظرفیتی در آبهای دارای اکسیژن فراوان و آرسنیت (H_3AsO_3, $H_2AsO_3^-$, and $HAsO_3^{2-}$) در آبهای دچار کمبود آکسیژن یافت می‌شوند (۲). آرسنیک به عنوان سرطان‌زای انسانی (دارای توانایی ایجاد ناراحتی‌های کلیوی، کبدی، خونی ، پوستی و پروستات) از سوی سازمان تحقیقات سرطان شناخته شده است (۶-۳). گزارشات قبل از سال ۲۰۰۰ میلادی چندین منطقه بزرگ در آسیا و منجمله بنگلادش، هند و سه منطقه از چین را به عنوان مناطق آلوده به آرسنیک معرفی می‌کرد (۹-۷). مطالعات در سال ۲۰۰۴ نشان داد که مناطق مختلف دیگری نیز در آسیا دارای آلودگی طبیعی به آرسنیک در آب می‌باشند که از این میان می‌توان به مناطق غربی کشورمان و شهرهایی از استان کردستان اشاره نمود (۱۰,۱۱). سازمان جهانی بهداشت (WHO) راهنمای حداکثر غلظت مجاز آرسنیک در آب آشامیدنی را در سال ۱۹۹۳ از ۰/۰۵ به ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش داد و در پی آن آلمان نیز استاندارد خود را به ۰/۰۱ mg/L در سال ۱۹۹۶ تغییر داد. در حالی که استاندارد استرالیا حدود ۰/۰۷ mg/L-۰/۰۵ برای آرسنیک در آب آشامیدنی می‌باشد. استاندارد آرسنیک در آب آشامیدنی کشور فرانسه ۰/۰۱۵ mg/L می‌باشد. اتحادیه اروپا نیز استاندارد ۰/۰۱ mg/L را برای آرسنیک در آب آشامیدنی تعیین کرده است. آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) نیز استاندارد آرسنیک در آب آشامیدنی را از ۰/۰۵ به ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش داده است (۱۴و۱۲-۱). استاندارد آرسنیک در آب آشامدنی کشور ما نیز mg/L ۰/۰۵ است. آرسنیک را می‌توان از آبهای سطحی و زیر زمینی توسط انعقاد و فیلتراسیون توسط ترکیبات آهن و آلومینویم و نیز سختی‌گیری با آهک و همینطور سایر روشها حذف نمود (۱۷-۱۵). بسیاری از اکسیدهای آهن نظیر گرانول هیدروکسید آهن (GFH) دارای ظرفیت بالایی در جذب آرسنیک و به خصوص آرسنات می‌باشد (۱۸). گرانول هیدروکسید آهن به عنوان یک جاذب برای حذف آرسنیک از محیطهای آبی در سالهای اخیر مد نظر قرار گرفته است. این محصول اولین بار در دانشگاه فنی برلین آلمان، دپارتمان کنترل کیفی آب برای حذف آلایندهای انتخابی تولید شد (۱۸,۱۹). هدف از انجام این مطالعه تعیین کارایی این جاذب جدید برای حذف ترکیبات آرسنیک (آرسنات و آرسنیت) از آب آشامیدنی می‌باشد.

روش بررسی

الف)تهیه و آماده سازی جاذب: گرانولهای هیدروکسید آهن (GFH) با مشخصات ارائه شده در جدول ۱ از شرکت آلمانی Wasserchemie Gmb H and Co. KG خریداری شد. به منظور حذف رطوبت، GFH را به به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد طبق پیشنهاد Badruzzaman و همکاران (۲) در دستگاه آون قرار داده و سپس در دسی کاتور خنک نمودیم.

ب) تهیه نمونه‌ها: برای تهیه آرسنات و آرسنیت از نمکهای آرسنات سدیم $Na_2HAsO_4.7H_2O$ و آرسنیت سدیم

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

$NaAsO_2$ استفاده شد و در ضمن به منظور جلوگیری از اکسیداسیون آرسنیت به آرسنات محلول‌های مورد نظر به صورت روزانه در غلظتهای ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر تهیه می‌شد. محلولهای سولفات و کلراید در دو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر از نمکهای سولفات پتاسیم (K_2SO_4) و کلرورسدیم (NaCl) تهیه گردید. کلیه محلولهای ذکر شده با استفاده از آب دی یونیزه در آزمایشگاه شیمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی تهران تهیه شد.

ج) انجام آزمایشات: محلولهای آرسنات و آرسنیت تهیه شده را در غلظتهای ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر در تماس با جاذب GFH در دوزهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر در زمانهای تماس ۵ ، ۱۰ ، ۱۵ ، ۳۰ و ۶۰ دقیقه قرار دادیم و برای ایجاد اختلاط از دستگاه همزن مدل Heidolph با سرعت ۳۵۰ دور در دقیقه استفاده شد. برای سنجش غلظت آرسنات و آرسنیت باقی مانده پس از فرآیند جذب از کیت EZ Arsenic Test محصول شرکت هک آمریکا استفاده گردید، کلیه سنجشهای انجام شده توسط این کیت بر اساس مطالعه مصداقی نیا و همکاران (۲۰) در حجم ۹/۶ میلی‌لیتر با توان سنجش ۳۵، ۷۵، ۱۷۵، ۵۰۰، ۱۵۰۰ و ۴۰۰۰ میکروگرم در لیتر با توجه به تغییر رنگ و مقایسه چشمی با شاخص رنگی موجود در کیت صورت گرفت و به منظور جلوگیری از خطا از افرادی که هیچ اطلاعی از آزمایشات نداشتند در مقایسه چشمی استفاده شد. به منظور بررسی اثر pH از اسید نیتریک و سود سوزآور برای تنظیم pH در حدود ۵، ۵/۵، ۶، ۶/۵، ۷، ۷/۵ و ۸ استفاده شد و برای سنجش آن از دستگاه pH متر مدل E520 استفاده گردید. به منظور بررسی تبعیت فرآیند جذب از معادلات ایزوترم فروندلیخ و لانگموئر جاذب در دوز ثابت ۵ گرم در لیتر در زمان تماس ۳۰ دقیقه و pH=۷/۵ در غلظتهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ میلی‌گرم در لیتر آرسنات و آرسنیت در حضور شاهد و با سرعت اختلاط ۱۰ دور در دقیقه توسط همزن در تماس با هم قرار گرفتند و از معادله ۱ برای تعیین میلی‌گرم جرم جذب شده آرسنات یا آرسنیت در یک گرم جاذب (qe) استفاده شد. برای سنجش اثر یونهای سولفات و کلراید در فرآیند جذب از دو غلظت ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر آنها در غلظتهای ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر آرسنات و آرسنیت با دوز جاذب ۰/۵ گرم در لیتر در زمان تماس ۳۰ دقیقه با pH=۷/۵ و سرعت اختلاط ۱۰ دور در دقیقه استفاده شد و همینطور میزان آهن افزوده شده به آب نیز در حضور و عدم حضور یونهای سولفات و کلراید در این قسمت توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل DR/2000 با طول موج ۵۱۰ نانومتر اندازه‌گیری گردید. برای سنجش غلظت سولفات باقی مانده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Perkinelmer در طول موج ۴۲۰ نانومتر و برای سنجش غلظت کلراید باقی مانده مطابق روش ذکر شده در کتاب استاندارد متد (۲۱) عمل گردید. کلیه نمونه‌ها قبل از هرگونه اندازه‌گیری از صافی واتمن ۰/۴۵ میکرون عبور داده شدند و در ضمن تمامی آزمایشات در دمای محیط آزمایشگاه و حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد و به منظور افزایش دقت کلیه آزمایشات به صورت Triplicate انجام گردید و اعداد گزارش شده در این مقاله به صورت میانگین سه مرحله در هر مورد می‌باشد و در نهایت برای تجزیه و تحلیل داده از نرم افزار Excel استفاده شد.

معادله ۱:

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

که در این معادله :

qe : میلی‌گرم جرم جذب شده آرسنات یا آرسنیت در یک گرم جاذب

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

C_0: غلظت اولیه جذب شونده بر حسب میلی‌گرم در لیتر

C_e: غلظت ثانویه جذب شونده بر حسب میلی‌گرم در لیتر

V: حجم محلول بر حسب لیتر

m: جرم جاذب بر حسب گرم می‌باشد.

جدول ۱: مشخصات GFH (ارائه شده توسط شرکت سازنده)

اکسی هیدروکسی فریک (٪ وزنی)	۵۲-۵۷
رطوبت (٪)	۴۳-۴۸
تخلخل (٪)	۷۲-۷۷
pH	۷,۵-۸,۲
مساحت ویژه سطح (m^2/g)	۲۸۰
دانسیته (kg/m^3)	۱۲۵۰
اندازه مؤثر (mm)	۰/۳۲-۲
ضریب یکنواختی	تقریباً ۳
قیمت به ازای هر کیلوگرم (ریال)	۴۳۰۰۰۰

یافته‌ها

شکلهای ۱ تا ۶ نشان دهنده اثرات تغییرات زمان تماس در گستره ۵ تا ۶۰ دقیقه بر راندمان حذف آرسنات و آرسنیت در غلظتهای اولیه ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر توسط GFH می‌باشند. شکلهای ۷ تا ۱۲ نشان دهنده اثرات دوز جاذب (GFH) در دوزهای ۰/۲۵، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر بر راندمان حذف آرسنات و آرسنیت در غلظت‌های اولیه ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشند. همانطور که در این شکلها دیده می‌شود حداکثر و حداقل درصد حذف آرسنات و آرسنیت در سه غلظت اولیه ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر در دز جاذب ۰/۵ گرم در لیتر به ترتیب در مورد آرسنات ۹۳ و ۶۵، ۹۲/۵ و ۶۰، ۹۶/۲۵ و ۵۰، و در مورد آرسنیت ۹۳ و ۵۰، ۹۲/۵ و ۵۰، ۹۱/۲۵ و ۵۰ درصد می‌باشد. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ اثرات تغییر pH در گستره ۵ تا ۸ بر کارایی حذف آرسنات و آرسنیت در سه غلظت اولیه ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر آرسنات و آرسنیت در زمان تماس ۳۰ دقیقه با دز ۰/۵ گرم در لیتر GFH مشاهده می‌شود که حداکثر و حداقل درصد حذف آرسنات به ترتیب ۹۵ و ۸۲، ۸۶/۵ و ۷۶/۵، ۷۵، ۸۳، ۷۰، و در مورد آرسنیت ۹۱ و ۸۳، ۸۳/۵ و ۷۵، ۸۰ و ۶۷/۵ درصد می‌باشد. در شکلهای ۱۵-۱۸ نتایج مطالعه ایزوترم‌های جذب فروندلیخ و لانگموئر را در مورد جذب آرسنات و آرسنیت توسط GFH مشاهده می‌نمایید. در جداول ۱ و ۲ نتایج بررسی اثرات غلظت سولفات و کلراید در غلظتهای اولیه ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر، در زمان تماس ۳۰ دقیقه با GFH در دوز ۰/۵ گرم در لیتر pH=۷/۵ و غلظتهای اولیه ۰/۵، ۱ و ۲ میلی‌گرم در لیتر آرسنات و آرسنیت و همچنین میزان آهن افزوده شده پس از فرایند جذب توسط GFH به محیط نیز در حضور و عدم حضور این یونها آورده شده است.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

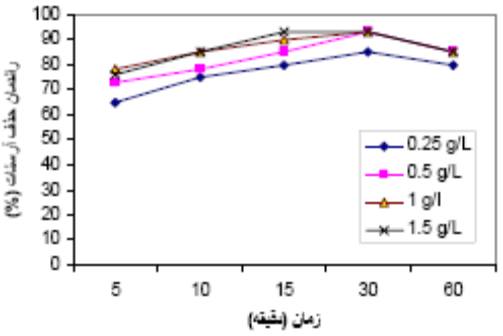
جدول ۲: اثر یونهای سولفات و کلراید در حذف آرسنات و میزان آهن افزوده شده به آب

غلظت اولیه آرسنات µg/L	غلظت اولیه سولفات mg/L	غلظت اولیه کلراید mg/L	باقیمانده آرسنات µg/L	باقیمانده آرسنات در حضور سولفات µg/L	باقیمانده آرسنات در حضور کلراید µg/L	غلظت باقیمانده سولفات mg/L	غلظت باقیمانده کلراید mg/L	آهن افزوده شده به آب mg/L	آهن افزوده شده در حضور سولفات Mg/L	آهن افزوده شده در حضور کلراید mg/L
۵۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۵	۳۵	<۳۵ تقریبا ۲۵	۴۰/۸۲	۶۹/۶۹	۰/۶۹	۱/۶۳	۰/۸۹
۱۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۷۵	<۷۵ تقریبا ۵۰	۷۵	۴۵/۸۳	۵۷/۱۸	۰/۴۵	۱/۱۶	۰/۳۹
۲۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۵۱/۰۷	۷۱/۴۸	۰/۵۱	۰/۸۷	۰/۳۱
۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۵	<۳۵ تقریبا ۲۵	۳۵	۲۸۱/۱	۶۲/۵۴	۰/۴۹	۰/۹۷	۰/۳۵
۱۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۷۵	۷۵	۷۵	۳۰۸/۷	۸۷/۵۶	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۵۶
۲۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۱۷۵	۱۷۵	<۱۷۵ تقریبا ۱۵۰	۳۴۷/۲	۸۵/۷۸	۰/۴۸	۰/۸۸	۰/۸۴

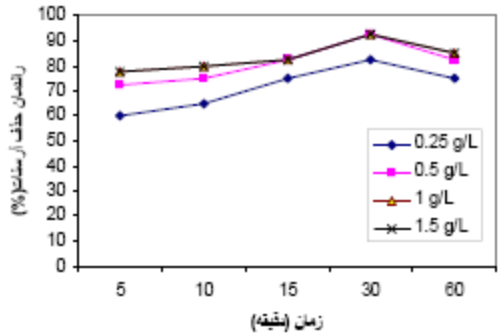
جدول ۳: اثر یونهای سولفات و کلراید در حذف آرسنیت و میزان آهن افزوده شده به آب

غلظت اولیه آرسنیت µg/L	غلظت اولیه سولفات mg/L	غلظت اولیه کلراید mg/L	باقیمانده آرسنیت µg/L	باقیمانده آرسنیت در حضور سولفات µg/L	باقیمانده آرسنیت در حضور کلراید µg/L	غلظت باقیمانده سولفات mg/L	غلظت باقیمانده کلراید mg/L	آهن افزوده شده به آب mg/L	آهن افزوده شده در حضور سولفات mg/L	آهن افزوده شده در حضور کلراید mg/L
۵۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۳۵	۳۵	۳۵	۱۶۷/۹	۷۵/۰۵	۰/۶۹	۰/۶۵	۰/۶۸
۱۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	<۷۵ تقریباً ۵۰	۷۵	۷۵	۱۳۷/۷	۷۱/۴۸	۰/۴۵	۰/۶۰	۰/۶۱
۲۰۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۱۷۵	۱۷۵	۱۰۱/۳	۷۸/۶۳	۰/۵۱	۰/۶۸	۰/۵۷
۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۳۵	<۳۵ تقریباً ۲۵	۳۵	۳۱۴/۲	۸۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۶۷	۰/۶۰
۱۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۷۵	۷۵	۷۵	۳۳۳/۵	۸۳/۹۹	۰/۶۵	۰/۶۷	۰/۶۵
۲۰۰۰	۴۰۰	۴۰۰	<۱۷۵ تقریباً ۱۵۰	۱۷۵	<۱۷۵ تقریباً ۱۵۰	۲۳۵/۳	۶۶/۱۲	۰/۴۸	۰/۶۵	۰/۵۹

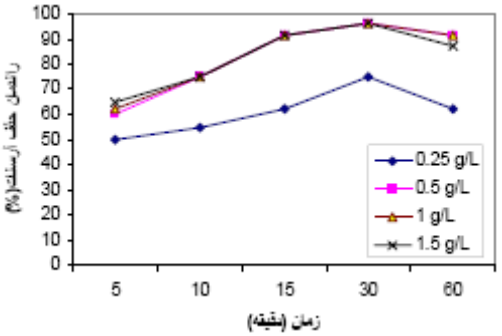
[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]



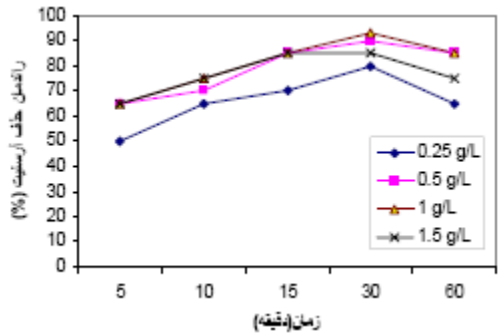
شکل ۱: تأثیر زمان بر راندمان حذف آرسنات در غلظت اولیه ۰/۵ mg/L



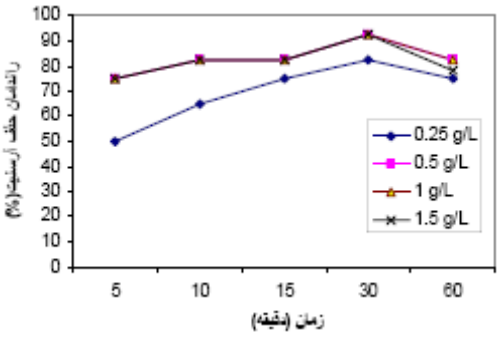
شکل ۲: تأثیر زمان بر راندمان حذف آرسنات در غلظت اولیه ۱ mg/L



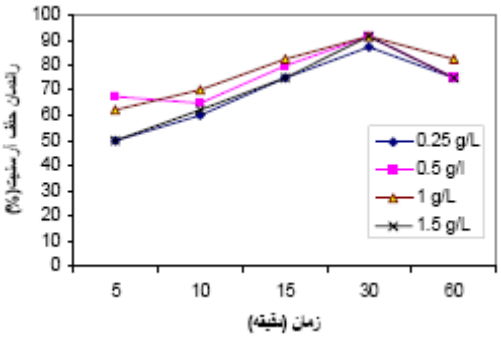
شکل ۳: تأثیر زمان بر راندمان حذف آرسنات در غلظت اولیه ۲ mg/L



شکل ۴: تأثیر زمان بر راندمان حذف آرسنیت در غلظت اولیه ۰/۵ mg/L

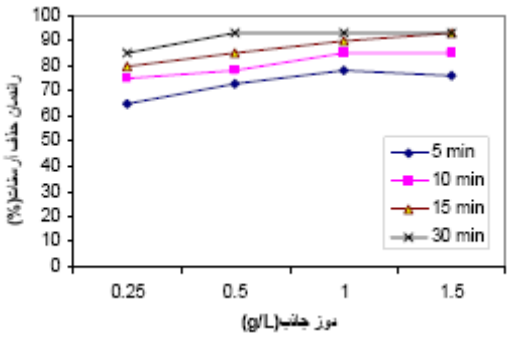


شکل ۵: تأثیر زمان بر راندمان حذف آرسنیت در غلظت اولیه ۱ mg/L

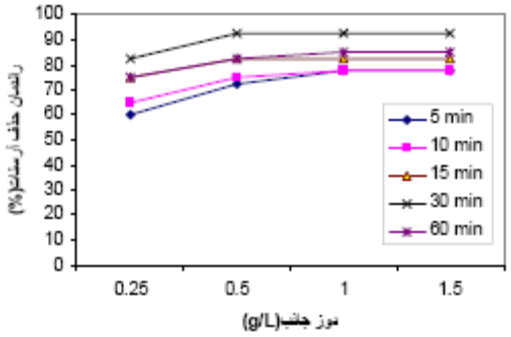


شکل ۶: تأثیر زمان بر راندمان حذف آرسنات در غلظت اولیه ۲ mg/L

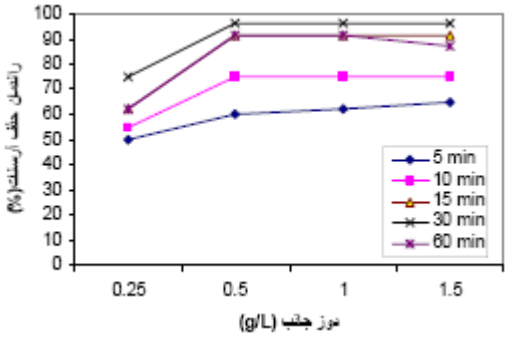
[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]



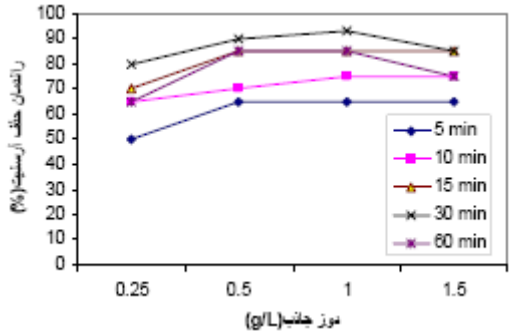
شکل۷: تأثیر دز جاذب بر راندمان حذف آرسنات در غلظت ۰/۵ mg/L



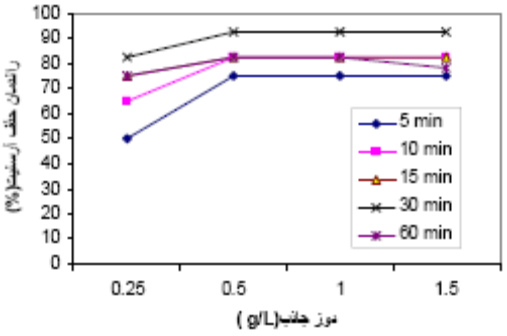
شکل ۸: تأثیر دز جاذب بر راندمان حذف آرسنات در غلظت ۱ mg/L



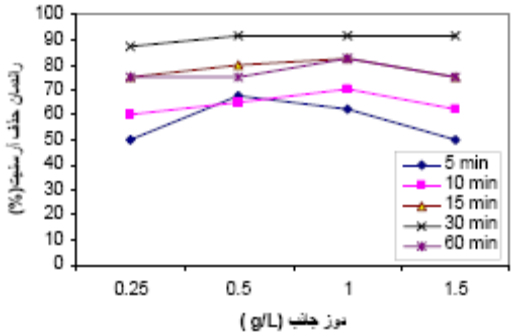
شکل۹: تأثیر دز جاذب بر راندمان حذف آرسنات در غلظت ۲ mg/L



شکل۱۰: تأثیر دز جاذب بر راندمان حذف آرسنیت در غلظت ۰/۵ mg/L

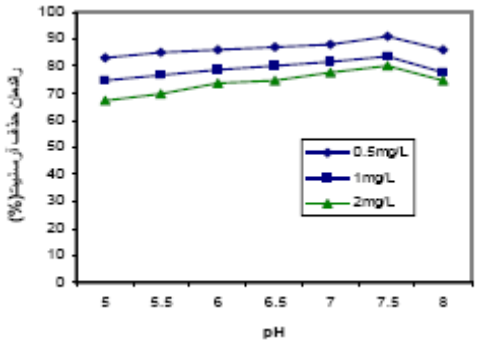


شکل۱۱: تأثیر دز جاذب بر راندمان حذف آرسنیت در غلظت ۱ mg/L

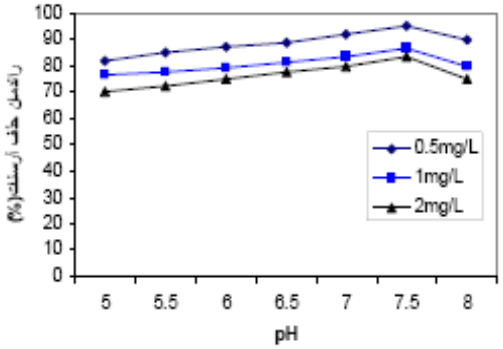


شکل۱۲: تأثیر دز جاذب بر راندمان حذف آرسنیت در غلظت ۲ mg/L

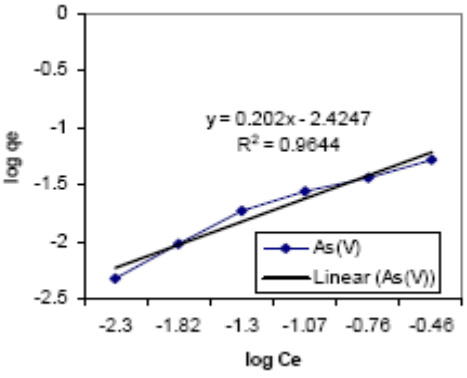
[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]



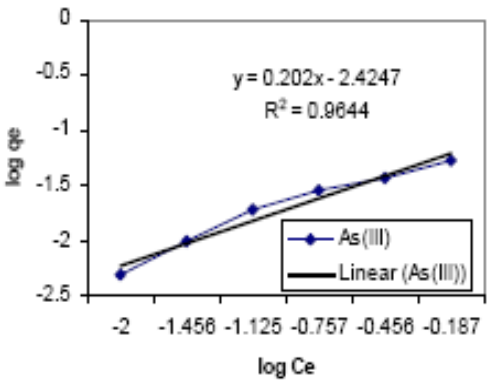
شکل ۱۳: تأثیر pH بر راندمان حذف آرسنات



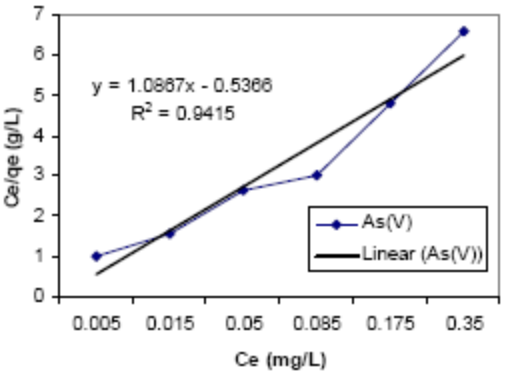
شکل ۱۴: تأثیر pH بر راندمان حذف آرسنیت



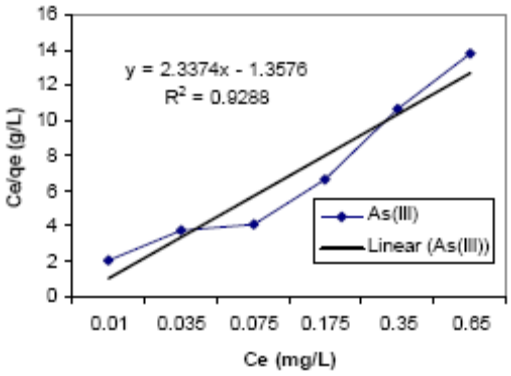
شکل ۱۵: مطالعه ایزوترم جذب فروندلیخ آرسنات



شکل ۱۶: مطالعه ایزوترم جذب فروندلیخ آرسنیت



شکل ۱۷: مطالعه ایزوترم جذب لانگموئر آرسنات



شکل ۱۸: مطالعه ایزوترم جذب لانگموئر آرسنیت

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

بحث

اکسیدهای آهن به صورت گسترده‌ای برای جذب و حذف آلاینده‌های فاضلاب و مایعات زائد خطرناک همانند کرین فعال به کار رفته‌اند. هیدروس فریک اکساید (HFO) به عنوان یک جاذب مهم در تصفیه فاضلاب برای جذب مواد شیمیایی خطرناک به کار رفته است (۲۲). بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که آرسنیک ناشی از آب زیر زمینی قابل حذف توسط فیلترهای دارای آهن صفر ظرفیتی می‌باشد (۲۳). سایر مواد مشابه دارای آهن که برای حذف آرسنیک طی سالهای گذشته به کار رفته‌اند عبارتند از: هیدروکسید آهن (۲۳)، هیدروکسید فریک (۲۴)، هیدرات فریک (۲۵)، سیلیکات آغشته به آهن (۲۶)، ماسه پوشش داده شده با اکسید آهن (۲۷)، کلرید فریک (۲۸)، جاذب نانوکمپوزیت اکسید آهن و سیلیکات (۲۹)، اکسید آهن پوشش داده شده با مواد پلی مریک (۳۰) و گرانول هیدروکسید آهن (GFH) که برای حذف آرسنات مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۹). همانطور که در شکلهای ۱ تا ۶ می‌بینیم راندمان حذف آرسنات و آرسنیت در غلظتهای اولیه ۰/۵ (شکلهای ۱ و۴)، ۱ (شکلهای ۲ و۵) و ۲ میلی‌گرم در لیتر (شکلهای ۳ و۶) در زمان تماس ۵ دقیقه در حداقل مقدار خود می‌باشد اما با افزایش زمان راندمان حذف افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد بطوری که در زمان تماس ۳۰ دقیقه، راندمان حذف آرسنات و آرسنیت توسط GFH در هر سه غلظت اولیه به حداکثر مقدار خود می‌رسد و پس از آن راندمان حذف دچار کاهش می‌شود و به عباراتی با افزایش زمان تماس به بیش از ۳۰ دقیقه، واجذب آرسنات و آرسنیت به محیط آب صورت می‌گیرد. در شکل‌های ۷ تا ۱۲ می‌بینیم که با افزایش دوز جاذب راندمان حذف آرسنات و آرسنیت افزایش می‌یابد و در دوز جاذب ۰/۵ گرم در لیتر به حداکثر مقدار حذف میرسیم و بعد از آن با افزایش دوز جاذب به یک راندمان تقریباً ثابت حذف نزدیک می‌شویم. نتایج بدست آمده مشابه نتایج Banerjee و همکاران (۳۱) می‌باشد. در شکلهای ۱۳ و ۱۴ می‌بینیم که ایجاد تغییرات pH در کارایی حذف هر دو نوع آرسنات و آرسنیت اثر گذار است به نحوی که در pH کمتر از ۷/۵ در هر سه غلظت ابتدایی آرسنات و آرسنیت، کارایی حذف تقریباً بالا می‌باشد و در pH=۷/۵ به حداکثر مقدار خود می‌رسد و در بیشتر از این pH کارایی حذف تقریباً کاهش می‌یابد. در مطالعه Thriunavukkarasu و همکاران (۳۲)، pH بهینه حذف آرسنیک توسط GFH، ۷/۶ ذکر شد و همینطور در مطالعه Sperlich و همکاران (۳۳)، pH بهینه حذف آرسنیک توسط جاذب یاد شده ۷/۶-۷ بیان شد و نیز Banerjee و همکاران (۳۱) نشان دادند که در PH بیشتر از ۸/۵ راندمان حذف آرسنیک تغییری نداشته و در pH کمتر از ۷/۵ حذف آرسنیک توسط GFH قابل ملاحظه بوده است و همانطور که مشاهده می‌شود نتایج بدست آمده از این مطالعه مشابه نتایج مطالعات ذکر شده می‌باشد. از مقایسه ضرائب هبستگی بدست آمده از مطالعه ایزوترم جذب فروندلیخ آرسنات و آرسنیت با توجه به شکلهای ۱۵ و ۱۶ چنین نتیجه می‌شود که آرسنات و آرسنیت با داشتن ضرائب همبستگی R^2=۰/۹۶ تقریباً به طور یکسانی از این ایزوترم تبعیت می‌نمایند در حالی که با توجه به شکلهای ۱۷ و ۱۸ و مقایسه ضرائب همبستگی R^2=۰/۹۴ در مورد آرسنات و R^2=۰/۹۲ در مورد آرسنیت مشخص شد که آرسنات از ایزوترم جذب لانگموئر نسبت به آرسنیت تبعیت بیشتری را نشان

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

می‌دهد. Badruzzaman و همکاران (۲) نشان دادند که R^2 ایزوترم جذب آرسنات توسط GFH در مورد ایزوترم فروندلیخ ۰/۹۲ می‌باشد که نتایج آنان مغایر با این مطالعه می‌باشد همچنین Sperlich و همکاران (۳۳) در pH=۷، Amy و همکاران (۳۴) در pH=۷ و نیز Westerhoff و همکاران (۳۵) در pH=۷/۵ تبعیت حذف آرسنیک از مدلهای ایزوترم جذب فروندلیخ و لانگموئر را تایید نمودند. با توجه به جداول ۲ و۳ مشاهده می‌شود که حضور یونهای سولفات و کلراید در کارایی حذف آرسنات و آرسنیت تأثیر چندانی ندارند و حتی مشاهده شد که GFH، کلراید و سولفات را در غلظتهای بکار رفته کاهش داده است. میزان حداکثر باقیمانده کلراید در غلظتهای اولیه ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر در حضور آرسنات ۷۱/۴۸ و ۷۸/۵۶ و در حضور آرسنیت ۷۸/۶۳ و ۸۳/۹۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و نشان می‌دهد که کارایی حذف کلراید در حضور آرسنات اندکی بیشتر از حضور آرسنیت می‌باشد. میزان باقی مانده سولفات در غلظتهای اولیه ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی گرم در لیتر در حضور آرسنات حداکثر ۵۱/۰۷ و ۳۴۷/۲۲ و در حضور آرسنیت حداکثر ۱۳۷/۷۸ و ۳۳۳/۵۷ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و این نتیجه نشان می‌دهد که کارایی حذف سولفات در حضور آرسنات و آرسنیت توسط GFH بسیار کمتر از کارایی حذف کلراید می‌باشد و GFH دارای راندمان بیشتری در حذف کلراید نسبت به سولفات می‌باشد. میزان آهن افزوده شده به محیط در حین حذف آرسنات با حضور کلراید حداقل ۰/۳۱ و حداکثر ۰/۸۱ میلی‌گرم در لیتر و با حضور سولفات حداقل ۰/۷۹ و حداکثر ۱/۶۳ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و چنین استنباط می‌شود که میزان آهن افزوده شده در حضور کلراید کمتر از میزان آن در حضور سولفات در حین حذف آرسنات می‌باشد. میزان آهن افزوده شده به آب در حین حذف آرسنیت با حضور کلراید حداقل ۰/۵۷ و حداکثر ۰/۶۸ میلی‌گرم در لیتر و با حضور سولفات حداقل ۰/۶ و حداکثر ۰/۶۸ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و نتیجه‌گیری می‌شود که میزان آهن افزوده شده به آب تفاوت چندانی در حین حذف آرسنیت توسط یونهای کلراید و سولفات را نشان نمی‌دهد. میزان آهن افزوده شده به آب در عدم حضور یونهای سولفات و کلراید در حین حذف آرسنیت و آرسنات توسط GFH حداقل ۰/۴۵ و حداکثر ۰/۶۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. در هر صورت میزان آهن افزوده شده به آب در تمامی سنجشها بیشتر از استاندارد ۰/۳ mg/L آب آشامیدنی می‌باشد که به عنوان یک مشکل در اینجا مطرح می‌شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعه انجام شده مشخص گردید که گرانولهای هیدروکسید آهن دارای کارایی بسیار بالایی در حذف آرسنیک حتی در غلظتهای بالا در آب آشامیدنی می‌باشند. زمان بهینه برای حذف آرسنیک بر اساس آزمایشات انجام شده ۳۰ دقیقه برآورد شد که توصیه می‌شود از این جاذب در حوض اختلاط یا حوض ته نشینی در تصفیه خانه‌های آب استفاده گردد و همچنین مشخص شد که GFH در pH حدود ۷/۵ بیشترین بازده حذف آرسنیک را دارد که این pH در حدود pH آبهای طبیعی می‌باشد و بنابراین نیازی به اصلاح آن در حین کار با GFH وجود نخواهد داشت که این امر به نوبه خود باعث کاهش هزینه‌های راهبری سیستم خواهد شد. افزایش دوز جاذب نیز موجب

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

افزایش کارای حذف خواهد بود اما از آنجایی که در دوزهای بالاتر کارایی حذف تغییرات چندانی را نشان نداد، توصیه می‌شود که از دوزهای پائین این جاذب برای حذف آرسنیک استفاده شود. از مزایای جاذب ذکر شده می‌توان به راهبری ساده، کاربرد آسان و توانایی بالای حذف هر دو گونه آرسنات و آرسنیت و همچنین حذف یون کلراید اشاره نمود و از معایب آن می‌توان به وارداتی بودن، هزینه نسبتاً بالای اولیه و افزودن آهن در مقادیری بیشتر از استاندارد به آب اشاره کرد. به طور کلی می‌توان از GFH در مناطق آلوده کشور به خصوص استان کردستان برای رفع معضل آلودگی آرسنیک استفاده نمود در ضمن توصیه می‌شود در مطالعات بعدی جاذبهای مصرف شده از لحاظ خطرزا بودن توسط آزمایش TCLP آنالیز شوند.

تقدیر و تشکر

این تحقیق در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد و با حمایت مالی دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به انجام رسید, لذا بدینوسیله از زحمات کلیه مسئولین محترم حوزه پژوهشی تشکر می گردد.

References

1. Thomas SY, Choong TG, Chuah YR, Koay FL, Azani I. Arsenic toxicity, health hazards and removal techniques from water: an overview. Desalination 2007; 217: 139-166.
2. Badruzzaman M, Westerhoff P, Knappe DRU. Intraparticle diffusion and adsorption of arsenate onto granular ferric hydroxide (GFH). Water Research 2004; 38:4002-4012.
3. IARC. IARC Monogaphs on the evaluation of the carcinogenic chemicals to Humans, Vol 20, International Agency for Research on Cancer. 1980.
4. NRC. Arsenic in drinking water. NRC subcommittee on arsenic in drinking water, Committee on toxicology. 1999.
5. NRC. Arsenic in drinking water. NRC subcommittee to update the 1999 Committee on toxicology, 2002.
6. Menhage-Bena R, Kazemian H, Ghazi-Khansari M, Hosseini M, Shahtaheri Sj. Evaluation of some natural zeolites and their relevant synthetic types as sorbents for removal arsenic from drinking water. Iranian J Public Health 2004; 33: 36-44.
7. Van G, Ahmad KM, Seddique AA, Ahamsudduha M. Community wells to mitigate the current arsenic crisis in Bangladesh. Bull. WHO 2003; 81: 632-638.
8. Guha Mazumeder DN. Chronic arsenic toxicity: Clinical features, epidemiology and treatment: Experience in West Bengal. J Environ Sci Health Part A 2003; 38: 141-163.
9. Rahman MM, Chowdhury UK, Mukherjee SC, Mandal BK, Paul K, Lodh D. Chronic arsenic toxicity in Bangladesh and West Bengal –India. J Toxicol, Clin Toxicol 2001; 39: 683-700.
10. Mosaferi M, Yunesian M, Mesdaghinia AR, Nasseri S, Mahvi AH, Nadim H. Correlation between arsenic concentration in drinking water and human hair.Iranian J Env Health Sci Eng 2005; 2: 13-21.
11. Chakrabotri D, Sengupta MK, Saha KC, Dutta RN, Zaman QQ. Groundwater arsenic contamination and its health effects in the Gana-Meeghna-Brahmaputra plain. J Environ Monit 2004; 6:74-83.
12. World Health Organization (WHO), Guidelines for drinking water quality, 1993. p. 41.
13. Gonzale MPE, Mattusch W, Einicke D, Wennerich R. Sorption on natural solids for arsenic removal. Chen Eng J 2001; 81: 187-195.
14. Schmidt HR, Pulido AN, Rodriguez LM, Vargas BA, Rubio AO. Environmental health risks by arsenic consumption in water wells in the Cape region, Mexico. In: CA Brebbia and D. Fajzieva, eds. South Hampton, UK: WIT Press, 2001. p. 131-138.
15. Chen ASC, Fields KA, Sorg TJ, Wang LL. Field evaluation of as removal by conventional plants. J Am. Water Works Assoc 2002; 94: 64-77.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]

16. Hering JG, Chen PY, Wilki JA, Elimeleh M. Arsenic removal from drinking water during coagulation. J Environ Eng ASCE 1997; 123: 800-807.
17. McNelli LS, Edwards M. Arsenic removal during precipitative softening. J Environ Eng ASCE 1997; 123: 453-460.
18. Jakel M, Seitth 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: 628-631.
19. Driehaus W, Jakel M, Hildeberandt U, Granular ferric hydroxide- a new adsorbent for the removal of arsenic from natural water. J Water SRT- Aqua1998; 47: 30-35.
20. Mesdaghi Nia AR, Mosaferi M, Younesian 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 RESEARCH JOURNAL 2005; 1: 43-51.
21. APHA, AWWA and WPCF: Standard methods for the examination of water and wastewater, 21th Edition, Washington: D.C: American Public Health Association 2005. p.
22. Leupin, O and Hu, SJ. Oxidation and removal of arsenic (III) from aerated groundwater by filtration through sand and zero-valent iron. Water Res 2005; 39: 1729-1740.
23. Pierce ML, Moore CB. Adsorption of arsenite and arsenate on amorphous iron hydroxide. Res 1982; 16: 1247-1253.
24. Quan C, Khoe G, Bangster D. Adsorption of sodium lauryl sulfate onto arsenic-bearing ferri-hydrite. Water Res 2001; 35: 478-484.
25. Raven KP, Jain A, Loeppert RH. Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: Kinetics, equili-brium, and adsorption envelops. Environ Sci Technol 1998; 32: 344-349.
26. Reed BE, Vaughan R, Jiang L. As (III), As (V), Hg, and Pb removal by Fe-oxide impregnated acti-vated carbon. J Environ Eng 2000; 126: 869-873.
27. Thirunavakkarasu OS, Viraraghavan T, Subramanian KS. Arsenic removal from drinking water using iron oxide-coated sand. Water Air Soil Poll 2003; 142: 95-111.
28. Meng X, Bang S, Korfiatis GP. Effects of silicate, sulfate, and carbonate on arsenic removal by ferric chloride. Water Res 2000; 34: 1255-1261.
29. Peleanu I, Zaharescu M, Rau I, Crisan M, Jitianu A, Meghea A. Nanocomposite materials for As(V) removal by magnetically intensified adsorption. Sep Sci Technol 2002; 37: 3693-3701.
30. Katsoyiannis AI, Zouboulis AI. Removal of arsenic from contaminated water sources by sorption onto iron oxide-coated polymeric materials. Water Research 2002; 36: 5141-5155.
31. 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.
32. Thirunavukkarasu OS, Viraraghavan T, Subramanian KS. Arsenic removal from drinking water using granular ferric hydroxide. Water SA 2003; 29:161-168.
33. 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: 1190-1198.
34. Amy g, Chen H, Barndhuber N, Greziano N, Gunten U, Chowdhury Z, Kommineni S, Banerjee K, Jakel M. Impact of water quality parameters on adsorbent treatment technologies for arsenic removal. AWWA Research Foundeation 2004.
35. Westerhoff P, Highfield D, Badruzzaman M, Yoon Y. Rapid small-scale column testes for arsenate removal in iron oxide paced bed column. ASCE J Environ Eng 2005; 131: 262-271.

[Downloaded from sjku.muk.ac.ir on 2026-11-21]