فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال پنجم، شماره ۱۵، تابستان ۱۳۹۰

بررسی توانایی پالایش گیاهان آبزی شمال خوزستان جهت کاهش آرسنیک از محیط

علی‌شیر افروس[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]، محمد منشوری[۳]، ابراهیم پذیرا[۴]، حسین صدقی[۵]
۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
۳- استادیار گروه آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۴- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
۵- استاد گروه آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
تاریخ دریافت مقاله : ۱۳۸۹/۲/۳ تاریخ تصویب : ۱۳۹۰/۶/۱۷

چکیده

امروزه توانایی گیاهان آبزی به عنوان ابزاری سازگار با محیط زیست جهت پالایش خاک و تصفیه فاضلاب های مختلف در جهان توجه زیادی را به خود جلب نموده است. در این تحقیق امکان جذب فلز سنگین آرسنیک از خاک و تصفیه پساب صنعتی آلوده به این فلز، توسط چهار گونه گیاه آبزی *Phragmites australis*، *Typha latifolia*، *Scirpus bulrush* و *Alisma plantgo* مورد مطالعه قرار گرفته است. به همین منظور ابتدا از طریق آزمایش های گلدانی و آلوده کردن خاک در سه سطح مختلف آرسنیک و در سه تکرار در دوره زمانی ۶۰ روزه، در قالب طرحی کاملا تصادفی دو گونه گیاهی *Phragmites* sp. و *Scirpus* sp. با میزان جذب به ترتیب ۱۱۹/۵۵ و ۶۵/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در انتهای دوره رشد گیاهان، بالاترین انباشت آرسنیک را در اندام های زیرزمینی نشان دادند. میزان انباشت در اندامهای زیرزمینی نیز اختلاف معنی‌داری را با میزان انباشت در اندام های هوایی نشان داد. سپس دو گونه انتخاب شده در این مرحله در حوضچه‌های مصنوعی که با ابعاد ۵ متر طول، ۰/۵ متر عرض و ۰/۴ متر ارتفاع احداث و کف آن ها ایزوله و در انتهای آن ها لوله زهکش قرار داده شده بود، کشت گردید. یک حوضچه نیز به عنوان شاهد (بدون گیاه) در نظر گرفته و آزمایش های به منظور تاثیر نوع سامانه و زمان ماند (پنج زمان ماند ۱، ۳، ۷، ۱۰ و ۱۴روزه) بر راندمان حذف آرسنیک در سطح آلایندگی ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک و در سه تکرار انجام گرفت. نتایج این بخش نشان داد که تاثیر نوع سامانه و زمان ماند بر راندمان حذف آن از حوضچه‌های مصنوعی معنی‌دار و اثر متقابل این دو عامل غیرمعنی‌دار گردید.

واژگان کلیدی: راندمان حذف، آرسنیک، خاک، *Phragmites*، *Scirpus*، فاضلاب، دزفول

مقدمه

گیاهان آبزی متنوعی در اقلیم های مختلف و در حاشیه آب های شور و شیرین وجود دارند. این گیاهان توانایی جذب مواد آلاینده و بخصوص فلزات سنگین را دارند و به همین دلیل نقش موثری در نیزار های طبیعی و مصنوعی تصفیه فاضلاب ایفا می کنند. با این حال شناسایی میزان جذب آلاینده‌ها

توسط گیاهان مختلف به منظور استفاده از آن ها در سامانه نیزارهای مصنوعی ضروری است.

فلزات سنگین موجود در خاک و محیط های آبی یک مسأله مهم زیست محیطی است که تهدید کننده اکوسیستم های آبی، کشاورزی و حتی سلامت عمومی جامعه می باشد [14,17]. گیاهان آبزی توانایی بالایی جهت جذب فلزات سنگین از فاضلاب های صنعتی و امکان تصفیه آن ها را دارند. امکان حذف فلزات از سامانه نیزارهای مصنوعی شامل عملیات ترسیب جذب سطحی، ترکیب، جذب بوسیله گیاهان و فعالیتهای میکروبی محیط مانند اکسیداسیون و احیا می‌باشد [9]. امکان حذف فلزات سنگین توسط گیاهان آبزی تحقیقات زیادی صورت گرفته است [۱,۲,4,7,18]. بعضی از محققان بر جذب فلزات توسط گیاهان تمرکز بیشتری داشته‌اند [5,8,14,19,22]. از بین گونه‌های گیاهی دو گونه *Typha latifolia* و *Phragmites australis* گونه‌های گیاهی شناخته شده‌ای هستند که در اقلیم های مختلف رشد می‌کنند و توانایی جذب فلزات مختلفی توسط آن ها بررسی گردیده است [17,22]. جذب بعضی فلزات سنگین توسط گونه گیاهی (*Scirpus*(*Bulrush*) نیز مورد مطالعه قرار گرفته است [10].

با این حال جذب فلزات و همچنین راندمان حذف در نیزارهای مصنوعی در شرایط مختلف محیطی حتی در مورد گیاهان مشابه نتایج مختلفی را نشان داده است.

یکی از فلزات سنگینی که تحقیقات بسیار کمی در مورد آن وجود دارد، آرسنیک است. امکان جذب این فلز سنگین توسط گونه‌های گیاهی مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است [6].

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که جذب در اندام های زیرزمینی گیاهان آبزی از میزان جذب در اندام های هوایی بیشتر است [20]. در استان خوزستان و بخصوص شمال این استان گونه‌های مختلف گیاهان آبزی در حاشیه رودخانه‌ها، کانال های آبیاری و حتی زهکش های روباز کشاورزی وجود دارد که می‌توان توان حذف فلزات سنگین موجود در فاضلاب کارخانجات صنعتی کوچک و بزرگ حاوی فلزات سنگین در این مناطق را بوسیله کشت این گونه‌ها در سامانه نیزارهای مصنوعی مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق امکان جذب آرسنیک توسط چهار گونه گیاه آبزی *Phragmites* sp. ،*Typha* sp. ،*Scirpus* sp. و *Alisma* sp. مورد بررسی و دو گونه مناسب جهت کشت در سامانه نیزارهای مصنوعی انتخاب و راندمان حذف در دو سامانه تحت کشت این دو گیاه در زمان های ماند مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

تهیه نمونه‌های گیاهی

پس از انتخاب گونه‌ها جهت مطالعه، نمونه‌های گیاهی جوان بوسیله بیل از حاشیهٔ برکه‌ها، کانال های آبیاری زهکش های سطحی روباز و یا حاشیهٔ آب های سطحی در محدوده شهرستان دزفول استخراج شده و در سطل های بزرگ جمع‌آوری گردید و سریعاً به آزمایشگاه منتقل گردید. این تحقیق از اوایل خرداد تا اواخر مهرماه ۱۳۸۷ به انجام رسید.

تهیه بسترهای کشت و کشت گیاهان

در این تحقیق ابتدا از طریق آزمایش های گلدانی دو گونه مؤثر از بین چهار گونه گیاهی مورد مطالعه

انتخاب و در مرحله دوم در سامانه نیزارهای مصنوعی کشت گردیدند.

به منظور انجام مرحله اول تحقیق جهت شناسایی گیاهان مناسب، اقدام به تهیه ظروف پلاستیکی به قطر ۱۲۰ و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر گردید.

ظروف تهیه شده از جنس پلاستیک و از مواد درجه اول با دوام طولانی تهیه شد. جهت کشت گیاهان مورد بررسی، از شن با قطر دانه‌های ۱ تا ۵ میلیمتری به عنوان بستر رشد گیاه و به ارتفاع ۳۰ سانتیمتری در کف ظروف استفاده گردید. ظروف کشت به فاصلهٔ ۱/۵ متری از هم قرار داده شد. پس از آماده‌سازی بستر و افزودن مواد مغذی به محیط کشت، هر محیط کشت به صورت تصادفی به یک تیمار و در سه تکرار اختصاص یافت. گیاهان کشت شده از بین جوان ترین نمونهٔ گونه‌های مورد نظر (که پس از انتقال به محل تحقیق در محیط اشباع از آب تا زمان کشت نگهداری می‌شد)، انتخاب می‌گردید. پس از شستشوی ملایم این گیاهان در آب (به منظور جلوگیری از تخریب ریشه‌ها و یا ریزوم ها) در عمق ۱۰ سانتیمتری بستر کشت گردید. در هر محیط کشت ۶ بوتهٔ گیاهی به فواصل منظم و با فاصله حداقل ۵ سانتیمتری از دیوارهٔ ظرف قرار داده شد. به منظور بررسی قابلیت جذب آلاینده‌ها توسط بافتهای گیاهی، هر ۱۰ روز یکبار یکی از بوته‌های کشت شده در ظروف کشت را به طور کامل جدا نموده و پس از شستشوی ملایم با آب جهت خشک شدن در کورهٔ الکتریکی به آزمایشگاه منتقل می‌شد. نمونه‌های گیاهی پس از توزین و تفکیک به اندام های هوایی و زیرزمینی، در کوره الکتریکی در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۵ روز خشک گردید. نمونه‌های گیاهی خشک شده را وزن نموده و پس از آسیاب نمودن از الک ۰/۷۵ میلی‌متری عبور داده شد. از دستگاه ICP جهت اندازه‌گیری میزان آرسنیک بر اساس روش استاندارد APHA (۱۹۹۹) استفاده گردید. در این بخش از تحقیق، سه سطح پایین، متوسط و بالای آرسنیک (با استفاده از نیترات آرسنیک) به ترتیب ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک به صورت مصنوعی اضافه گردیده و پس از یک ماه از آلوده کردن محیط اقدام به کشت گیاهان شده بود. پس از انجام آزمایش های مرحله گلدانی گیاهان مناسب از بین گونه‌های گیاهی برای کشت در سامانه نیزار شناسایی گردید. هر سامانه نیزار از یک پلاستیک ضخیم قرار داده شده در بستر یک کانال سیمانی تشکیل شده است، که در انتهای آن یک سوراخ کوچک جهت خروج (زهکشی) جریان خروجی فاضلاب تعبیه شده بود. ابعاد بستر به صورت ۵ متر طول، ۰/۵ متر عرض و ۰/۴ متر ارتفاع منظور گردید. در جلوی حفره خروجی جریان یک توری فلزی ریز جهت جلوگیری از خروج شن از سامانه نیزار به درون نمونه‌های خروجی فاضلاب به واسطه زهکشی جریان قرار داده شد. حوضچه‌ها با شن رودخانه‌ای با دانه‌بندی ۵-۱ میلی‌متری تا عمق ۲۰ سانتیمتری پر گردید. در این مرحله از آزمایش (حوضچه‌های نیزار) که به منظور بررسی تاثیر زمان ماندهای مختلف بر حذف آرسنیک موجود در فاضلاب انجام گرفت، پنج زمان ماند ۱، ۳، ۷، ۱۰ و ۱۴ روزه اعمال و تاثیر زمان ماند فاضلاب بر راندمان حذف در حوضچه‌های حاوی کشت دو گیاه انتخابی در مرحله اول و حوضچه بدون کشت گیاه (به عنوان شاهد) مورد بررسی قرار گرفت. میزان ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک آرسنیک را در آب حل نموده و پس از اضافه نمودن مواد مغذی مورد نیاز گیاه به صورت جریان زیرسطحی به حوضچه‌ها منتقل گردید و در

زمان های ماند مختلف غلظتهای آرسنیک در جریان ورودی و خروجی از فاضلاب با دستگاه ICP اندازه‌گیری گردید.

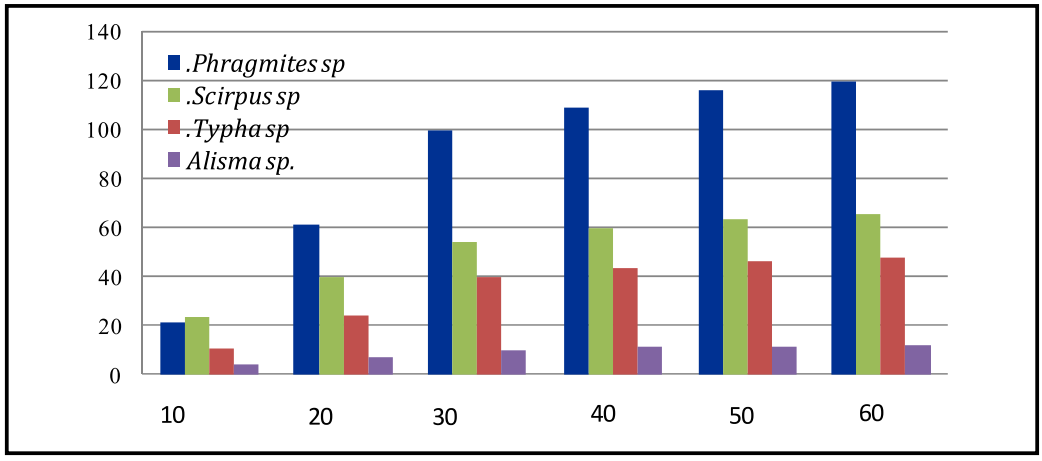
آزمایشات هر دو مرحله در سه تکرار انجام و در قالب طرح کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. راندمان حذف مواد مغذی فاضلاب با استفاده از فرمول ۱ [22]. محاسبه گردید.

$$\mathrm{Re}(\%) = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \cdot 100 \qquad (۱)$$

در این فرمول C_{in} و C_{out} به ترتیب غلظت آلاینده در جریان ورودی به سامانه و خروجی از سامانه می‌باشد.

نتایج و بحث

نمودارهای ۱ و ۲، روند تجمع آرسنیک در اندام های زیرزمینی و هوایی گونه‌های گیاهی مورد بررسی را در طول زمان نشان می‌دهد. همان طور که در این نمودارها مشاهده می‌گردد، با افزایش زمان میزان جذب نیز افزایش یافته است، ولی سرعت جذب در دهه‌های مختلف رشد گیاه متغیر است.

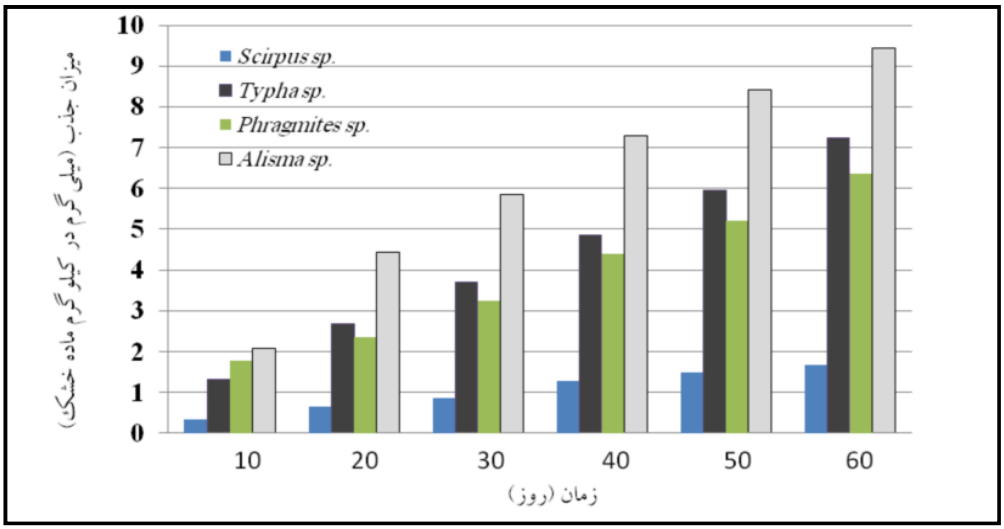


شکل ۱- میزان جذب آرسنیک در اندام های زیرزمینی گیاهان مورد بررسی در تیمار سطح بالای آرسنیک در محیط کشت

به دلیل تفاوت های فیزیولوژیکی گیاهی، تراکم ریشه‌ای متفاوت و تفاوت در ارتفاع گیاه، ضخامت برگ و دیگر عوامل گیاهی میزان جذب آرسنیک نیز در گونه‌های مختلف گیاهی و همچنین اندام های زیرزمینی و هوایی هر گیاه متغیر و متفاوت بوده است. در جدول شماره ۱ تأثیر اندام های زیرزمینی و هوایی بر میزان جذب آرسنیک ارائه شده است. همان طور که در نمودارها مشاهده می‌گردد، تجمع آرسنیک در اندامهای زیرزمینی از اندام های هوایی بیشتر می‌باشد. این امر را می‌توان به مهیایی بیشتر آرسنیک در محیط رشد ریشه در مقایسه با میزان آرسنیک رسیده به ریشه برای انتقال به اندام های هوایی نسبت داد. علاوه بر این در بعضی از گیاهان میزان تجمع مواد سمی در ریشه‌ها و ریزوم ها بیش از اندام های هوایی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ترتیب صعودی به نزولی جذب آرسنیک بوسیله اندام های زیرزمینی گیاهان مورد

مطالعه در محیط های کشت گلدانی به صورت فراگمتیس استرالیس، اسکیرپوس، تیفا و آلیسما با حداکثر جذب به ترتیب ۱۱۹/۵۵، ۶۵/۲۵، ۴۷/۸۶ و ۱۵/۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک در انتهای دوره رشد گیاهان، مشاهده گردیده است. بنابراین در گیاه فراگمتیس آسترالیس بیشترین و در گیاه آلیسما کمترین جذب آرسنیک مشاهده شد و تفاوت بین میزان جذب آرسنیک بوسیله نی فراگمتیس با سه گونه دیگر چشمگیر می‌باشد. در مورد جذب آرسنیک در اندام های هوایی گیاهان مورد بررسی ترتیب به صورت آلیسما، تیفا، فراگمتیس استرالیس و اسکیرپوس با میزان جذب ۹/۴۶، ۷/۲۵، ۶/۳۶ و ۱/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک مشاهده گردید. نگاهی به نمودارهای انباشت آرسنیک توسط گونه‌های مختلف گیاهی نشان می‌دهد که با گذشت زمان جذب آرسنیک افزایش یافته و درصد بیشتری از جذب در دهه‌های سوم و یا حداکثر چهارم رشد اتفاق افتاده است.

هر چند که در بعضی موارد می‌توان انتظار جذب بیشتر را در صورت ادامه آزمایش های داشت.



نمودار ۲- میزان جذب آرسنیک در اندام های هوایی گیاهان مورد بررسی در تیمار سطح بالای آرسنیک در محیط کشت

جدول ۱- تأثیر اندام های گیاهی بر جذب آرسنیک از محیط رشد

اندام های گیاهی	تجمع آرسنیک (میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک)	جذب روزانه آرسنیک بوسیله گیاه (میکروگرم در گرم در روز)
اندام های زیرزمینی	۳۹/۳۰	۶۵۴/۹۱
اندام های هوایی	۴/۴۷	۷۴/۵۳
وضعیت معنی‌داری	***	***

در جدول شماره ۲ مقایسه میانگین و آنالیز واریانس تاثیر سطوح مختلف آرسنیک در محیط رشد، بر میزان انباشت آن در بافت های مختلف گیاهان مورد بررسی ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش سطوح غلظت آرسنیک در محیط رشد گیاهان، میزان جذب نیز افزایش یافته است و در سطح ۱ یا ۵ درصد معنی‌دار شده است. به عبارت دیگر افزایش غلظت آرسنیک در محیط خاک حرکت آن به سمت ریشه و ورود به داخل ریشه را بالاتر برده است. اعداد مربوط به جذب روزانه آرسنیک از حاصلضرب تجمع آرسنیک بعد از ۶۰ روز در ۱۰۰۰ (تبدیل میلی گرم به میکروگرم) تقسیم به ۶۰ روز دوره رشد مورد بررسی بدست آمده است.

جدول ۲- مقایسه میانگین و آنالیز واریانس سطوح مختلف آرسنیک بر انباشت آن در گونه های مختلف گیاهی

گونه گیاهی	جذب روزانه آرسنیک بوسیله گیاه (میکروگرم در کیلوگرم در روز)			تجمع آرسنیک (میلی‌گرم در کیلوگرم)	
	تیمار	اندام های هوایی	اندام های زیرزمینی	اندام های هوایی	اندام های زیرزمینی
Phragmites sp.	سطح پایین آرسنیک	۲۹/۶۷ b	۵۰۳ c	۱/۷۸ b	۳۰/۱۸ c
	سطح متوسط آرسنیک	۴۶/۵ b	۱۱۶۳ b	۲/۷۹ b	۶۹/۶۶ b
	سطح بالای آرسنیک	۱۰۶ a	۱۹۹۲/۵ a	۶/۳۶ a	۱۱۹/۵۵ a
	سطح معنی‌داری	*	**	*	**
Scirpus sp.	سطح پایین آرسنیک	۱۴/۸۳ b	۲۹۲/۶۷ c	۰/۸۹ b	۱۷/۵۶ c
	سطح متوسط آرسنیک	۲۲/۸۳ a	۶۸۷/۱۷ b	۱/۳۷ a	۴۱/۲۳ b
	سطح بالای آرسنیک	۲۷/۸۳ a	۱۰۸۷/۵۰ a	۱/۶۷ a	۶۵/۲۵ a
	سطح معنی‌داری	*	**	*	**
Typha sp.	سطح پایین آرسنیک	۵۴/۳۳ c	۲۳۷/۶۷ c	۳/۲۶ c	۱۴/۲۶ b
	سطح متوسط آرسنیک	۹۰/۳۳ b	۴۳۵/۸۳ b	۵/۴۲ b	۲۶/۱۵ b
	سطح بالای آرسنیک	۱۲۰/۸۳ a	۷۹۷/۶۷ a	۷/۲۵ a	۴۷/۸۶ a
	سطح معنی‌داری	**	**	**	*
Alisma sp.	سطح پایین آرسنیک	۱۵۷/۶۷ a	۲۵۶/۱۷ a	۹/۴۶ a	۱۵/۳۷ a
	سطح متوسط آرسنیک	۱۲۰/۵ b	۲۱۱/۶۷ b	۷/۲۳ ab	۱۲/۷ b
	سطح بالای آرسنیک	۱۰۳ b	۱۹۶ b	۶/۱۸ b	۱۱/۷۶ b
	سطح معنی‌داری	*	*	*	*

راندمان حذف در سامانه نیزارهای مصنوعی

با توجه به این که دو گونه گیاه آبزی *Phragmites* sp. و *Scirpus* sp. به ترتیب بالاترین انباشت آرسنیک را در مرحله اول آزمایشات نشان دادند، بنابراین برای کشت در آزمایشات مرحله دوم انتخاب شدند. هر چند گونه گیاهی *Phragmites* sp. عملکرد بهتری داشت، با این حال از آنجا که علاوه بر نوع گیاهان آبزی فعالیت باکتری ها، جلبک ها قارچ ها و جانوران موجود در سامانه نیزارهای مصنوعی در اثر فرایندهای هوازی و بی‌هوازی می‌توانند منجر به حذف فلزات سنگین از سامانه نیزار گردند، بنابراین دو گیاه انتخاب گردید و ممکن است هر دو گونه گیاهی در شرایط طبیعی عملکرد مناسبی در حذف آرسنیک از سامانه داشته باشند. لذا دو سامانه را به کشت این دو گیاه اختصاص داده و یک سامانه نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر نوع سامانه و زمان ماند بر راندمان حذف آرسنیک از سامانه نیزار مصنوعی

منبع تغییرات	وضعیت	توضیح
نوع سامانه	**	معنی‌دار در سطح ۱ درصد ($P<0.01$)
زمان ماند	**	معنی‌دار در سطح ۱ درصد ($P<0.01$)

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، تأثیر دو عامل نوع سامانه (در حضور گیاه و بدون حضور گیاه یا شاهد) و زمان ماند در سطح ۱ درصد معنی‌دار گردیده است. به دلیل مشابهت تأثیر زمان ماند بر راندمان حذف در هر سه سامانه نتایج در یک جدول ارائه شده است. نتایج حاصل از راندمان حذف آرسنیک در سامانه‌های گیاهان آبزی و سامانه شاهد نشان داد که با افزایش زمان ماند راندمان حذف نیز افزایش یافته است. جدول ۴ مقایسه میانگین تأثیر زمان ماند فاضلاب را بر راندمان حذف آرسنیک نشان‌می‌دهد.

جدول ۴- مقایسه میانگین تاثیر زمان ماند فاضلاب بر راندمان حذف آرسنیک

	زمان ماند (روز)				
	۱	۳	۷	۱۰	۱۴
راندمان حذف (درصد)	۱۱/۷ d	۱۹ d	۳۲/۳ c	۴۶/۹ bc	۶۳/۲ a

نتایج (جدول ۴) نشان می‌دهد کـه تفـاوت معنـی‌داری در راندمان حذف آرسنیک در زمان مانـدهای مختلـف در سطح ۱ درصد وجود دارد. در دو زمان مانـد ۱ و ۳ روز اختلاف فاحشی وجود ندارد و دلیـل ایـن امـر را می‌توان به عدم فرصت کـافی بـرای انجـام فراینـدهای حذف توسط گیاهـان و محـیط سـامانه نسـبت داد، در حالی که در زمان های ماند بـالاتر فرصـت زمـان لازم جهـت جـذب فلـزات توسـط گیاهـان و همچنـین فرایندهای شیمیایی و بیولوژیکی حذف کننـده فلـزات وجود دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که زمانهای ماند طولانی‌تر منجر به افـزایش حـذف عناصـر سـنگین از فاضلاب عبوری از سامانه نیزارهای مصنوعی گردیـده است. تحقیقات دیگران نیز ایـن نتیجـه را تأییـد کـرده است [3,11,12,15]. جدول ۵ مقایسه میـانگین تـاثیر نوع سامانه را بر راندمان حذف آرسنیک نشان می‌دهد. تأثیر سامانه‌هـای حـاوی کشـت دو گونـه گیـاهی بـر میانگین راندمان حذف آرسنیک در مقایسـه بـا سـامانه بـــدون گیـــاه (شـــاهد) معنـــی‌دار مـــی‌باشـــد.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیر نوع سامانه بر راندمان حذف آرسنیک

سامانه بدون گیاه (شاهد)	سامانه تحت گیاه *Scirpus* sp.	سامانه تحت گیاه *Phragmites* sp.
۲۳/۴ c	۳۵/۵ b	۴۵/۳ a

اعداد این جدول از میانگین رانـدمان حـذف آرسـنیک در پنج زمان ماند برای هر سامانه بدست آمـده اسـت. سـامانه حـاوی گونـه گیـاهی *Phragmites australis* نسبت به دو سامانه حاوی گونه گیاهی *Scirpus* sp. در حذف آرسنیک عملکرد بهتری داشت، هـر چنـد بـین سامانه‌های حاوی دو گیاه در راندمان حـذف اخـتلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌گردد.

سامانه شاهد نیز توانسـته اسـت در حـذف آلاینـده‌هـا نقش داشته باشد.

اختلاف بین سامانه شاهد با دو سامانه حـاوی گیاهـان در راندمان حذف آرسنیک، به دلیل جـذب آن بوسـیله گیاهان می‌باشد و نتایج آزمایش های مرحلـه اول ایـن نکته را به اثبات رسانده بود.

آلوده فلزات سنگینی مانند آرسنیک را تـا حـدود قابـل قبـولی انجـام داد. هـر چنـد در مـورد ابعـاد زمـین اختصاص داده شده بـه سـامانه نیـزار مصـنوعی بـرای رساندن غلظت ورودی هر آلاینده خاص به سامانه بـه میزانی مشخص، برای تخلیه به آب های سـطحی و یـا زیرزمینی نیاز به تحقیقات گسترده‌تری وجود دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج کلی تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان با استفاده از گیاهان آبزی بومی منطقه، تصفیه پساب هـای صـنعتی

منابع

۱- برقعی، س م، نوربخش، س م (۱۳۸۱). تصفیه پذیری فاضلاب صنعتی پالایشگاه اصفهان به شیوه وتلند. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۱۵، ص ۲٤-۱۵.

۲- منشوری، م (۱۳۷۹). طراحی، ساخت و آزمایش یک واحد تصفیه فاضلاب نیمه صنعتی به روش wetland و مقایسه آن با برکه های تثبیت، رساله دکترای تخصصی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران،۱۹۵ص.

3-Akratos, C. S., Tsihrintzis, V. A., (2007). "Effect of temperature, HRT, vegetation and porus media on removal efficiency of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands". J. Ecological Engineering 29, pp173-191.

4-Bastviken, S.K., Eriksson, P.G., Premrov, A., Tonderski, A., (2005). "Potential denitrification in wetland sediments with different plant species detritus". J. Ecological Engineering 25, pp 183–190.

5-Bonanno, G. and Giudice, R. L. (2010). 'Heavy metal bioaccumulation by the organs of Phragmites australis (common reed) and their potential use as contamination indicators". J. Ecological Indicators, 10, pp 639–645.

6-Carbonell AA, Aarabi MA, DeLaune RD, Gambrell RP, Patrick Jr WH. (1998). "Arsenic in wetland vegetation: availability, phytotoxicity, uptake and effects on plant growth and nutrition". J. Sci Total Environ, 217, pp 189– 99.

7-Chung, A.K.C., Wu, Y., Tam, N.F.Y., Wong, N.F.Y., (2008). "Nitrogen and phosphate mass balance in a sub-surface flow constructed wetland for treating municipal wastewater". J. Ecological Engineering 32, pp 81–89.

8-Comino, E., Fiorucci, A., Menegatti, S. and Marocco, C. (2009). "Preliminary test of arsenic and mercury uptake by *Poa annua*". J. Ecological Engineering, 35, pp 343-350.

9-Dunbabin, J.S., Bowmer, K.H., (1992). "Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals". J. The Science of the Total Environment 111, pp 151–168.

10-Hozhina, E.I., Khramov, A.A., Gerasimov, P.A. and Kumarkov, A.A. (2001). 'Uptake of heavy metals, arsenic and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries". J. Geochemical Exploration, 74, pp 153-162.

11-Jing., S. H., (2002). "Microcosm wetland for wastewater treatment with different hydraulic loading rates and macrophytes". J. Environmental Quality 31, pp 690-696.

12-Kamal., M., (2004). "Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants". J. Environment International, 29, pp 1029-1039.

13-Lasat, M.M., (2002). "Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms". J. Environ. Qual. 31, pp109–120.

14-Manios, T., Stentiford, E.I., Millner, P.A., (2003). "The effect of heavy metals accumulation on the chlorophyll concentration of *Typha latifolia* plants, growing in a substrate containing sewage sludge compost and watered with metaliferus water". J. Ecological Engineering 20, pp 65–74.

15-Mayo, A. W., Mutambo, J., (2004). "Effect of HRT on nitrogen removal in a coupled HRP and unplanted subsurface flow gravel bed constructed wetland". J. Physics and Chemistry of the Earth 29, pp 1253-1259.

16-Overesch, M., Rinklebe, J., Broll, G., Neue, H.-U., (2007). "Metals and arsenic in soils and corresponding vegetation at Central Elbe river floodplains (Germany)". J. Environ. Pollut. 145, pp 800–812.

17-Quan, W.M., Han, J.D., Shen, A.L., Ping, X.Y., Qian, P.L., Li, C.J., Shi, L.Y., Chen, Y.Q., (2007). "Uptake and distribution of N, P and heavy metals in three dominant salt marsh macrophytes from Yangtze River estuary, China". J. Mar. Environ. Res. 64, pp 21–37.

18-Rogers, K.H., Breen, P.F., Chick, A.J., (1991). "Nitrogen removal in experimental wetland treatment systems: evidence for the role of the aquatic plants". Research Journal of Water Pollution Control Federation 63, pp 34–941.

19-Skinner, K., Wright, N., Porter-Goff, E., (2007). "Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants". J. Environmental Pollution 145, pp 234–237.

20-Visoottiviseth,P.,Francesconi,K., ridokchan, W.,(2002). "The potential of Thai indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic contaminated land".J.Environmental Pollution 118,pp 453– 461.

21-Vymazal, J., Kröpfelová L., 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands

with Horizontal Sub-Surface Flow. Environmental pollution, Volume 14. Springer publishing.
22-Ye, Z.H., Baker, A.J.M., Wong, M.H., Willis, A.J., (1997). "Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia"*.J. New Phytologist 136,pp 469–480.