

مطالعه آزمایشگاهی حذف آرسنیک از آب آلوده توسط جلبک ماکروسکوپی «کارا»

یاسمن بابایی

کارشناس ارشد مهندسی عمران- محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Email:yassamanbabaee@yahoo.com

فرشته قاسم زاده

دانشیار دانشکده علوم (گروه زیست شناسی)، دانشگاه فردوسی مشهد

محمدحسین ارباب زوار

استاد دانشکده علوم (گروه شیمی)، دانشگاه فردوسی مشهد

محمدرضا علوی مقدم

استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تاریخ پذیرش: ۸۶/۲/۸۲۲

تاریخ دریافت: ۸۵/۶/۴

چکیده

آرسنیک از مهمترین آلاینده های آب های سطحی و زیرزمینی است. در طی سال های اخیر استفاده از گیاهان در حذف آلاینده های مختلف از آب مورد توجه محققین قرار گرفته است. هدف از انجام این مطالعه بررسی امکان استفاده از جلبک «کارا» برای کاهش آرسنیک از آب سطحی منطقه چلیو کاشمر می باشد. به منظور سنجش توانایی این جلبک برای حذف آرسنیک از آب، از چهار راکتور با غلظت های اولیه ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکروگرم در لیتر آرسنیک استفاده شد. در این تحقیق علاوه بر بررسی غلظت آرسنیک در آب و گیاه، تغییرات pH و وزن گیاه نیز در مدت زمان آزمایش مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج گرفته شده در طی ۱۹ روز حاکی از قابلیت بالای این گیاه برای حذف آرسنیک از آب می باشد. بالاترین درصد حذف آرسنیک (۷۵٪) در پایان آزمایش مربوط به غلظت اولیه ۵۰ میکروگرم بر لیتر بود. به موازات حذف آرسنیک از آب، غلظت این ماده در گیاه افزایش یافت، به گونه ای که غلظت آرسنیک در گیاه راکتوری که بالاترین غلظت اولیه آرسنیک در آن وجود داشت در پایان ۱۹ روز به ۶۲/۷ میلی گرم بر کیلوگرم گیاه خشک رسید.

واژه های کلیدی: جلبک ماکروسکوپی کارا، آرسنیک، گیاه پالایی، چلیوکاشمر

مقدمه

۵۶ کیلومتری شمال کاشمر قرار دارد. منشا این آلودگی هوازدگی و تغییرات حاصل در کانی های حاوی آرسنیک (رالگار و اریپمنت) در منطقه می باشد (۹). مقدار آرسنیک اندازه گیری شده در آب بین ۳۷/۴ و ۳۷۶ میکروگرم در لیتر متغیر بوده است (۱۰) و این در حالی است که غلظت مجاز تعیین شد آرسنیک در آب آشامیدنی توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) ۱۰ میکروگرم در لیتر می باشد. با توجه به کمبود شدید منابع آب در منطقه، این آب در پاره ای موارد توسط روستاییان مورد استفاده قرار می گیرد. بنابراین لزوم به کارگیری روشی کارآمد، سازگار با محیط زیست و از لحاظ اقتصادی به صرفه برای رساندن آرسنیک به میزان مجاز آن در آب ضروری به نظر می رسد.

آب های آلوده به آرسنیک در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله آرژانتین، بنگلادش، هند، مکزیک، تایلند و تایوان وجود دارند. غلظت آرسنیک در آب های زیرزمینی این مناطق از ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ میکروگرم بر لیتر گزارش شده است (۱-۴). در کشور ما نیز در مناطقی از خراسان و کردستان آلودگی منابع آب به آرسنیک مشاهده شده است (۶، ۵). مطالعات انجام شده ارتباط مستقیم بین وجود آرسنیک در آب و بروز سرطان هایی چون سرطان مثانه، روده، پوست، کلیه و کبد را نشان می دهد (۸، ۷). آلودگی آب منطقه چلیو به آرسنیک در مطالعاتی که در سال های گذشته توسط محققین صورت گرفته، گزارش شده است. این منطقه در

روغن ها استفاده شده است. علاوه بر این، گیاهان از گسترش آلودگی به نقاط دیگر توسط باد، باران و آب های زیرزمینی جلوگیری می کنند (۱۲-۱۵). استفاده از گیاهان مختلف برای حذف آلودگی آب ها به آرسنیک توسط محققین مختلفی در سراسر جهان گزارش شده است (۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰). در جدول ۱ نام بعضی از این گیاهان و مقدار آرسنیک جذب شده توسط آن ها آورده شده است.

هدف از انجام این تحقیق بررسی امکان استفاده از جلبک ماکروسکوپی «کارا» برای به حداقل رساندن مقدار آرسنیک در آب منطقه چلیو می باشد.

روش هایی که به طور معمول برای برطرف سازی آرسنیک از آب به کار می رود شامل تعویض یونی، اسمز معکوس، روش های استفاده از غشاهای ترسیب شیمیایی و... می باشد (۱۱)، ولی این روش ها غالباً پرهزینه بوده و قابلیت استفاده برای تصفیه مقادیر زیادی از آب به خصوص در مناطق روستایی را ندارد.

یکی از روش های نسبتاً جدید برای رفع آلودگی از آب و خاک گیاه پالایی (Phytoremediation) است. در این روش از گیاهان سبز به منظور پاکسازی آلاینده های محیط زیست استفاده می شود. از گونه های مختلف گیاهان برای پاکسازی آلودگی های فلزات سنگین و آلودگی های حاصل از ترکیبات آلی همچون حشره کش ها، مواد منفجره و

جدول ۱ - اسامی گیاهان مناسب برای حذف آرسنیک

مرجع	آرسنیک موجود در گیاه (میلی گرم بر کیلوگرم گیاه خشک)	نام گیاه
۲۱	۳۴۷۰	Agrostistenuis
۱۸	۱۹۶۶/۴۸	Lemnagibba
۲۲	۱۰۰۰>	Pteriscretica
۱۷	۱۰۰۰>	Pteris longifolia
۱۷	۱۰۰۰>	Egeriadensa
۲۱	۱۰۰۰>	Ceratophyllum demersum
۲۳	۵۶۰	H.lanatus
۲۲	۴۴۰/۸	Chara
۲۳	۳۶۱	Pterisargyrea
۲۲	۲۸۲/۸	Hydrillaverticillata
۲۳	۲۴۶/۲	Pistia slratiotes (ریشه)
۱۶	۱۹۵	Colocasiaesculenta
۲۳	۱۴۴/۸	Eichhornia crassipes (ریشه)

مواد و روش ها

جلبک انتخابی

گیاه مورد استفاده در این تحقیق جلبک « کارا » است. جلبک کارا از گیاهان بومی منطقه می باشد و برای انجام آزمایش از مزایای ذیل برخوردار است:

۱) سازگاری و تطبیق با آب و هوای منطقه (۲) توانایی تحمل آرسنیک (۳) رشد سریع و ایجاد زی توده گیاهی انبوه (۴) عدم ایجاد رنگ، طعم و بو در آب و (۵) برخورداری از فیزیولوژی مناسب برای انجام آزمایش.

در شکل ۱ تصویری از این جلبک (تصویر میکروسکوپی) مشاهده می شود.

آماده سازی راکتور های آزمایش

برای انجام این تحقیق از ۵ راکتور شیشه ای استفاده شد (شکل ۲). برای مشابه سازی کامل شرایط محیط در راکتور های آزمایش، رسوبات، آب و گیاه مورد استفاده در راکتور ها از یک منطقه غیر آلوده به آزمایشگاه انتقال داده شد. در شروع این تحقیق ۶۰ گرم گیاه (براساس وزن خیس) درون هر راکتور قرار داده شد (جلبک کارا قادر است توسط زوایدی در رسوب ثابت شود).

درون هر راکتور ۱۴ لیتر آب ریخته شد و شرایط نور طبیعی

آنالیز نمونه های آب و گیاه

تعیین میزان آرسنیک در گیاه بر اساس روش به کار برده شده توسط زوار انجام یافته است [۲۴]. در این روش برای آماده سازی نمونه های جلبک، ابتدا نمونه ها به خوبی با آب مقطر شسته شده و سپس به مدت ۲۴ ساعت در آن (درجه حرارت $110^{\circ}C$) قرار گرفتند. در مرحله بعد مقدار ۱۰ CC اسید نیتریک به نمونه های ۱ گرمی گیاه خشک افزوده شد و نمونه ها پس از ۲۴ ساعت به منظور تبخیر اسید نیتریک حرارت داده شدند. سپس با افزودن ۱۰ CC اسید نیتریک و ۱۰ CC اسید سولفوریک به نمونه ها و ۲۴ ساعت باقی ماندن در این حالت، نمونه ها بار دیگر به مدت ۱ ساعت بین $60^{\circ}C$ تا $70^{\circ}C$ حرارت دیده و صاف شدند. در نهایت، مقدار آرسنیک محلول صاف شده توسط دستگاه جذب اتمی (Shimadzu model AA-670G) اندازه گیری شد. مقدار آرسنیک موجود در آب نیز پس از صاف شدن نمونه ها توسط همین دستگاه اندازه گیری شد.

بحث و نتایج

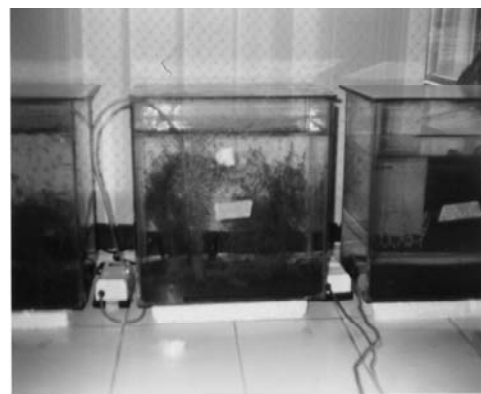
تغییرات غلظت آرسنیک در آب

نتایج حاصل از آنالیز آب در روز ۱۲ و ۱۹ آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس اعداد مندرج در این جدول مشاهده می شود که با افزایش مدت زمان آزمایش غلظت آرسنیک در راکتورها کاهش قابل توجهی می یابد ($p < 0.05$ ، $r < 0.93$). در شکل ۳ در صد حذف آرسنیک در روز ۱۲ و ۱۹ در راکتورهای آزمایش نسبت به روز اول آورده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، بالاترین درصد حذف آرسنیک مربوط به راکتور R۱ در روز ۱۹ آزمایش یعنی ۷۵٪ است و هرچه بر غلظت اولیه آرسنیک در راکتور افزوده می شود میزان درصد حذف آن کاهش می یابد، به طوری که کمترین درصد حذف مربوط به راکتور R۴ یعنی ۵۶٪ می باشد.

(مطابق با محل زیست جلبک ها) در آزمایشگاه فراهم گردید. جلبک های درون راکتورها به مدت ۷ روز با شرایط محیطی سازگار شدند. با توجه به غالب بودن آرسنیک پنج ظرفیتی در آب های سطحی و آب منطقه، آرسنیک به فرم $Na_2HASO_4 \cdot 7H_2O$ در غلظت های مختلف به راکتورها اضافه شد، به طوری که غلظت آرسنیک در راکتورهای شماره ۱ تا ۴ به ترتیب به ۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰ میکروگرم بر لیتر برسد. علاوه بر چهار راکتور فوق، یک راکتور نیز به عنوان شاهد (کنترل) در نظر گرفته شد که در آن آب بدون آرسنیک (با هدف مقایسه رشد گیاه در دوره آزمایش) ریخته شد. به منظور اطمینان از کافی بودن اکسیژن، راکتورها توسط پمپ های کوچک در تمام مدت شبانه روز هوادهی شدند. همچنین برای جبران مقدار آب تبخیر شده روزانه مقداری آب مقطر به راکتورها اضافه می شد. این آزمایشات ۱۹ روز به طول انجامید و غلظت آرسنیک در آب و گیاه و pH در روز دوازدهم و نوزدهم (در سه تکرار) اندازه گیری شد. همچنین برای مقایسه میزان رشد گیاه در محیط های یاد شده، وزن خشک و تر گیاه نیز در ابتدا و انتهای آزمایش تعیین شد.



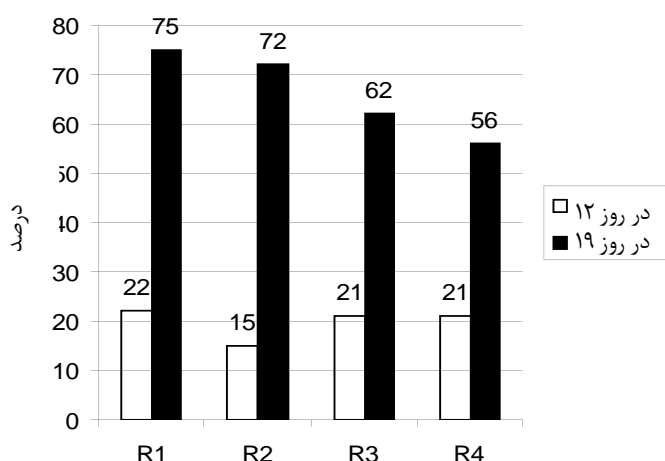
شکل ۱- تصویر میکروسکوپی جلبک کارا



شکل ۲- راکتور آزمایش

جدول ۲- تغییرات غلظت آرسنیک در آب و گیاه

راکتور	غلظت آرسنیک در آب (ppb)		غلظت آرسنیک در گیاه (mg/kg گیاه خشک)	
	روز ۰	روز ۱۲	روز ۱۲	روز ۱۹
R ₁	۵۰	۳۹/۰۱ ± ۱/۹۳	۱۰/۳۳ ± ۱/۰۹	۱/۵۷ ± ۲۲/۳
R ₂	۱۰۰	۸۴/۹ ± ۳/۱۲	۱۹/۴۸ ± ۱/۲۷	۱/۰۳ ± ۳۵/۷
R ₃	۲۰۰	۱۵۷/۵۳ ± ۱/۱۱	۲۸/۸۷ ± ۱/۷۳	۱/۱۴ ± ۵۴/۸۱
R ₄	۳۰۰	۲۳۶/۵ ± ۲/۲۹	۳۴/۳۸ ± ۱/۱۷	۰/۶۸ ± ۶۲/۷



شکل ۳- در صد کاهش غلظت آرسنیک در راکتورهای مختلف در طی زمان

تغییرات غلظت آرسنیک در گیاه

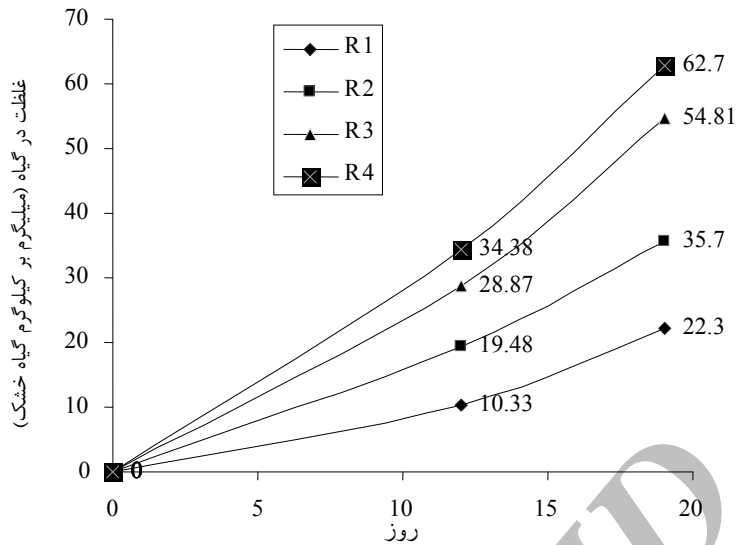
نتایج حاصل از آنالیز آرسنیک موجود در جلبک استفاده شده در روز ۱۲ و ۱۹ آزمایش در جدول ۲ و شکل ۴ آورده شده است. با افزایش مدت زمان آزمایش بر غلظت آرسنیک جلبک موجود در راکتورهای آزمایش افزوده می شود ($t=0/99$ ، $p < 0/05$). همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می شود، هرچه بر غلظت اولیه آرسنیک در آب راکتورهای آزمایش افزوده می شود، افزایش غلظت آرسنیک در گیاهان درون راکتورها شدید تر بالا می رود به طوری که بالاترین غلظت آرسنیک در گیاه راکتور R₄، ۶۲/۷ میلی گرم بر کیلوگرم گیاه خشک، در پایان آزمایش و کمترین غلظت در گیاه راکتور R₁، ۲۲/۳ میلی گرم بر کیلوگرم گیاه خشک دیده می شود. البته باید خاطر نشان ساخت که این گیاه قابلیت جذب مقادیر بسیار بالاتری از آرسنیک را نیز دارد.

نتایج حاصل از تحقیقات سایر محققین نشان دهنده است که این گیاه به میزان $44/8 \pm 2/2$ میلی گرم بر کیلوگرم گیاه خشک، آرسنیک را جذب می کند [۲۳]. ولی در این تحقیق با توجه به محدودیت شرایط آزمایشی، گرم شدن هوا

و احتمال از بین رفتن گیاه، امکان ادامه آزمایش و رسیدن به غلظت های بالاتر وجود نداشت. نکته قابل توجه این است که آرسنیک عنصری ضروری برای گیاهان نیست ولی ساختمان آن شبیه به ساختمان فسفر می باشد. فسفر یک ماده مغذی برای رشد گیاهان است. گزارش شده است که آرسنیک و فسفر به عنوان ماده غذایی برای بعضی گیاهان رقابت می کنند ولی تمایل برای جذب فسفات بیشتر از تمایل برای جذب آرسنات می باشد. در صورت عدم دسترسی به فسفر گیاهان آرسنیک را جذب می کنند (۱۷، ۱۶ و ۱۸).

تغییرات وزن گیاه در طول مدت آزمایش

یکی از پارامترهای مهم در فرایند گیاه پالایی، میزان رشد گیاه مورد نظر در غلظت های مختلف آلاینده می باشد. در این تحقیق وزن گیاه در پایان آزمایش به عنوان شاخصی از رشد اندازه گیری شد. مطابق جدول ۳ با گذشت زمان گیاهان رشد کرده و بر وزن آن ها افزوده می شود ($< 0/05$ ، $p > 0/9$) ولی همان طور که دیده می شود، بیشترین افزایش وزن در راکتور کنترل (آب فاقد آرسنیک) یعنی ۲۲٪



شکل ۴- غلظت آرسنیک در گیاهان درون راکتورهای آزمایش

گیاه افزایش می یابد تا جایی که مکانیزم کنترلی جذب بر اثر افزایش غلظت ناگهانی آرسنیک در گیاه از بین می رود و گیاه نشانه هایی از مسمومیت با آرسنیک را نشان می دهد و این باعث کاهش زی توده گیاهی تولید شده می شود [۱۸].

و کمترین درصد افزایش در راکتور R₄ (۴/۷٪) به دست آمد. بنابراین آرسنیک به عنوان عاملی بازدارنده برای رشد این گیاه عمل می کند. در تحقیقات سایر محققین بیان شده است که در گیاهانی که قادر به جذب آرسنیک از آب می باشند به موازات حذف آرسنیک از آب، غلظت در

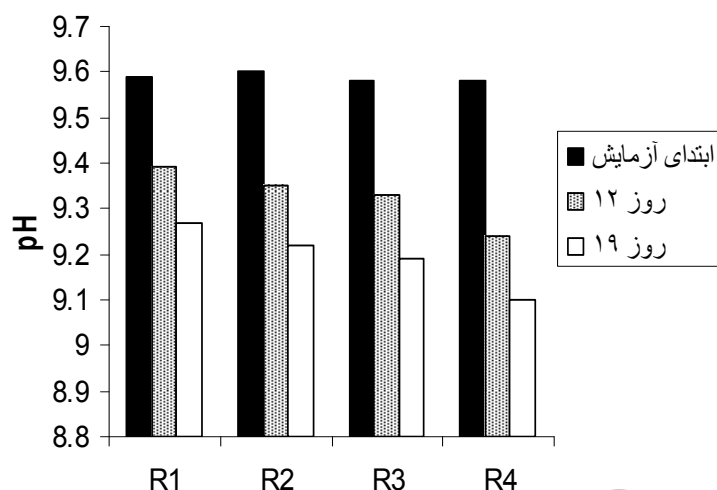
جدول ۳- تغییرات وزن گیاه در دوره آزمایش

راکتور	وزن در ابتدای آزمایش (گرم گیاه تازه)	وزن در انتهای آزمایش (گرم گیاه تازه)	درصد افزایش وزن
کنترل	۶۰	۷۳/۲ ± ۰/۱۶۸	٪۲۲
R ₁	۶۰	۷۱/۳۸ ± ۰/۴۷	٪۱۹
R ₂	۶۰	۶۶/۸۴ ± ۰/۱۶۳	٪۱۱/۴
R ₃	۶۰	۶۳/۴۳ ± ۰/۳۳	٪۵/۷
R ₄	۶۰	۶۲/۸۱ ± ۰/۱۶۴	٪۴/۷

غالب است [۱۶]. همان طور که در شکل (۵) دیده می شود، pH راکتورها به مرور و اندک اندک کاهش پیدا می کند و کاهش بیشتر pH در غلظت های اولیه بالاتر آرسنیک مشاهده می شود. باید خاطر نشان ساخت که جلبک مورد استفاده در این آزمایش در آب های قلیایی زندگی می کند و با کاهش pH محیط نمی توان جذب آرسنیک توسط گیاه را افزایش داد چرا که این عمل باعث از بین رفتن جلبک کارا می شود.

تغییرات pH راکتورها

تغییرات pH ممکن است بر قابلیت جذب آرسنیک توسط گیاه تاثیر بگذارد. در محیط اسیدی (pH < ۴) تحرک آرسنیک افزایش یافته و کاهش pH باعث افزایش امکان جذب آرسنیک توسط گیاه می شود. طبق تحقیقات انجام شده در pH حدود ۵ بالاترین میزان جذب آرسنیک توسط گیاه دیده می شود زیرا در این pH، $H_2AsO_4^-$ غالب ترین آنیون موجود می باشد. با افزایش pH تا حدود ۸ جذب آرسنیک کاهش می یابد زیرا در این حالت آنیون HSO_4^{2-}



شکل ۵- تغییرات pH در راکتورهای آزمایش

نتیجه گیری

همان طور که از نتایج این تحقیق مشخص است جلبک «کارا» به خوبی آرسنیک را از آب آلوده جذب می کند و قابلیت استفاده در عملیات گیاه پالایی به منظور رفع آلودگی آرسنیک از آب را دارد. در این آزمایش بالاترین درصد جذب آرسنیک (۷۵٪) در راکتوری با غلظت اولیه ۵۰ میکروگرم بر لیتر مشاهده شد. به موازات حذف آرسنیک از آب، غلظت در گیاه افزایش یافت و بالاترین آن (۶۲/۷ میلی گرم بر کیلوگرم گیاه خشک)، در گیاه راکتوری که بالاترین غلظت اولیه آرسنیک (۳۰۰ میکروگرم بر لیتر) در آن وجود داشت، دیده شد. با توجه به جذب آرسنیک توسط جلبک کارا و بومی بودن این گیاه در منطقه مورد مطالعه می توان از این گیاه در استخرهای ساخته شده جهت جذب آرسنیک از آب آلوده استفاده کرد. به علاوه به دلیل قرارگیری در محیط طبیعی محدودیتی برای رشد گیاه وجود ندارد. بنابراین در غلظت های بالاتر آرسنیک کارایی گیاه با زی توده بیشتر زیادتر بوده و این امکان فراهم می شود که میزان آرسنیک به حد مجاز برسد و از نظر سلامتی، برای مردم منطقه آب قابل استفاده باشد.

منابع

- Feroze Ahmed, M. "An Overview of Arsenic Removal Technologies in Bangladesh and India", <http://www.unu.edu/env/Arsenic/Ahmed.pdf>, Access Date June 2005.
- Smedley, P.L. and Kinniburgh, D.G., (2001), "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters", *Applied Geochemistry*, 17, 517-568.
- Alam, M.B. and Sattar, M.A., (2000), "Assessment of arsenic contamination in soils and waters in some areas of Bangladesh", *Water Science and Technology* Vol 42 No7-8, 185-193
- مسافری، م. (۱۳۸۴)، « بررسی عوارض بهداشتی ناشی از آرسنیک در آب استان کردستان و روش های حذف آن از آب آشامیدنی »، پایان نامه دکتری در رشته بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران، دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات بهداشتی گروه مهندسی بهداشت محیط.
- قاسم زاده، ف و زوار، م. ح. «آلودگی آنتیمونی و آرسنیک در آب های سطحی چلیو در منطقه کوه سرخ کاشمر (استان

- Jiang, J.Q. (2001), "Removing arsenic from groundwater for the developing word - a review", *Water Science and Technology*, Vol.44 No. 6. 89-98.

- 49: 643 – 668.
14. Schnoor. J. L ,(2002), “ Phytoremediation of soil and ground water “,Technology Evaluation Report , TE-02-01 , www.gwrtac.org
15. Vara Prasad. M. N,Oliveira Freitas . H. M, (2003), “Metal hyperaccumulation in plants – Biodiversity prospecting for phytoremediation technology “ , Electronic Journal of Biotechnology, Vol.6, No.3.
16. Akson, E. and Visoottiviseth, P. (2004), «Selection of suitable emergent plants for removal of Arsenic from Arsenic contaminated water « , Science Asia, 30, 105-113.
17. Robinson, B. and Duwig, C. and Bolan, N. and Kannathasan, M. and Saravanan, A. (2003), «Uptake of arsenic by Newzealand watercress (Lepidium sativum) « , The science of the total Environment, 301, 67-73.
18. Mkandavire, M. and Dude, E.G.(2005), « Accumulation of arsenic in Lemna gibba L. (duckweed) in tailing waters of two abandoned uranium mining sites in Saxony, Germany « , The science of the total Environment, 336, 81-89.
19. Mkandawire, M. and Yelena,V.L. and Kosterin, P.L and Dude, E.G. (2004), « Toxicity of Arsenic species on Lemna gibba L. and the Influence of Phosphate on Arsenic Bioavailability « , Environmental toxicology, V.19(1),26-34.
20. Stoeppler, M. and Burow, M. and Backhaus, F. خراسان) و راهکارهای پالایش آن « مجله علوم دانشگاه تهران (در دست چاپ)
- Handbook of chemical « , (۲۰۰۰). Eisler, R . ۷
 , ۳: Vol , « , risk assessment / Arsenic (chapter ۲۸)
 ۱۵۶۶-۱۵۰۱
۸. سازمان بهداشت جهانی ، « رهنمودهای کیفیت آب آشامیدنی « ترجمه نبی زاده نودهی ، ر. وفایزی رازی ، د. چاپ اول ، زمستان ۷۵ .
۹. مظلومی، ع. (۱۳۷۱) ، « مطالعه زمین شناسی و ژئوشیمی نواحی طلا دارکوه سرخ در شمال کاشمر» پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه شهید بهشتی
10. Ghassemzadeh,F. and Arbab-Zavar,M.H. and Hosein, M. and Geoffrey,M. (in print), « Arsenic and Antimony in Drinking water in Khohsorkh Area, Northeast Iran Possible Risks for the public Health « , Accepted in Pakistan Biological Journal.
11. EPA 816-R-03-014. (2003), “Arsenic Treatment Technology Evaluation Handbook for small Systems “ , <http://www.Epa.gov/safewater>.
12. Macek. T, Francova. K, Kochankova . L, Lovecka. P, Ryslava. E, Rezek. J, Sura. M, Triska. J, Demnerova . K, Mackova. M , (2004) , “ Phytoremediation : Biological Cleaning of a Polluted Environment” , Review on Environmental Health, Volume19 , No.1
13. Salt .D. E, Smith. R. D, Raskin. I, (1998), “PHYTOREMEDIATION “ , Annu. Rev. Plant. MOL. Biol.

23. Lee, C.K. and Low, K.S. And Hew, N.S.(1991), « Accumulation of arsenic by aquatic plants », The science of the total Environment, 103, 215-227.
24. Arbab Zavar, M.H. (1982), «Arsenic in environment », PhD thesis, University of Southampton, England
21. Meharg, A.A. and Whitaker, J.H. (2002), «Arsenic uptake and metabolism in arsenic resistant and nonresistant plant species », New phytologist, 154, 29-43.
22. Meharg, A.A. (2003), « Variation in arsenic accumulation in ferns and their allies », New phytologist, 157,31-35
- and Schramm, W. and Wolfgan, H. (1986), «Arsenic in seawater and brown algae of the Baltic and the North sea », Marine Chemistry, 18, 321-334.

Archive of SID