



آرشیف آب آشامیدنی

مولفان:

دکتر علیرضا رحمانی

(استاد گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی همدان)

مهندس فریبا سیفی پور



انتشارات آوای قلم

سرشناسه: رحمانی، علیرضا، ۱۳۴۰ -
 عنوان و نام پدیدآور: آرسنیک در آب آشامیدنی / مولفان علیرضا رحمانی، فریبا سیفی پور.
 مشخصات نشر: تهران: آوای قلم، ۱۳۹۱. مشخصات ظاهری: ۸۶ ص.
 شابک: ۴۳۰۰۰ ریال، 978-964-2826-76-6
 وضعیت فهرست نویسی: فیبا
 یادداشت: کتابنامه.
 شماره کتابشناسی ملی: ۳۰۸۵۰۷۴.
 موضوع: آب آشامیدنی - آرسنیک. موضوع: آب آشامیدنی - آلودگی.
 شناسه افروده: سیفی پور، فریبا، ۱۳۵۷ -
 رده بندی کنگره: ۴۳۱۳۹۱ / ۴۳۲۷ / TD رده بندی دیوی: ۶۲۸ / ۱۶۱.

نام کتاب: آرسنیک در آب آشامیدنی

مولفان:	دکتر علیرضا رحمانی	نوبت چاپ:	اول - بهار ۹۲
ناشر:	انتشارات آوای قلم	تیراژ:	۵۰۰ جلد
حروفچینی و صفحه آرایی:	انتشارات خانیران	قیمت:	۴۳۰۰۰ ریال
طراحی روی جلد:	مهندس مهدی خانی	شابک:	۹۷۸-۹۶۴-۲۸۲۶-۷۶-۶ ISBN: 978-964-2826-76-6

دفتر پخش: تهران - خ انقلاب - روبروی درب اصلی دانشگاه تهران - ابتدای خ فخر رازی - پلاک ۶۷ - واحد ۵ همراه: ۰۹۱۲۱۹۹۹۱۲۰ (مدیر فروش) تلفن: ۶۶۹۶۵۳۹۶ تفلکس: ۶۶۹۵۰۷۷۲
 دفتر تولید: تهران - م انقلاب - خ کارگر شمالی - ابتدای خ نصرت - کوچه باغ نو - کوچه داوود آبادی شرقی - پلاک ۴ - زنگ اول تلفن: ۶۶۵۹۱۵۰۴ تفلکس: ۶۶۵۹۱۵۰۵
 فروشگاه اینترنتی: www.khaniranshop.com

هرگونه چاپ و تکثیر از محتویات این کتاب بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است.
 متخلفان به موجب قانون حمایت حقوق مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می گیرند.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه ناشر.....	۷
مقدمه مؤلفان.....	۸
۱- مقدمه.....	۹
۲- مسائل بهداشتی- اجتماعی مرتبط با آرسنیک موجود در آب آشامیدنی.....	۱۰
۱-۲ مواجهه حاد با آرسنیک.....	۱۰
۲-۲ مواجهه مزمن با آرسنیک.....	۱۲
۳-۲ اثرات سرطان‌زایی آرسنیک در انسان‌ها.....	۱۴
۳- رهنمودها و استانداردهای کیفی آب.....	۱۵
۴- گستره جهانی مسأله آرسنیک.....	۱۹
۵- منابع و شیمی مقدماتی آرسنیک موجود در آب.....	۲۳
۱-۵ منابع آرسنیک موجود در آب شرب.....	۲۳
۲-۵ شیمی آرسنیک و خصوصیات آن.....	۲۳
۶- منابع و فراوانی آرسنیک در محیط زیست.....	۲۵
۱-۶ منابع طبیعی آرسنیک.....	۲۶
۱-۱-۶ خاک.....	۲۶
۲-۱-۶ آب.....	۲۸
۱-۲-۱-۶ سیکل آرسنیک در آب زیرزمینی.....	۳۰
۲-۲-۱-۶ اشکال آرسنیک در منابع آب سطحی.....	۳۱
۳-۲-۱-۶ غلظت آرسنیک در آب‌های زیرزمینی.....	۳۱
۳-۱-۶ هوا.....	۳۲
۴-۱-۶ موجودات زنده.....	۳۲
۵-۱-۶ محصولات کشاورزی و غیر کشاورزی.....	۳۲
۲-۶ منابع صنعتی آرسنیک.....	۳۳
۷- کاربردهای آرسنیک.....	۳۳

۳۴	۸- سمیت ترکیبات آرسنیک
۳۵	۹- ژئوشیمی آبها
۳۵	۹-۱ پدیده‌های شیمیایی
۳۵	۹-۱-۱ انحلال
۳۶	۹-۱-۲ هیدراتاسیون
۳۶	۹-۱-۳ هیدرولیز
۳۷	۹-۱-۴ اکسیداسیون و احیاء
۳۷	۹-۱-۵ اسیدها
۳۸	۹-۲ پدیده‌های تغییردهنده
۳۸	۹-۲-۱ احیاء سولفات‌ها
۳۸	۹-۲-۲ تبادل یون‌ها
۳۸	۱۰- ترکیب آب در زمین‌های مختلف
۳۹	۱۰-۱ زمین‌های آهکی
۳۹	۱۰-۲ زمین‌های گچی و نمکی
۳۹	۱۰-۳ زمین‌های آذرین
۳۹	۱۰-۴ زمین‌های دگرگونی
۴۰	۱۰-۵ زمین‌های هیدروکربوردار
۴۰	۱۱- مواجهه انسان با آرسنیک
۴۰	۱۲- آنالیز آرسنیک
۴۱	۱۲-۱ آنالیز در محل
۴۲	۱۲-۲ آنالیز آزمایشگاهی
۴۵	۱۳- تکنولوژی‌های حذف آرسنیک از آب
۴۵	۱۳-۱ مقدمه
۴۵	۱۳-۲ فرآیند ته‌نشینی
۴۶	۱۳-۳ فرآیند جذب
۴۶	۱۳-۴ فرآیند تبادل یون
۴۶	۱۳-۵ فرآیند فیلتراسیون غشایی
۴۷	۱۴- مکان‌های استقرار سیستم‌های حذف آرسنیک
۴۷	۱۴-۱ سیستم‌های متمرکز حذف آرسنیک
۴۸	۱۴-۱-۱ سیستم‌های حذف آرسنیک به روش انعقاد-جداسازی

۵۰	۲-۱-۱۴ سیستم‌های حذف آرسنیک مبنی بر جذب
۵۱	۲-۱۴ سیستم تصفیه خانگی در نقطه استفاده
۵۳	۱۵- سابقه تحقیق آرسنیک در جهان
۵۵	۱۶- کاهش مشکل آرسنیک: جنبه‌های اجتماعی و نهادهای
۵۵	۱-۱۶ هشدار
۵۷	۲-۱۶ منابع مشترک ناری از آرسنیک در نقطه مصرف
۵۷	۳-۱۶ حذف آرسنیک در سطح خانگی
۵۸	۴-۱۶ دستگاه تصفیه همگانی
۵۸	۵-۱۶ ابعاد ساختمانی
۶۱	۱۷- مطالعات موردی
۶۱	۱-۱۷ پروژه حذف آرسنیک در نقطه مصرف در بنگلادش
۶۴	۲-۱۷ پروژه آزمایشی حذف آرسنیک در محارستان
۶۷	۱۸- منابع اطلاعاتی در مورد «آرسنیک در آب آشامیدنی»
۶۷	۱-۱۸ کتاب‌ها
۷۳	۲-۱۸ وب سایت‌های مرتبط
۷۸	واژه‌نامه
۷۹	اختصارنامه
۸۰	فهرست منابع

فهرست جداول

عنوان

صفحه

جدول ۱: گونه‌های مختلف آرسنیک.....	۱۱
جدول ۲: حداکثر مقادیر مجاز مواد شیمیایی معدنی.....	۱۵
جدول ۳: مواد شیمیایی کانی موجود در آب آشامیدنی.....	۱۶
جدول ۴: معیارهای عمومی کیفیت آب.....	۱۷
جدول ۵: کشورهای دارای مشکل آرسنیک.....	۲۱
جدول ۶: خواص فیزیکی و شیمیایی ترکیبات آرسنیک.....	۲۶
جدول ۷: مواد عمده معدنی آرسنیک که در طبیعت یافت می‌شود.....	۲۹
جدول ۸: کاربردهای آرسنیک در بخش‌های مختلف.....	۳۴
جدول ۹: کیت‌های مورد استفاده برای تعیین آرسنیک.....	۴۱
جدول ۱۰: روش‌های آنالیزی برای آنالیز آرسنیک در آب شرب.....	۴۳

فهرست اشکال

عنوان

صفحه

شکل ۱: کشورهای دارای مشکل آرسنیک.....	۲۱
شکل ۲: همبستگی بین نتایج سنجش آرسنیک در آب با کیت و روش ICP.....	۴۴
شکل ۳: همبستگی غلظت آرسنیک بدست آمده از کیت با روش SDCC.....	۴۴
شکل ۴: نمونه‌ای از واحد تصفیه مبنی بر فرآیند انعقاد متداول.....	۴۸
شکل ۵: نمونه‌ای از سیستم متداول حذف آهن.....	۵۰
شکل ۶: نمونه‌ای از فیلترهای خانگی IHE مورد استفاده در مناطق روستایی بنگلادش.....	۵۳
شکل ۷: تصاویری از یک خانواده، که برای نشان دادن ..	۵۶
شکل ۸: نمونه‌ای از یک نقشه اجتماعی که در آن خانه‌ها.....	۶۰
شکل ۹: فیلتر خانگی IHE برای حذف آرسنیک در مناطق روستایی بنگلادش.....	۶۳
شکل ۱۰: حذف آرسنیک با استفاده از فیلتر خانگی IHE.....	۶۴
شکل ۱۱: شمایی از فرآیند تصفیه آب‌های زیرزمینی در مقیاس خانگی در Hungary, Mako.....	۶۶
شکل ۱۲: غلظت آرسنیک در قسمت آب ورودی و فیلتر شده در ..	۶۶

تقدیم به

انسان‌هایی که

به فردایی بهتر

می‌اندیشند.

مقدمه ناشر

سیاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید، قدرتی که در مقایسه با سایر موجودات باعث شده است که انسان هرگز به امکانات محدود خود اکتفا نکند. مکاتب الهی، انسان را موجودی کمال‌طلب و پویا می‌داند که جهت‌گیری او به سوی خالقش می‌باشد.

از جمله راه‌های تقرب به خداوند علم است، علمی که زیبایی عقل است. علمی که در دریای بیکران آن هر ذره نشانی از آفریدگار است و هر چه علم انسان افزون گردد، تقربش بیشتر می‌شود. از این روست که به علم‌اندوزی و دانش‌آموزی توجهی بی‌نظیر مبذول گردیده است. اما علم‌آموزی به ابزاری نیاز دارد که مهمترین آن کتاب است و انتشار نتیجه مطالعات پژوهشگران و اندیشمندان، پاسخگوی این نیاز خواهد بود.

جهت تحقق این امر و گام برداشتن در جهت ارتقای پایه‌های علم و دانش و رشد و شکوفایی استعدادها انتشار کتاب را یکی از اهداف خود قرار داده و انتظار داریم با حمایت‌های معنوی هموطنان گرامی بتوانیم گام‌های مؤثر و ارزشمندی را برداریم. گرچه تلاش خواهد شد در حد دانش و تجربه اندکمان کارهایی بدون اشکال تقدیم حضورتان گردد، ولی اذعان داریم که راهنمایی‌های شما عزیزان می‌تواند ما را در ارتقای کیفی کتاب راهگشا باشد لذا همیشه منتظر پیشنهادات و راهنمایی‌های شما خواهیم بود.

در پایان از همه عزیزانی که در مراحل مختلف تهیه، تدوین و چاپ کتاب از همفکری و همکاری آنها برخوردار بوده‌ام به‌خصوص آقایان دکتر علیرضا رحمانی و مهندس فریبا سیفی‌پور (مؤلفان) و مهندس علی‌محمد خانی (مدیر فروش) سپاسگزاری نموده و موفقیت روزافزون کتاب را آرزو مندم.

مهدی خانی

مدیر مسئول انتشارات آوای قلم

* جهت اطلاع از میزان تخفیف و نحوه همکاری، کتابفروشی‌ها و مراکز و مؤسسات محترم می‌توانند با شماره تلفن‌های انتشارات خاتیران تماس یا با آدرس‌های این مرکز مکاتبه نمایند.

* جهت خرید جزئی خواهشمند است قیمت عناوین درخواستی را به اضافه ۱۵٪ هزینه پستی محاسبه نموده و کل مبلغ به شماره حساب یاد شده در زیر واریز و اصل فیش بانکی را به همراه عناوین درخواستی به نشانی: تهران - خ انقلاب - روبروی درب اصلی دانشگاه تهران - ابتدای خ فخر رازی - پلاک ۶۷ - طبقه اول - واحد ۵ ارسال فرمائید.

✓ حساب جاری ۵۴۱۵۱۵۳۵ بانک تجارت - شعبه فخر رازی - کد ۱۶۷ به نام مهدی خانی

✓ حساب سیبا ۰۱۰۵۱۸۳۸۳۳۰۰۱ بانک ملی - شعبه جمهوری - کد ۶۵۲ به نام مهدی خانی

مقدمه مولفان

قرن هاست که بشر به سمیت شدید آرسنیک در غلظت‌های بالا پی برده است. اما تحقیقات سال‌های اخیر نشان داده است که اثر نامطلوب آن بر سلامت انسان در اثر تماس طولانی‌مدت با آرسنیک حتی در غلظت‌های بسیار پایین نیز محتمل می‌باشد. امروزه آب شرب منبع اصلی جذب آرسنیک در بسیاری از اشکال غیر آلی آن می‌باشد. وجود آرسنیک در آب حتی در غلظت‌های بالا تغییری در مزه، بو یا ظاهر آب ایجاد نمی‌کند. بنابراین تشخیص آن در آب بدون استفاده از تکنیک‌های پیشرفته کاری بس دشوار است. آرسنیک غیر آلی که در آب زیرزمینی یافت می‌شود، مهم‌ترین منبع زمین‌شناسی آرسنیک است. غلظت‌های بالای آرسنیک معمولاً در نواحی با آتشفشان‌های فعال، آب‌های ژئوترمال، صخره‌های رسوبی و خاک‌های با غلظت بالای سولفیدها یافت می‌شود. آرسنیک هم‌چنین از طریق فعالیت‌های معدنی نیز وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. از آنجا که قابلیت انحلال آرسنیک در آب بالا می‌باشد، در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی با آرسنیک گسترده می‌باشد. در دهه‌های اخیر در مورد وجود آرسنیک در آب‌های زیرزمینی گزارشات هشداردهنده‌ای داده شده است.

میزان اثرات و پیامدهای مرتبط با آرسنیک در هنگام مصرف آب نامشخص است اما در طولانی‌مدت، اثرات و علائم ظاهری بیماری‌های مرتبط با آرسنیک و مشابه با آن نمایان می‌شود. به هر حال اثرات آرسنیکوز، خطرناک و مصرف طولانی‌مدت آب آلوده به آرسنیک منجر به ظهور انواع سرطان‌ها می‌شود.

در کتاب حاضر با عنوان آرسنیک در آب آشامیدنی موضوعات آرسنیک در بخش‌های مختلف شامل مسائل بهداشتی، اجتماعی، رهنمودها و استانداردها، پراکندگی، منابع، کاربردها، سمیت، مواجهه، آنالیز، تکنولوژی‌های حذف، سابقه تحقیقات در جهان و کتاب‌ها و سایت‌های مرتبط با آرسنیک آورده شده است. امید است که کتاب حاضر بتواند انتظار شما از مباحث مورد توجه در خصوص آرسنیک در آب را برآورده نماید. بدیهی است انتقال نقطه نظرات ارزشمند اساتید و دانشجویان عزیز می‌تواند در بهبود کیفیت چاپ‌های بعدی کتاب موثر واقع گردد.

مولفان

۱- مقدمه

بر پایه نوشته برخی از کتاب‌های کانی‌شناسی، ارسطو برای اولین بار از ماده‌ای بنام «Sandarach» یاد کرده که بعدها نئو فراست آن را Arsenikon نامید. اختصاصات توصیف شده از این ماده به گونه‌ای است که گمان می‌رود منظور رئال گار «Realgar» یا در اصطلاح فارسی زرنیخ قرمز بوده است. در قرن شانزدهم میلادی شخصی بنام Paracels از کشور سوئیس، عنصر این کانی یعنی آرسنیک^۱ را یک عنصر فلزی اعلام کرد. زکریای رازی دانشمند ایرانی توانست آرسنیک را با آزمایش‌های گوناگون بدست آورد و نام آن را جوهر زرنیخ نهاد ولی آن را جزء عناصر فلزی در نظر نگرفت. وی در کتاب مدخل زرنیخ را به سه دسته^۲ زرد (As_2S_3)، سرخ (AsS) و سبز و در کتاب سرالاسرار، آن را به شش گونه تقسیم‌بندی کرده است.

آرسنیک در سال ۱۸۶۶ توسط شرادر^۲ کشف و نام آن از کلمه یونانی Arsenikose گرفته شده است. قرن‌هاست که بشر به سمیت شدید آرسنیک در غلظت‌های بالایی برده است. اما اخیراً معلوم شده است که اثر نامطلوب آن بر سلامت انسان در اثر تماس طولانی‌مدت با آرسنیک حتی در غلظت‌های بسیار پایین می‌باشد. امروزه آب شرب منبع اصلی جذب آرسنیک در سمی‌ترین اشکال غیرآلی آن می‌باشد. وجود آرسنیک در آب حتی در غلظت‌های بالاتر از حد مجاز، به دلیل ظاهر آب ایجاد نمی‌کند. بنابراین تشخیص آن در آب بدون استفاده از تکنیک‌های پیشرفته تجزیه، کاری بس دشوار است. آرسنیک غیر آلی که در آب زیرزمینی یافت می‌شود، مهم‌ترین منبع زمین‌شناسی آرسنیک است. غلظت‌های معمول آرسنیک در آب زیرزمینی بسیار پایین است و در اغلب موارد زیر ۱۰ میکروگرم بر لیتر است. غلظت‌های بالای آرسنیک (بیش از ۵۰۰۰ میکروگرم بر لیتر)، معمولاً در نواحی با آتشفشان‌های فعال، آب‌های ژئوترمال، صخره‌های رسوبی و خاک‌های با غلظت بالای سولفیدها (مانند آرسنو پیریت) یافت می‌شود. آرسنیک همچنین از طریق فعالیت‌های معدنکاری نیز وارد آب‌های زیرزمینی می‌شود. از آنجا که قابلیت انحلال آرسنیک در آب بالا می‌باشد، در نتیجه آلودگی آب‌های زیرزمینی با آرسنیک گسترده می‌باشد. در دهه‌های اخیر در مورد وجود آرسنیک در آب‌های زیرزمینی گزارشات هشداردهنده‌ای داده شده است. در بیشتر کشورها از آب زیرزمینی برای تأمین آب شرب استفاده می‌شود. غلظت آرسنیک در برخی از این منابع چند برابر بیشتر از مقدار پیشنهاد شده توسط سازمان بهداشت جهانی $10 \mu\text{g/L}$ می‌باشد.

میزان اثرات و پیامدهای مرتبط با آرسنیک در هنگام مصرف آب نامشخص است اما در طولانی‌مدت، اثرات و علائم ظاهری بیماری‌های مرتبط با آرسنیک و مشابه با آن نمایان می‌شود. به هرحال اثرات آرسنیکوز، خطرناک و مصرف طولانی‌مدت آب آلوده به آرسنیک منجر به ظهور انواع

سرطان‌ها می‌شود.

۲- مسائل بهداشتی - اجتماعی مرتبط با آرسنیک موجود در آب آشامیدنی

بر خلاف اغلب آلاینده‌های زیست محیطی، اطلاعات گسترده‌ای در خصوص آرسنیک غیر آلی و تماس انسانی وجود دارد. نقش آرسنیک در ایجاد اثرات سمی مشخص بر روی سلامت انسان‌ها بعد از مواجهه از طریق دهان و تنفس از زمان‌های پیش مشخص شده است. اثرات بهداشتی آرسنیک غیر آلی خورده شده شامل سرطان‌های پوست، سرطان‌های داخلی و اثرات غیر سرطانی بر روی پوست، سیستم‌های عروقی، گوارشی و کبد است. آرسنیک غیر آلی همچنین با توسعه سمیت در بدن مرتبط شده است. به‌طور کلی اثرات ایجاد شده توسط آرسنیک از اثرات حاد کشنده تا اثرات مزمن مانند سرطان و بیماری‌های سیستم عروقی متفاوت است. مطالعات آزمایشگاهی بر روی حیوانات مشخص کرده که سمیت زایی آرسنیک وابسته به شکل و حالت اکسیداسیون آن است و در این بین عموماً ترکیبات آرسنیک‌دار غیر آلی محلول سمی‌تر از انواع آلی و اشکال ۳ ظرفیتی ($As(III)$) سمی‌تر از اشکال ۵ ظرفیتی ($As(V)$) می‌باشند. سیستم‌ها و ارگان‌های مختلف بدن از جمله پوست، سیستم تنفسی، قلبی عروقی، ایمنی، ژنتیکی، تناسلی، گوارشی و عصبی تحت تأثیر این ماده قرار گرفته و عوارض ترکیبی مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که اغلب اطلاعات مربوط به عوارض و اثرات بهداشتی آرسنیک روی انسان‌ها به‌ویژه در ارتباط با سرطان‌زایی از شواهد به دست آمده از مطالعه جمعیت مواجهه یافته به آرسنیک به دست آمده و مدل حیوانی مناسبی برای مطالعه سرطان‌زایی آرسنیک وجود ندارد.

۲-۱ مواجهه حاد با آرسنیک

تماس انسان با آرسنیک می‌تواند از طریق بلع، تنفس و جذب پوستی صورت گیرد. اما بلع، مهم‌ترین شکل مصرف آرسنیک می‌باشد. دوزهای بالای آرسنیک می‌تواند موجب اثرات سمی حاد مانند عوارض گوارشی (کم اشتها، استفراغ و اسهال)، اختلالات قلبی و اختلال در اعمال سیستم عصبی (مانند کرامپ عضلانی، ناراحتی‌های قلبی) یا مرگ شود. سمیت آرسنیک به مقدار زیادی به شکل آرسنیک موجود بستگی دارد. شکل‌های غیر آلی آرسنیک معمولاً در آب آشامیدنی از شکل آلی آن که در غذاهای دریایی وجود دارد سمی‌تر هستند. سمیت آرسنیک فلزی و تری‌سولفید آرسنیک به علت حلالیت ناچیز آن‌ها پایین بوده ولی ترکیبات محلول آرسنیک سمی‌تر می‌باشند. سمیت مشتقات سه ظرفیتی آرسنیک بیش از مشتقات پنج ظرفیتی آن می‌باشد. به‌عنوان مثال، آرسنیک سه ظرفیتی تقریباً ۲۵ مرتبه از اسید دی‌متیل آرسنیک سمی‌تر می‌باشد. دوز کشنده خوراکی تعدادی از گونه‌های آرسنیک در جدول ۱ آورده شده است.