بررسی توانایی گیاه نیلوفر آبی سفید (Nymphaea Alba) در کاهش فلزات سنگین (سرب، کادمیوم و منگنز) ازمحلول های آبی

فرامرز معطر[۱]
الهه جوادی[۲*]
عبدالرضا کرباسی[۳]
سید مسعود منوری[۴]
elahe.javadi@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۶/۱۱/۱۰ تاریخ پذیزش نهایی: ۱۳۸۷/۲/۲۰

چکیده: افزایش جمعیت، گسترش صنایع، ازدیاد مصرف آب و در نهایت آلودگی رو به رشد آب های جاری به دلیل عدم کنترل مسیر پساب خروجی از کارخانجات، مناطق شهری و کشاورزی موجب پایین آمدن کیفیت آب ها گشته است. از این میان فلزات سنگین را می توان نام برد که در جریان خودپالایی رودخانه ها کاهش نیافته بلکه در رسوبات بستر رودخانه ها و گونه های مختلف آبزیان تجمع می یابند و بالاخره بزرگ نمایی زیستی را موجب شده و در زنجیره غذایی وارد می‌گردد. در این تحقیق توانایی گیاه آبزی نیلوفر آبی سفید در جذب و تجمع ترکیبی از فلزات سنگین (جهت هرچه نزدیک تر شدن به محیط طبیعی) مانند کادمیوم، سرب و منگنز، تحت شرایط آزمایشگاهی در ۴ غلظت ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر و محیط های pH ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵ مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده از روش آماری ضریب همبستگی و آنالیز خوشه ای میزان تجمع فلز منگنز و کادمیوم در بافت گیاه با افزایش غلظت کاهش می یابد و بیش ترین تجمع منگنز در غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر و pH ۶/۵ به میزان ۳/۴۵۵ میلی گرم بر گرم بوده است و بیش ترین میزان تجمع فلز کادمیوم در بافت گیاه از کم به زیاد در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر و pH ۶/۵ به میزان ۰/۵۵ میلی گرم بر گرم بوده است. در خصوص فلز سرب نیز با افزایش غلظت میزان جذب کاهش یافته ولی در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر بالاخص در pH ۵/۵ به شدت افزایش می یابد. مطالعات حاکی از آن است که میزان هر یک از عناصر باقی مانده در محلول های آزمایشگاهی با افزایش غلظت تا بیشینه ۱۰ میلی گرم بر لیتر روند صعودی داشته و با افزایش میزان pH در هریک از غلظت ها روند نزولی داشته است. در کل بیش ترین میزان باقیمانده در محلول، مربوط به فلز کادمیوم به میزان ۳/۳۸ میلی گرم بر لیتر و کم ترین میزان، مربوط به فلز منگنز به میزان ۰/۰۰۲ میلی گرم بر لیتر بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده از نیلوفر آبی به دلیل بالا بودن میزان مقاومت نسبت به شرایط محیطی تالاب ها و دریاچه ها و رشد بالا، قابلیت کشت آسان و سازگاری خوب آن با محیط می توان به عنوان فیلتر بیولوژیکی و یک فناوری آلایش زدایی گیاهی جهت حذف فلزات سنگین در پساب صنایع به کار برد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، تجمع فلز، آلایش زدایی گیاهی، نیلوفر آبی سفید.

۱. دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات
۲. دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، کارشناسی ارشد رشته آلودگی های محیط زیست (مسئول مکاتبات)*
۳. دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
۴. دانشکده محیط زیست و انرژی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

مقدمه

بـا افزایش بیش از حد جمعیت و صنعتی شـدن جوامع خصوصاً از نیمه دوم قرن گذشته استفاده از فلزات در صنایع مختلف و مصرف سوخت های فسیلی، باعث پیدایش برخی مسـایل و مشکلات جدید آلودگی محیط زیست گردیده اسـت. این عناصر در اکوسیسـتم ها نفوذ نموده، وارد زنجیره غذایی شـده و اثرات بسـیار جـدی و خطرناک بـر روی فعالیت متابولیکـی و فیزیولوژیکی موجودات به جای می گذارد.

به طور کلی فلزات سـنگین عناصری هسـتند که به طور طبیعی و به میزان بسـیار کم در اکوسیسـتم زنده یافت می شـود. این عناصر جزء آلاینده های بسـیار پایدار می باشـند و تجزیه نمی شـوند و می توانند توسط مواد زاید و فاضلاب از طریق سواحل وارد محیط آبی شوند. [۱]

روش های متعددی برای پاک سازی مواد سمی و کاهش میزان عناصر سنگین ورودی بـه محیط در تصفیه آب ها و فاضلاب های آلوده به فلزات سـنگین از جمله ته نشـینی یا لخته سازی پس از عمل رسوب گیری و دفع لجن حاصله، تبادل یونی، اسـمز معکوس و میکروفیلتراسـیون به کار گرفته می شود. روش جدید، آلایش زدایی گیاهی است که در آن از گیاهان برای حذف و جذب فلزات سمی از محیط استفاده می شود (Schor-Fumbarov, Tomar, et al, ۲۰۰۳). آلایش زدایی گیاهی مجموعه ای از فناوری هاست که در آن از گیاهان برای کاهش، حذف، تجزیه یا ساکن ساختن سموم محیطی بالاخص نوع انسان سـاخت آن از آب و خـاک با هدف احیای زمین ها بـرای کاربری خصوصی و دولتی در مدت زمانی چند ساله استفاده می‌شود. [۱۳]

فواید استفاده از گیاهان برای تجمع فلزات سنگین شامل هزینه پایین، تولید مواد زاید گیاهی قابل بازیافت و حداقل عوارض زیست محیطی است و هدف یافتن گونه های گیاهی با سرعت بالا ترر شد و توانایی موثر در جذب فلزات سنگین است.[۲]

با علم بر اینکه برخی گیاهان به عنوان بیش تجمع گرهای فلزات هستند که از پتانسـیل آن ها برای تصفیه پساب ها و ضایعات حاوی فلزات استفاده می شود، گزارشات نشانگر اثبات قدرت ماکروفیت های آبی بلاخص گیاهان تالابی در کاهش میزان فلزات سـنگین در آب های آلوده و تصفیه پساب است. [۴]

عـلاوه بر این که از طریق رشـد و نمو گیاه، می تـوان فلزات را حذف کرد اجزای گیاهان مانند تفاله نیشـکر، پوست برنج، چوب ذرت، خزه و باقی مانده گیاهان و میوه ها نیز به عنوان جاذب های بیولوژیکی مطرح هستند. [۲]

گیاهـان غوطه ور و شـناور در آب دارای مزیتی هسـتند که از آن جمله تماس تمامی بخش های گیاه با آب اسـت. تحت شرایط طبیعی، ریزوم و ریشـه های نیلوفر آبی در رسـوبات و گل کاشته می شوند و گیاه بر روی آب شـناور می گردد. [۱۱]

این گیاه به طور گسترده در رودخانه ها و تالاب ها موجود است. علاوه بر این که این نوع گیاه آبزی نقش مهمی در رژیم غذایی انسان ها دارد و از خواص دارویی گیاه نیز سـود می جویند، بر اساس آنالیزهای انجام شده بر روی گیاه در راسـتای سنجش توانایی آن در تجمع فلزات سنگین، شاخصی برای تعیین میزان آلودگی آب نیز به شمار می رود. [۱۲]

روش بررسی

گیاه نیلوفر آبی به صورت رویشی تکثیر می یابد و قادر به زندگی برای چندین هفته با استفاده از مواد ذخیره شده در ریزوم می باشد. در این آزمایشات از گیاه نیلوفر آبی با نام گونه (Neamphaea Alba: نیلوفر آبی سـفید) به دلیل پراکنش بیش تر در ایران استفاده شده است. نمونه های تکثیر یافته از ریزوم نیلوفر آبی که دارای جوانه های تازه بودند در گلدان های پلاسـتیکی سـیاه رنگ در اندازه کوچک در خاک نرم مخلوط با ماسـه قرار داده شـدند و روی خاک گلدان با سـنگریزه های کوچک برای جلوگیری از فرار خاک به هنگام قرار گرفتن در آب پوشیده شد.

از آن جـا کـه این امور در اواخر فصل پاییز انجام پذیرفت و هوا برای رشـد گیاهان جدید تکثیر یافته در محیط برکه و در فضای آزاد به دلیل سرمای هوا مقدور نبود، لذا این گیاهان در محیط گلخانه در وان آب نگهداری شـدند که برای تامین دمای مورد نیاز آن ها که باید بین ۲۵ الی ۳۰ درجه سـانتی گراد باشـد از بخاری آبی مخصوص آکواریوم اسـتفاده گردید (T.P. Choo et al. ۲۰۰۶). در این راسـتا از گیاه نیلوفر آبی بالغ ۹هفته ای برای تعیین میزان جذب فلزات سنگین استفاده شد. [۴]

• نحوه آماده سازی محیط برای نگهداری نمونه های گیاهی

۱۳ نمونه گیاه نیلوفر آبی پس از گذشـت ۹ هفته و شستشوی کامل به طور جداگانه به ۱۳ گلدان سـفید پلاسـتیکی به قطر ۲۴ سـانتی متر و ارتفاع ۳۰ سانتی متر انتقال داده شدند. هر یک از گلدان ها با ۴ لیتر محلول استاندارد از قبل آماده شده، پر شده بودند.

محلـول هـای موجود در گلدان ها با غلظت های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر (ppm) با نسبت های مساوی از فلزات کادمیوم (Cd)، سرب (Pb) و منگنز(Mn) تهیه شـده بودند و برای بررسـی تاثیر اسیدیته (pH) ۳ نوع اسیدیته مختلف به میزان ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵ که بر اساس تحقیقات به عمل آمده برای گیاه مناسـب می باشد با اضافه نمودن هیدروکسید سدیم (NaOH) و اسید سولفوریک (H_2SO_4) در نظر گرفته شد. [۴]

نمونه های گیاهی به مدت یک هفته در محیط های آماده شـده و در شرایط طبیعی از نظر نور (۱۳ ساعت روشنایی روز) قرار گرفتند. [۱۰]

• نحوه آماده سـازی نمونه های گیاهی برای تزریق به دسـتگاه جذب اتمی

پس از گذشت یک هفته از قرارگیری گیاهان در محلول های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر از فلزات کادمیوم، سـرب و منگنز با اسیدیته ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵

گیاهان از گلدان های سفید خارج شدند و گیاه با خاک از گلدان پلاستیکی سیاه درآورده، شسته و داخل کیسه های پلاستیکی به آزمایشگاه انتقال داده شدند.

هر یک از گیاهان پس از شستشوی مجدد با آب مقطر به قطعات کوچک تر تبدیل و در داخل ظروف پتری قرار گرفتند. [۴]

ظروف پتری مورد نظر به مدت ۴۸ ساعت در داخل اتوکلاو در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد قرار گرفته تا پس از خشک شدن نمونه ها با هاون چینی یا عقیقی پودر شوند به طوری که قادر به گذشتن از الک شماره ۲۳۰ باشند.

حداقل ۰/۵ گرم از هر نمونه را با ترازوی دیجیتالی وزن کرده و به آن ۶ سی سی اسید نیتریک به همراه ۲ سی سی اسید کلریدریک غلیظ ۳۷ درصد اضافه شد و روی حمام شن در دمای ۱۲۵ درجه سانتی گراد قرار داده تا در حدود ۷/۵ سی سی از ان تبخیر شود تا به این وسیله نیترات ها و کربنات ها تجزیه شوند. سپس ۳ سی سی اسید پرکلریک به آن اضافه کرده و حرارت دادن تا رسیدن محلول به میزان ۰/۵ سی سی ادامه می یابد تا مواد آلی موجود در نمونه تجزیه گردند. در این حالت محلول شفافی حاصل می گردد. در صورتی که محلول کمی غیر شفاف باشد از صافی واتمن ۴۵ باید گذرانده و سپس با اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به حجم ۲۵ سی سی می رسانیم. (Lance, G.N. & Williams, W.T ;۱۹۶۶ ,Karbassi, A.R ,۱۹۸۹)

بدین ترتیب نمونه های هضم شده برای تزریق به دستگاه جذب اتمی شعله (با دستگاه Termoelemental مدل M۵ با استفاده از لامپ دوتریوم و شعله هوا/استیلن) درون ظرف های پلی اتیلنی در بسته ریخته و برای آنالیز آماده شدند. [۸]

لازم به ذکر است که طول موج مورد استفاده برای اندازه گیری فلز سرب ۲۱۷ نانومتر، فلز کادمیوم ۲۲۸/۸ نانومتر و فلز منگنز ۲۷۹/۵ نانومتر بوده است.

• نحوه آماده سازی محلول محیط نگهداری گیاه نیلوفر آبی در یک هفته آزمایش

جهت تعیین میزان کاهش عناصر سنگین موجود در محلول محیط های نگهداری که از ابتدا غلظت آن ها مشخص شده بود (محلول های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر از فلزات کادمیوم، سرب و منگنز با اسیدیته ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵) پس از گذشت ۷ روز از محلول موجود در هر یک از ۱۳ محیط نمونه برداری شد و درون ظرف های پلی اتیلنی استریل و اسیدشویی شده به آزمایشگاه برده شد.

پس از گذراندن محلول هر محیط از صافی واتمن ۴۵ که از قبل با اسید کلریدریک ضعیف شستشو داده شده بودند به آنها ۰/۵ سی سی اسید کلریدریک غلیظ اضافه کرده تا به هنگام جذب اتمی رقم دقیق تری حاصل گردد. در این میان نمونه شاهد حتماً حضور دارد.

بدین ترتیب نمونه محلول های آماده شده برای تزریق به دستگاه جذب اتمی شعله با مشخصات فوق الذکر درون ظرف های پلی اتیلنی در بسته، ریخته و برای آنالیز آماده می گردند. [۸]

روش های آماری

جهت تفسیر آماری رابطه بین عناصر سنگین اندازه گیری شده در کل بافت گیاه، اجزای مختلف گیاه نیلوفر آبی و عناصر سنگین باقی مانده در محیط نگهداری گیاهان پس از یک هفته، ابتدا با استفاده از نرم افزار Explore، ضرایب همبستگی محاسبه شدند. سپس برای درک روابط بین عناصر، غلظت و pH محیط از نرم افزار Cluster برای تبدیل آمار موجود در جدول ضرایب همبستگی به دندوگرام یا آنالیز خوشه ای استفاده گردید. (Davis, J.C, ۱۹۷۳)

نتایج

نتایج به دست آمده از میزان جذب فلزات سنگین مورد آزمایش در کل بافت گیاه نیلوفر آبی

در یک بررسی کلی به این نتیجه می رسیم که فلز منگنز در pH ۶/۵ بیش ترین میزان جذب به میزان ۳/۴۵۵ میلی گرم بر گرم را به خود اختصاص داده است که این میزان از غلظت ۱ تا ۵ میلی گرم بر لیتر به تدریج کاهش یافته است. میزان جذب فلز منگنز پس از pH ۶/۵ به تدریج از pH ۵/۵ تا ۷/۵ روند نزولی را می پیماید. یعنی میزان فلز منگنز در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر در pH ۷/۵ بیش ترین و در pH ۶/۵ کم ترین است. (جدول ۱ و نمودار ۱)

میزان جذب فلز کادمیوم در غلظت های پایین (۱ و ۲/۵ میلی گرم بر لیتر) با افزایش pH کاهش می یابد و در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر در pH ۶/۵ بیش ترین جذب و در pH ۷/۵ کم ترین جذب را دارا می باشد. این فلز در بالاترین غلظت بیش ترین جذب را در بالاترین pH دارد و در pH ۶/۵ کم ترین جذب را دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

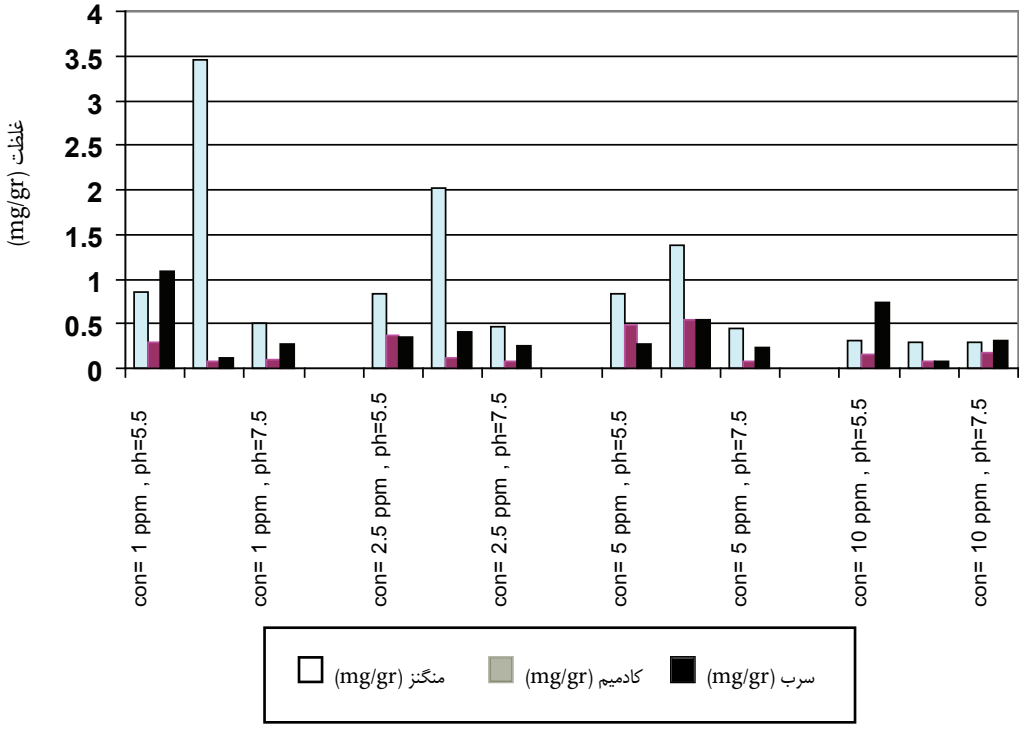
میزان جذب سرب در گیاه در pH ۵/۵ و ۷/۵ با افزایش غلظت تا ۵ میلی گرم بر لیتر کاهش می یابد و در ۱۰ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد. ولی در pH ۶/۵ وضعیت کاملاً برعکس است به طوری که تا غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر میزان جذب افزایش یافته و از آن پس به کم ترین میزان خود می رسد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

• اثر غلظت بر تجمع فلزات سنگین در گیاه

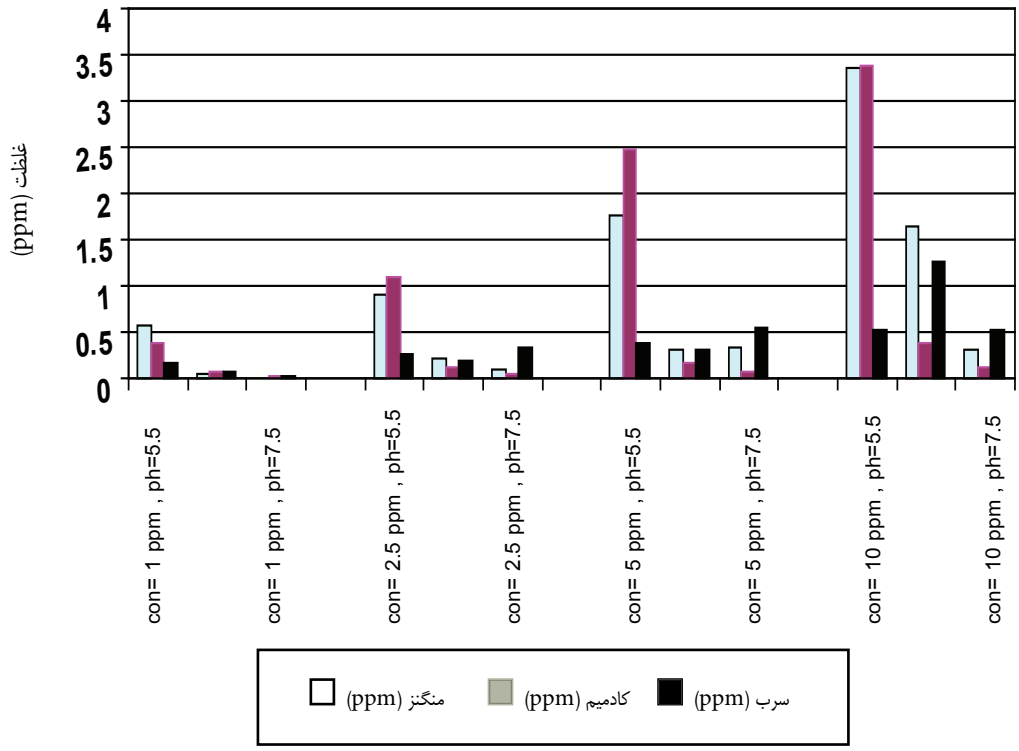
– در شرایط با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر بیش ترین میزان جذب برای عنصر منگنز به میزان ۳/۴۵ میلی گرم بر گرم در محیط با pH=۶/۵ است و کم ترین میزان جذب به فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۷۹ میلی گرم بر گرم در محیط با pH = ۶/۵ اختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

جدول ۱. میزان فلزات موجود در گیاه نیلوفر آبی و محلول نمونه در روز هفتم در شرایط مختلف مورد آزمایش

محیط نمونه / فلز سنگین			گیاه (mg/g) میزان عناصر سنگین موجود در بافت			(ppm) میزان عناصر سنگین باقیمانده در محلول نمونه		
			کادمیوم (Cd)	سرب (Pb)	منگنز (Mn)	کادمیوم (Cd)	سرب (Pb)	منگنز (Mn)
شاهد		آب شهر	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۷	۰/۲۸	۰	۰/۱۴	۰/۰۳
محیط شماره ۱	غلظت ۱ میلی گرم در لیتر	pH=۵/۵	۰/۲۸۷	۱/۰۸	۰/۸۵	۰/۳۸	۰/۱۷	۰/۵۷
		pH=۶/۵	۰/۰۷۹	۰/۱۱۲	۳/۴۵۵	۰/۰۸	۰/۰۶۲	۰/۰۵
		pH=۷/۵	۰/۰۹۳	۰/۲۶۸	۰/۵۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱۴	۰/۰۰۲
میانگین		۶/۵	۰/۱۵۳	۰/۴۸۶	۱/۶۰۳	۰/۱۶	۰/۰۸۲	۰/۲۰۷
انحراف معیار	۱/۰۳۳ ±۵/۷۷۳	±۱	±۰/۱۱۶	±۰/۵۱۹	±۱/۶۱۳	±۰/۱۹۲	±۷/۹۸	±۰/۳۱۴
محیط شماره ۲	غلظت ۲/۵ میلی گرم در لیتر	pH=۵/۵	۰/۳۷۲	۰/۳۵۱	۰/۸۴۲	۱/۱	۰/۲۶	۰/۹۱
		pH=۶/۵	۰/۱۱	۰/۴۰۸	۲/۰۲۷	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۲۱
		pH=۷/۵	۰/۰۷۹	۰/۲۵۱	۰/۴۷۲	۰/۰۴	۰/۳۴	۰/۱
میانگین		۶/۵	۰/۱۸۷	۰/۳۳۶	۱/۱۱	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۴۰۶
انحراف معیار	۲/۵۳ ±۵/۷۷	±۱	±۰/۱۶۰	±۷/۹۴	±۰/۸۱۲	±۰/۵۹	±۷/۵	±۰/۴۳۹
محیط شماره ۳	غلظت ۵ میلی گرم در لیتر	pH=۵/۵	۰/۴۷۸	۰/۲۸۱	۰/۸۲۷	۲/۴۸	۰/۳۷	۱/۷۷
		pH=۶/۵	۰/۵۵۲	۰/۵۳۸	۱/۳۷۳	۰/۱۶	۰/۳۱	۰/۳۲
		pH=۷/۵	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۴۳۷	۰/۰۶	۰/۵۴	۰/۳۳
میانگین		۶/۵	۰/۳۶۶	۰/۳۵۳	۰/۸۷۹	۰/۹	۰/۴۰۶	۰/۸۰۶
انحراف معیار	۵/۰۳ ±۵/۷۷	±۱	±۰/۲۵۹	±۰/۱۶۱	±۰/۴۷	±۱/۳۶	±۰/۱۱۹	±۰/۸۳۴
محیط شماره ۴	غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر	pH=۵/۵	۰/۱۶۱	۰/۷۳۳	۰/۳۱۲	۳/۳۸	۰/۵۲	۳/۳۵
		pH=۶/۵	۰/۰۷۷	۰/۰۷۲	۰/۲۹۲	۰/۳۹	۱/۲۶	۱/۶۵
		pH=۷/۵	۰/۱۷۴	۰/۳۱۶	۰/۴۲	۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۳
میانگین		۶/۵	۰/۱۳۷	۰/۳۷۳	۰/۳۴۱	۱/۲۶	۰/۷۷	۱/۷۶
انحراف معیار	۱۰/۰۳ ±۵/۷۷	±۱	±۵/۲۶۵	±۰/۳۳۴	±۶/۸۸	±۱/۸	±۰/۴۲	±۱/۵۲



نمودار ۱. میزان فلزات منگنز (Mn)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) در بافت گیاه بر حسب میلی گرم بر گرم در محیط های نمونه با غلظت های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر و ۵/۵ =pH ، ۶/۵ = pH و ۷/۵= pH



نمودار ۲. میزان فلزات منگنز (Mn)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) باقیمانده در محیط نمونه بر حسب میلی گرم بر لیتر در محیط های نمونه با غلظت های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر و ۵/۵ = pH ، ۶/۵ = pH و ۷/۵ = pH

– در شـرایط با غلظت ۲/۵ میلی گرم بـر لیتر بیش ترین میزان جذب برای عنصر منگنز به میزان ۲/۰۲۷ میلی گرم بر گرم در محیط با pH= ۶/۵ است و کم ترین میزان جذب به فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۷۹ میلی گرم بر گرم در محیط با pH = ۷/۵ اختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

– در شرایط با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر بیش ترین میزان جذب برای عنصر منگنز به میزان ۱/۳۷ میلی گرم بر گرم در محیط با pH= ۶/۵ است و کم ترین میزان جـذب به فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۷ میلی گرم بر گرم در محیط با pH = ۷/۵ اختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

– در شـرایط با غلظـت ۱۰ میلی گرم بر لیتر بیش تریـن میزان جذب برای عنصر سرب به میزان ۰/۷۳۳ میلی گرم بر گرم در محیط با pH= ۵/۵ است و کم ترین میزان جذب به فلز سـرب بـه میزان ۰/۰۷۲ میلی گرم بر گرم در محیط با pH = ۶/۵ اختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

• اثر PH بر تجمع فلزات سنگین در گیاه

– در شـرایط بـا pH= ۵/۵ بیش ترین میزان جذب برای عنصر سـرب به میزان ۱/۰۸ میلی گرم بر گرم در محیط با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر است و کـم ترین میزان جذب بـه فلز کادمیوم به میزان ۰/۱۶۱ میلی گرم بر گرم در محیط با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتراختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

– در شـرایط بـا pH= ۶/۵ بیش ترین میزان جذب بـرای عنصر منگنز به میزان ۳/۴۵۵ میلی گرم بر گرم در محیط با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر است و کم ترین میزان جذب به فلز سـرب بـه میزان ۰/۰۷۲ میلی گرم بر گرم در محیط با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتراختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

– در شـرایط بـا pH= ۷/۵ بیش ترین میزان جذب بـرای عنصر منگنز به میزان ۰/۵۰۴ میلی گرم بر گرم در محیط با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر است و کم ترین میزان جذب به فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۷ میلی گرم بر گرم در محیط با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتراختصاص دارد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

– در کل بیـش تریـن میزان جذب مربوط به فلز منگنز در شـرایط محیطی با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر و pH= ۶/۵ و کم ترین میزان جذب مربوط به فلز کادمیوم در شرایط محیطی با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر و pH= ۷/۵ می باشد. (جدول ۱ و نمودار ۱)

نتایـج به دسـت آمده از میزان فلزات سـنگین باقیمانده در محیط های مختلف مورد آزمایش پس از ۷ روز

• اثر غلظت بر باقیمانده فلزات سنگین در محلول

– در محیط با غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر بیش ترین میزان از فلز باقیمانده در محلول مربوط به فلز منگنز در pH= ۵/۵ است و کادمیوم و سرب به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند و کم ترین میزان فلز باقیمانده مربوط به عنصر منگنز در pH= ۷/۵ است. (جدول ۱ و نمودار ۲)

– در محیـط بـا غلظـت ۲/۵ و ۵ میلی گرم بر لیتر بیش تریـن میزان از فلز باقیمانـده در محلول مربوط به فلز کادمیوم در pH= ۵/۵ اسـت و منگنز در pH= ۵/۵ و سـرب در pH= ۷/۵ به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند و کم ترین میزان فلز باقی مانده مربوط به عنصر کادمیوم در pH= ۷/۵ است. (جدول ۱ و نمودار ۲)

– در محیط با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر بیش ترین میزان از فلز باقی مانده در محلول مربوط به فلز کادمیوم در pH= ۵/۵ است و منگنز در pH= ۵/۵ و سـرب در pH= ۶/۵ به ترتیب در رتبه دوم و سـوم قرار دارند و کم ترین میزان فلز باقی مانده مربوط به عنصر کادمیوم در pH= ۷/۵ اسـت. (جدول ۱ و نمودار ۲)

– بیش ترین میزان باقیمانده عناصر در محلول پس از گذشـت ۷ روز مربوط بـه غلظت محیطی ۱۰ میلی گرم بر لیتر بالاخص فلز کادمیوم در pH= ۵/۵ اسـت. یعنی با افزایش غلظت عناصر در محیط عنصر باقی مانده نیز افزایش می یابد. (جدول ۱ و نمودار ۲)

• اثر pH بر باقی مانده فلزات سنگین در محلول

– در محیـط با pH= ۵/۵ میزان عناصر سـنگین باقـی مانده در محلول به ترتیب از غلظت ۱ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد که این افزایش سیر یکنواخت و صعودی خود را طی می کند. در این بخش بیش ترین فلز باقیمانده کادمیوم است و منگنز و سرب به ترتیب در رتبه های دوم و سوم قرار می گیرند. (جدول ۱ و نمودار ۲)

– در محیـط بـا pH= ۶/۵ میزان عناصر سـنگین باقیمانـده در محلول به ترتیب از غلظت ۱ تا ۵ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد که این افزایش سـیر یکنواخـت و صعودی خود را طی می کنـد ولی تا غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر به یکباره افزایش شـدید پیدا می کند. در این بخش بیش ترین فلز باقی مانده منگنز است و سرب و کادمیوم به ترتیب در رتبه های دوم و سوم قرار می گیرند. (جدول ۱ و نمودار ۲)

– در محیط با pH= ۷/۵ میزان عناصر سنگین باقی مانده در محلول به ترتیب از غلظت ۱ تا ۵ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد که این افزایش سیر یکنواخت و صعودی خود را طی می کند ولی میزان عناصر سـرب و منگنز در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر کمی کاسـته می شـود اما میزان کادمیوم به سیر صعودی و یکنواخـت خـود ادامه می دهد. در این بخش بیش ترین فلز باقیمانده سـرب اسـت و منگنز و کادمیـوم به ترتیب در رتبه های دوم و سـوم قرار می گیرند. (جدول ۱ و نمودار ۲)

تفسیر نتایج

با توجه به تحقیق انجام گرفته بر روی گونه نیلوفر آبی سفید در زمینه بررسی توانایی این گیاه در ایران بر جذب فلزات سنگینی چون کادمیوم، سرب و منگنز در غلظت های ۱، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر و محیط هایی با pH ۵/۵، ۶/۵ و ۷/۵، اقدام به اندازه گیری میزان فلزات سنگین مذکور جذب شده در بافت کلی گیاه و میزان عناصر باقیمانده در محلول مورد آزمایش پس از ۷ روز در محیط طبیعی با ۱۳ ساعت روشنایی روز شد. لذا تجزیه و تحلیلی بر روی اثرات غلظت وpH بر میزان جذب فلزات سنگین مورد آزمایش و همچنین رابطه خود فلزات با یکدیگر در محیط های آزمایش به شرح ذیل ارایه می گردد:

• جذب فلزات سنگین مورد آزمایش در بافت کلی گیاه نیلوفر آبی

با توجه به نتایج به دست آمده از تفسیر آنالیزهای خوشه ای رابطه بین میزان جذب عناصر در گیاه به شرح ذیل برقرار می باشد:

در غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر با افزایش pH میزان جذب منگنز کاهش می یابد.

در غلظت ۲/۵ میلی گرم بر لیتر با افزایش pH میزان جذب هر سه فلز کاهش می یابد.

در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر میزان جذب منگنز و سرب و کادمیوم با ضریب تشابه بالایی به یکدیگر متصل اند یعنی رابطه مستقیمی در جذب سرب و منگنز با فلز کادمیوم وجود دارد و با افزایش pH میزان جذب هر سه فلز کاهش می یابد.

در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر میان میزان منگنز و pH ضریب تشابه بسیار بالا وجود دارد که در این شرایط میزان منگنز با افزایش pH روند صعودی می یابد، در حالی که میزان جذب سرب و کادمیوم با افزایش pH روند نزولی را طی می کند.

در غلظت ۱ و ۱۰ میلی گرم بر لیتر میزان جذب کادمیوم و سرب با ضریب تشابه بالایی به یکدیگر متصل اند یعنی رابطه مستقیمی در جذب این دو فلز وجود دارد و افزایش و کاهش جذب در هر یک موجب افزایش و کاهش میزان جذب دیگری می گردد.

در غلظت ۲/۵ و ۵ میلی گرم بر لیتر میزان جذب منگنز و سرب با ضریب تشابه بالایی به یکدیگر متصل اند یعنی رابطه مستقیمی در جذب این دو فلز وجود دارد.

در کل در غلظت کم تا متوسط ارتباط تجمع عناصر با میزان غلظت و pH به این صورت است که به ویژه در غلظت های متوسط با افزایش pH از میزان تجمع عناصر کاسته می شود و با افزایش غلظت میزان جذب کاهش می یابد. در مطالعه ای در خصوص رفتارشناسی جذب فلز کادمیوم توسط گیاه نیلوفر آبی به وسیله اسکورفوم بارو و همکارانش در سال ۲۰۰۳ انجام شد، میزان کادمیوم جذب شده زیاد بوده و میزان pH محلول، غلظت فلز را تحت تاثیر قرار می دهد. در این تحقیق میزان جذب کادمیوم در گیاه نیلوفر آبی در pH= ۵/۵ حداکثر (۱۴۰ میلی گرم در هر گرم وزن خشک گیاه) بوده است که تاییدی بر تجمع بیش تر عناصر در گیاه تحت تاثیر pH پایین تر است. (Schor-Fumbarov, Tomar, et al., ۲۰۰۳)

از آن جا که در این آزمایش از ترکیبی از عناصر سنگین استفاده شده است و بر طبق تحقیق به عمل آمده توسط چو و همکارانش در مالزی در سال ۲۰۰۵در خصوص تجمع کروم (VI) از محلول های آبی با استفاده از گیاه نیلوفر آبی با نام علمی Nymphaea Spontanea قابلیت جذب کروم به تنهایی بیش از ترکیب آن با فلز مس بوده لذا در صورت کاربرد فلزات به تنهایی توانایی این گیاه در جذب بسیار بالاتر می باشد. (T.P. Choo et al., ۲۰۰۶)

در کل بیش ترین میزان فلز جذب شده در گیاه در غلظت های مختلف مربوط به فلز منگنز و کم ترین میزان جذب مربوط به فلز کادمیوم است. همان گونه که سالت و همکارانش در سال ۱۹۹۵ توضیح داده اند که کاهش منگنز به عنوان نتیجه جذب کادمیوم در گیاه خردل هندی صورت گرفته است. رسوب عناصر با یکدیگر برخی اوقات موجب کاهش در دیگر عناصر می گردند که در خصوص فلزات آهن، سرب و جیوه تجمع یافته در بخش های سبز گیاه دیده شده است. (Lavid, Noa, et al., ۲۰۰۱)

شایان ذکر است، در مطالعه ای که در خصوص تجمع برخی از فلزات سنگین در نیلوفر آبی از جریان های آلوده دریاچه بوچی توسط شعیب عثمان و کنت یونقابی در سال ۲۰۰۵ انجام شده است نشان دهنده آن است که از آنالیز نمونه ها در ۱۰ ایستگاه مختلف از این منطقه نتایجی برای فلزات روی (۱۳۰-۷۹ میلی گرم در هر ۱۰۰ گرم)، سرب (۶۹-۵۰ میلی گرم در هر ۱۰۰ گرم)، آهن (۵۸-۵۳ میلی گرم در هر ۱۰۰ گرم)، کادمیوم (۸-۷ میلی گرم در هر ۱۰۰ گرم) به همراه داشته است که در مقایسه با نتایج به دست آمده از میزان جذب سرب و کادمیوم در نیلوفر آبی سفید ایران حتی در کم ترین غلظت (۱ میلی گرم بر لیتر) پایین تر بوده است. (Usman, Shuaibu.O.A & Yongabi, Kenneth.A, ۲۰۰۲)

• فلزات سنگین باقی مانده در محیط آزمایش پس از گذشت ۷ روز

بر اساس نتایج به دست آمده از تفسیر آنالیزهای خوشه ای رابطه بین میزان عناصر سنگین باقی مانده در محیط به شرح ذیل ارایه می گردد:

در غلظت ۱ میلی گرم بر لیتر میزان باقی مانده فلزات منگنز و کادمیوم با ضرایب تشابه بسیار و معنی دار به هم پیوسته اند که کاهش و افزایش هر یک در دیگری اثر مستقیمی دارد و با میزان باقی مانده سرب نیز رابطه مستقیمی دارند ولی رابطه کاهش بسیار زیاد میزان تمامی فلزات باقی مانده در نتیجه

افزایش pH برقرار است.

در غلظت ۲/۵ و ۵ میلی گرم بر لیتر میزان باقی مانده فلزات منگنز و کادمیوم با ضرایب تشابه بسیار بالا و معنی دار به هم پیوسته اند که نمایان گر رابطه مستقیم باقی مانده این دو فلز است.

در حالیکه آنالیز خوشه ای نشان دهنده رابطه معکوس میزان کادمیوم و منگنز باقی مانده در محلول نسبت به میزان سرب باقی مانده و pH می باشد.

در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر منگنز و کادمیوم با ضرایب تشابه بالا و معنی دار به هم پیوسته اند که می توان نتیجه گرفت میزان باقی مانده منگنز و کادمیوم تا حد زیادی با یکدیگر وابسته اند کاهش و افزایش نسبتاً یکسانی در آنها دیده می شود. در حالی که میزان کادمیوم و منگنز باقی مانده در محلول با افزایش میزان سرب و pH کاهش می یابد.

به طور کل بیش ترین میزان باقی مانده عناصر در تمامی محیط ها مربوط به pH ۵/۵ (کمترین pH) بوده است و کم ترین آن در pH ۷/۵ (بیشترین pH) رخ داده است. حلالیت بسیاری از فلزات با کاهش pH افزایش می یابد. در pH کمتر از ۶/۵ حلالیت فلز در خاک افزایش می یابد. در pH =۵/۵ میزان جذب فلز بیش از pH ۶/۷ و ۴ بوده است. زیرا تمرکز پروتون در pH= ۵/۵ بیست برابر بیش تر از pH= ۶/۷ است و در pH= ۵/۵ رسوبات کربنات کادمیوم حل می شود و فلز به سرعت جذب می گردد. (Schor-Fumbarov, Tomar, et al., ۲۰۰۳)

از طرفی با افزایش میزان غلظت محلول ها بر میزان فلزات باقی مانده نیز افزوده شده است.که این به دلیل توانایی بالای گیاهان در جذب عناصر در غلظت های پایین تر و یا نشان دهنده حالت اشباع و تاثیر بر فعالیت های متابولیکی گیاه در غلظت های بیش تر می باشد.

با توجه به اینکه نیلوفر آبی پتانسیل بالایی در حذف فلزات سنگین از محیط را دارد، در محیط های طبیعی نیز می توان بیش ترین حذف فلزات را از این گیاه به دست آورد. اگر عناصر به صورت جداگانه در محیط و نه به صورت ترکیبی حضور یابند راندمان جذب گیاه در این فلزات بیشتر خواهد بود. (T.P. Choo et al., ۲۰۰۶) بنابراین از آن جا که در ایران بر طبق بررسی های انجام شده تاکنون درخصوص توانایی گیاه آبزی نیلوفر آبی سفید با نام علمی Nymphaea alba در جذب فلزات سنگین مطالعه ای صورت نپذیرفته است لذا این گیاه به عنوان جاذب بیولوژیکی می تواند نقش به سزایی را در حذف فلزاتی مانند سرب، کادمیوم و منگنز از آب های آلوده و پساب ناشی از کارخانجات ایفا نماید. البته استفاده از این گیاه یا گیاهان آبزی نظیر آن در سیستم های فاضلاب در مقیاس عملی به تحقیقات بیش تری در زمینه ایجاد شرایط مناسب رشد گیاه، نوع فاضلاب و زمان به کارگیری آن ها نیاز است و از این گیاه می توان در تصفیه فاضلاب های شهری و کشاورزی که علاوه بر دارا بودن مواد مغذی دارای مقادیر نسبتاً کمی از فلزات هستند بهره جست.

از آن جایی که سیستم های تصفیه طبیعی نیاز به انرژی و هزینه کم تری دارند، تحقیقات بسیاری در دنیا در راستای توسعه این سیستم ها در حال انجام است. با توجه به روند رو به کاهش منابع، استفاده طبیعی و منطقی و به کارگیری سیستم های طبیعی در جهت مبارزه با مشکلات آلودگی حایز اهمیت بیش تری می گردد. مهم تر اینکه قابلیت بازیافت و کاربری بسیاری از منابع در سیستم های تصفیه طبیعی هم چون تولید مواد غذایی غنی در جهت استفاده دام و طیور (در صورت جزیی بودن میزان فلزات سنگین) و به کارگیری آن ها به عنوان کود و بازیافت بسیاری از فلزات باارزش هم چون طلا و نقره امکان پذیر خواهد بود. در به کارگیری از سیستم های تصفیه طبیعی باید از عوامل زنده واجد شرایط ذیل استفاده نمود:

- ظرفیت بالا در جذب مواد معدنی
- دارای ذی توده بالا، قابلیت رشد سریع با دوره زمانی حرس مکرر
- دارای آفت های طبیعی کم
- قابلیت حرس سهل
- دارای ترکیبات آبی کم
- دارای ترکیبات بالای پروتیین برای تغذیه حیوانات
- ترکیبات پایین فیبر و لیگنین

از آن جا که گیاه نیلوفر آبی اکثر مشخصات فوق را دارا می باشد، لذا بکارگیری این نوع تصفیه طبیعی همراه با دیگر سیستم های تصفیه به عنوان یکی از مناسب ترین شیوه های کاهش آلودگی آب محسوب می شود. همچنین به کارگیری این روش به علت مواد مغذی موجود، دما و نور مناسب محیط که از عوامل اصلی رشد و تولید نیلوفر آبی هستند توصیه می گردد. (www.des.ucadvis.edu)

این روش پایدار و ارزان به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش های متداول اصلاح، در کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال ایجاد است. تهیه کود آلی و فشرده نمودن گیاهان آلوده به عنوان مدل های پیش تصفیه برای کاهش حجم، قادر به انجام است. اما مراقبت باید کرد تا شیرابه ناشی از فشرده سازی جمع آوری شود. بین دو روش کاهش دهنده ذی توده گیاه آلوده، سوزانیدن در کوره با اتلاف وقت کم تر، زیست محیطی تر از روش سوزانیدن مستقیم یا خاکستر کردن به نظر می رسد (Ghosh, M. & Singh , S.P., ۲۰۰۵). از طرفی این روش به دلیل هزینه کم مراقبت و نگهداری گیاه و ایجاد محیط مناسبی برای زیستگاه حیات وحش بسیار حائز اهمیت است. (www.des.ucadvis.edu)

پیشنهادات

نیلوفر آبی از طرفی به دلیل دارا بودن ارزش غذایی دانه ها که غنی از نشاسته، روغن و پروتئین هستند و خاصیت دارویی گیاه مورد توجه جوامع بشری است (Conard, Henry, ۲۰۰۷) و از طرفی دیگر ریشه، برگ و

دانه گیاه مورد استفاده حیوانات قرار می گیرد و گیاه زیستگاه مناسبی را برای حیـات وحش فراهـم می نماید [۵]. علاوه بر موارد مذکـور این گیاه از نظر زینتی بسـیار مورد توجه اسـت و محیط مفرح و زیبایی را به وجود می آورد. شـایان ذکر اسـت که این گیاه به علت داشـتن غدد روپوسـتی بسـیار بالاخـص در نواحی برگ و سـاقه و دیگر مواد مانند تانن، فنل، پراکسـید و اسـیدگالیک می تواند به عنوان فیلتری برای پاک سازی محیط آب های آلوده کاربری داشته باشد. چرا که در مقایسه با روش های دیگر بیولوژیکی روشـی مقرون به صرفه بوده و سـلامت و بهداشت محیط را حفظ خواهد کـرد. (Lavid, Noa, et al., ۲۰۰۱)

این گیاه با اسـتفاده از نور خورشـید و انجام عمل فتوسـنتز، اکسـیژن در محیـط ایجـاد کرده و به عنـوان منبع تولید انرژی و غـذا نیازهای باکتری های فعال در فرایند تجزیه را مرتفع می سـازد. با رشـد و نمو گیاه و انجام اعمال متابولیکی قادر به جذب مقادیر بالایی از فلزات سـنگین هسـتند که لجن حاصله از آن ها پس از طی دوره جذب دارای درصد بالایی از عناصر می باشند. (Alaska Natural Heritage Program, ۲۰۰۶) در مقایسه با سایر روش هـا عـلاوه بر مقرون به صرفه بودن فاقد هـر گونه بوی و اثرات دیگر است و احتیاج به کنترل و مراقبت زیاد و به کارگیری متخصصین مجرب ندارد و از لحاظ مصرف انرژی مناسـب بوده و به نظر می رسد که اجرای این طرح در مناطقی با مراکز صنعتی که میزان تولید زایدات فلزات سنگین در آنها زیاد و تجهیزات تصفیه فلزات سـنگین بسـیار گران قیمت است، به عنوان روش مکمل و اطمینان بخش از نظر سـلامتی کامل پساب های خروجی متصل به آب های سطحی می تواند نتایج مثمر ثمری را درپی داشته باشد.

فهرست منابع

۱. امینی رنجبر، غ، کنشـلو، ط، ۱۳۷۷، ارزیابی کمی آلاینده معدنی در چهار گونه از گیاهان آبزی در تالاب انزلی، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۳۸.

۲. قانعیان، محمد تقی، ۱۳۸۳، استفاده از گیاهان در حذف فلزات سنگین آب و فاضلاب، مجله آب و محیط زیست، شماره ۵۹.

3. Alaska Natural Heritage Program, 2006, White water lily- Nymphaea odorata ssp. Odorata Ait., Environment and Natural Resources Institute, University of Alaska Anchorage.

4. Choo, T.P, et al, 2006, Accumulation of chromium (VI) from aqueous solutions using water lilies (Nymphaea spontanea), Elsevier, Chemosphere.

5. Conard, Henry, 2007, the water lilies- Culture and uses. Available at: WWW.AUSTRALIANWATERGARDENER.com, 2007.

6. Davis, J.C, 1973, "Statistics and Data Analysis in Geology", Wiley International, New York.

7. Ghosh, M. & Singh, S.P., 2005, A review on Phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts, Biomass and waste management laboratory, School of energy and environmental studies, India.

8. Greenberg, A.E., Lenore S. Clescerl, A.D. Eaten, 1992; Standard Methods for Examination of Water and Waste Water, American Public Health Association.

9. Lavid, Noa, et al., 2001, Accumulation of heavy metals in epidermal glands of the waterlily (Nymphaeaceae), journal of Planta, Springer-verlag.

10. Lavid, Noa, et al., 2001, the involvement of polyphenols and peroxidase activities in heavy-metal accumulation by epidermal glands of waterlily (Nymphaeaceae), journal of Planta, Springer-verlag.

11. Schor-Fumbarov, Tomar, et al., 2003, Characterization of cadmium uptake by the waterlily Nymphaea aurora, International journal of Phytoremediation, Vol. 5, No. 2.

12. Usman, Shuaibu.O.A & Yongabi, Kenneth.A., 2005, Phytoaccumulation of selected heavy metals in Nymphaea Lotus (waterlily) from polluted stream in Bauchi and a proposed integrated system use, Nigeria.

13. Wendy, Ann Peer, et al., 2006, Phytoremediation and hyperaccumulator plants, Phytoremediation Center, Purdue University, U.S.A.

14. Wetlands and Wastewater treatment, Handout No.2004 ,14. Available at: WWW.des.ucadvis.edu