

## توانایی سرخس آزولا در حذف فلزات سنگین ( $\text{Cr}^{+3}$ - $\text{Ni}^{+2}$ - $\text{Cu}^{+2}$ )

ندا رضایی<sup>۱</sup>

بنفشه برخوردار<sup>۲\*</sup>

[dr.barkhordar@yahoo.com](mailto:dr.barkhordar@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۸۹/۹/۲۹

### چکیده

فلزات سنگین از سمی ترین آلایندها در محیط زیست می باشند که به دلیل عدم تجزیه پذیری، اثرات آلایندهی نظیر مسمومیت، بیماری، موتاسیون، ورود به زنجیره غذایی و .... را به بار می آورند.

فلزات سنگین با روش های ترسیب شیمیایی، الکترولیز، کاربرد مواد منعقد کننده، سیستم های تبادل یونی، روش های غشایی، جذب سطحی، تبخیر و روش های بیولوژیک، حذف شده یا کاهش می یابند. در حال حاضر حذف آلاینده ها به خصوص فلزات سنگین از آبها و پسابها به وسیله جاذب های بیولوژیک به علت مزایایی چون ارزان قیمت بودن بیومس از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. به همین جهت یک نوع سرخس آبی کوچک به نام آزولا فیلیکولو بیدز (*Azolla filiculoides*) برای حذف فلزات سنگین  $\text{Cr}^{+3}$ ،  $\text{Ni}^{+2}$  و  $\text{Cu}^{+2}$  در سیستم بسته مورد بررسی قرار گرفت.

آزمایشات به روش Batch و با تماس دادن مقدار مشخصی از سرخس خشک آزولا با محلول فلزات سنگین به صورت جداگانه و مخلوط انجام گرفته است. آزمایشات در زمان های ماند ( ۶۰، ۴۵، ۳۰، ۲۰، ۱۰، ۵ )، PH های ( ۸، ۶، ۴، ۲ ) و دماهای ( ۲۰، ۳۰، ۴۰ °C ) انجام گرفته است. یافته ها نشان می دهند که با افزایش pH، در صد حذف توسط آزولا افزایش می یابد و قابل ذکر است که دما تاثیر چندانی بر حذف فلزات سنگین توسط آزولا ندارد.

نتایج بررسی حاکی از آن است که سرخس آبی آزولا با درصد راندمان بالای ۹۷٪ در زمان ماند بهینه ۲۰ دقیقه قادر به حذف فلزات سنگین کروم، مس و نیکل به کمتر از حد مجاز تخلیه به محیط زیست می باشد و به خوبی در صنعت قابل استفاده می باشد.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، جاذب های بیولوژیک، آزولا فیلیکولو بیدز

۱- محیط زیست، واحد پرند، دانشگاه آزاد اسلامی، پرند، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند (مسئول مکاتبات).

## مقدمه

امروزه آلودگی محیط زیست از مسایل مهمی است که جوامع مختلف با آن مواجه اند. انسان در اثر فعالیت‌های روزمره و صنعتی خود مقادیر قابل توجهی آلاینده‌های مختلف وارد محیط می‌نماید. گسترش روز افزون صنایع، توسعه شهرها، افزایش جمعیت و دخالت بی‌رویه بشر در طبیعت به تخریب بیش از پیش محیط زیست منجر گردیده است، به طوری که طی سال‌های گذشته تغییرات قابل ملاحظه‌ای به وجود آمده است. فلزات سنگین از سمی‌ترین آلاینده‌ها در محیط زیست می‌باشند که از منابع مختلفی مانند فرسایش طبیعی خاک، مواد زاید، معادن، شیرابه اماکن دفن بهداشتی، فاضلاب‌های شهری، رواناب‌های شهری و فاضلاب‌های صنعتی مختلف به خصوص آبکاری، الکترونیک و صنایع ذوب فلز، کاغذ سازی، رنگ‌رزی، دباغی و ..... به محیط زیست تخلیه می‌شوند و به دلیل عدم تجزیه پذیری اثرات آلودگی نظیر مسمومیت، بیماری، موتاسیون، ورود به زنجیره غذایی و... اثرات شدیدی را به بار می‌آورند (۱).

فلزات سنگین به روش‌های ترسیب شیمیایی، الکترولیز، کاربرد مواد منعقد کننده، سیستم‌های تبادل یونی، روش‌های غشایی، جذب سطحی، تبخیر و روش‌های بیولوژیک حذف یا کاهش می‌یابند.

حذف فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های موجود در آب و پساب‌ها با استفاده از سیستم‌های بیولوژیک در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است، چرا که در تعدادی از روش‌های حذف فلزات سنگین وقتی کاربردشان توجیه اقتصادی دارد که غلظت اولیه این آلاینده‌ها از حد معینی بالاتر باشد، نظیر تبخیر، تعویض یونی و فرآیندهای غشایی. از سوی دیگر روش‌هایی مانند ترسیب شیمیایی سبب تولید حجم زیادی لجن می‌شود که دفع آن مشکل ساز می‌باشد. قابل ذکر است روش‌های سیستم‌های غشایی نظیر اسمز معکوس و الکترولیز هزینه‌های اولیه و جاری بالایی دارند و روش انعقاد سازی نیز مصرف انرژی الکتریکی و هزینه زیادی در بردارد. به همین جهت توجه به روش‌های بیولوژیک افزایش یافته است (۲).

آزولا نوعی سرخس آبی از خانواده Salvinaceae است که از طریق یک نوع الگ همزیست به نام بلو گرین آلجی که نام علمی آن *Anabaena azolla* می‌باشد، در حفرهای برگ‌های آن به صورت همزیست به سر می‌برد. این گیاه ازت هوا را تثبیت کرده و در اختیار برنج قرار می‌دهد (۳). آزولا در محیط‌های فاقد ازت معدنی سریع رشد است. بنابراین مصرف ازت معدنی، رشد آزولا و در نهایت، قدرت تثبیت ازت توسط آزولا را کاهش می‌دهد (۴). لازم به ذکر است آزولا به علت تثبیت ازت در خاک موجب تقویت شالیزار شده و به خاطر ایجاد لایه‌ای در سطح آب از تبخیر آب و نیز رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌نماید (۵ و ۶) گیاه آزولا نه تنها به صورت علوفه مورد

تغذیه حیوانات شیری قرار می‌گیرد، بلکه به عنوان بیومسی ارزان قیمت - به آسانی و در حجم زیاد قابل تهیه است. اکنون آزولا به عنوان یک جاذب بیولوژیک مطرح می‌باشد، که در مقاله حاضر به عنوان یک بیومس ارزان قیمت در جهت حذف فلزات سنگین ( $Cr^{3+}-Ni^{2+}-Cu^{2+}$ ) به کار رفته است.

سرخس آبی آزولا، همیشه سبز و در کلیه ایام سال قابل دسترس می‌باشد و گرچه این گیاه بومی ایران نمی‌باشد ولی در آب و هوای ایران به سرعت تکثیر یافته و تبدیل به معضل گشته است. بنابراین کاربرد آن به عنوان جاذب بیولوژیک نه تنها از حضور فلزات سنگین می‌کاهد، بلکه به دلیل رشد سریع در مناطق شمالی کشورمان نیازی به تولید و تکثیر آن نیز نمی‌باشد (۳).

## روش بررسی

**نمونه برداری:** سرخس آبی آزولا را از ایستگاه قلم گوده واقع در تالاب انزلی توسط تور جمع‌آوری نموده و پس از آگیری اولیه به مدت ۴ ساعت، ابتدا توسط آب ذرات و مواد زاید لابه‌لای اندام‌های گیاه را شستشو داده و سپس توسط آب مقطر جهت حذف احتمالی املاح و ذرات اضافی آبشویی نموده‌ایم. بعد از آن گیاهان را در سایه خشک نموده و در آخر نیز از الکی به قطر ۲-۰/۰۵ میلی‌متر عبور داده و پس از طی این مرحله آن‌ها را در جای خنک و خشک در درون ظرف‌های شیشه‌ای نگهداری کرده‌ایم.

**آماده سازی ظروف آزمایشگاهی:** به منظور حذف احتمالی مواد معدنی از جدار ظروف، ابتدا آن‌ها را با اسید و سپس با آب مقطر شستشو داده و پس از خشک نمودن جهت انجام آزمایشات به کار برده‌اند.

**نحوه انجام آزمایشات:** یکی از روش‌های عمده جذب بیولوژیکی سیستم بسته (Batch) می‌باشد (۱).

پارامترهای مورد بررسی در این سیستم زمان ماند، دما و pH می‌باشند که در دو قالب مخلوط فلزات و به صورت تک فلز سنگین مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

## ۱- بررسی تاثیر زمان ماند بر حذف فلزات سنگین در سیستم بسته

جهت بررسی تاثیر زمان ماند بر میزان حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا، مقدار ۵ گرم آزولا با  $200^{\circ}C$  محلول ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات نیکل در زمان‌های ماند ۵-۱۰-۲۰-۳۰-۴۵ و ۶۰ دقیقه به طور جداگانه تماس داده شدند. پس از صاف کردن محلول‌ها، نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری با دستگاه جذب اتمی نگه‌داری گردیدند. مشابه همین آزمایش برای نیترات مس و سولفات پتاسیم کروم نیز انجام گردید. نتایج در جدول (۱) آورده شده است.

نمونه ها جهت اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نگه داری شدند. جدول (۵) بیانگر نتایج حاصل از pH تاثیر می باشد. جهت بررسی تاثیر pH بر میزان حذف مخلوط فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا، مقدار 200<sup>cc</sup> از محلول های نیترات نیکل، نیترات مس و سولفات پتاسیم کروم با ۵ گرم آزولا خشک ساخته شده به pH های ۲-۴-۶ و ۸ رسیده و با ۵ گرم آزولا خشک مخلوط شدند و پس از ۳۰ دقیقه تماس صاف گردیده و نمونه ها جهت اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نگه داری شدند. جدول (۶) بیانگر نتایج حاصل از pH می باشد.

#### یافته ها

همان طور که در بخش قبل اشاره شد، در این پژوهش کاهش غلظت فلزات سنگین با توجه به متغیرهای زمان ماند، دما و pH برای فلزات کرم، نیکل و مس توسط آزولا مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج در جداول ۱ الی ۶ آورده شده است.

همان گونه که در جداول ۱ و ۲ دیده می شود، متغیر زمان ماند (بین ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ دقیقه) در حذف تک تک و مخلوط فلزات تاثیری نداشته و در مجموع حتی در زمان ماند ۵ دقیقه بیش از ۹۰ درصد حذف مشاهده می گردد.

در آزمون متغیر دما (بین ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درجه سلیوس) نیز در هر حالت درصد حذف برای کلیه پارامترها بیش از ۹۰ درصد به دست آمده است و تغییرات دما تاثیری بر میزان حذف نمی گذارد. هم چنین متغیر pH از ۲ تا ۸ نیز حذف بسیار بالایی، تقریباً ۹۸ درصد را دارا می باشد و با افزایش pH میزان حذف فلزات افزایش می یابد.

جهت بررسی تاثیر زمان ماند بر میزان حذف مخلوط فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا، مقدار ۵ گرم آزولا با 200<sup>cc</sup> محلول ۱۰ میلی گرم در لیتر نیترات نیکل، نیترات مس و سولفات پتاسیم کروم با ۵ گرم آزولا در زمان ماند ۵-۱۰-۲۰-۳۰-۴۵ و ۶۰ دقیقه تماس داده شدند. پس از صاف کردن محلول ها، نمونه ها جهت اندازه گیری با دستگاه جذب اتمی نگه داری گردیدند که نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

#### ۲- بررسی تاثیر دما بر حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا

جهت بررسی تاثیر دما بر میزان حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا، مقدار ۵ گرم آزولا را با 200<sup>cc</sup> محلول ۱۰ میلی گرم در لیتر نیترات نیکل، نیترات مس و سولفات پتاسیم کروم به طور جداگانه در دماهای ۲۰-۳۰-۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه تماس دادند که نتایج در جدول (۳) آورده شده است. جهت بررسی تاثیر دما بر میزان حذف مخلوط فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا، مقدار ۵ گرم آزولا با 200<sup>cc</sup> محلول ۱۰ میلی گرم در لیتر نیترات نیکل، نیترات مس و سولفات پتاسیم کروم در دماهای ۲۰-۳۰-۴۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه تماس داده شدند که نتایج آن نیز در جدول (۴) آورده شده است.

#### ۳- بررسی تاثیر pH بر حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا

جهت بررسی تاثیر pH بر میزان حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا، مقدار 200<sup>cc</sup> از محلول های نیترات نیکل، نیترات مس و سولفات پتاسیم کروم ساخته شده با اسید نیتریک غلیظ و سود رقیق به pH های ۲-۴-۶ و ۸ رسیده و به طور جداگانه با ۵ گرم آزولای خشک مخلوط شده و پس از ۳۰ دقیقه تماس صاف گردیده و

جدول ۱- نتایج تغییرات زمان ماند در حذف فلزات سنگین کروم، نیکل و مس

سولفات پتاسیم کروم ۱۰ (mg/lit)		نیترات مس ۱۰ (mg/lit)		نیترات نیکل ۱۰ (mg/lit)		زمان (دقیقه)
درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	
۹۶/۷	۰/۳۲۹	۹۴/۷	۰/۵۲۱	۸۹/۲	۱/۰۷۸	۵
۹۸/۱	۰/۱۸۸	۹۵/۸	۰/۴۱۱	۸۷/۳	۱/۲۵۶	۱۰
۹۷/۲	۰/۲۷۶	۹۶/۴	۰/۳۵۱	۹۱/۳	۰/۸۷۰	۲۰
۹۸/۲	۰/۱۷۶	۹۶/۸	۰/۳۱۹	۹۴	۰/۵۹۱	۳۰
۹۷/۴	۰/۲۵۲	۹۶/۴	۰/۳۵۴	۹۲/۸	۰/۷۱۹	۴۵
۹۷/۹	۰/۲۰۱	۹۱/۸	۰/۸۱۳	۸۶/۴	۱/۳۵۷	۶۰

جدول ۲- نتایج تغییرات زمان ماند در حذف مخلوط فلزات سنگین کروم، نیکل و مس

سولفات پتاسیم کروم ۱۰ (mg/lit)		نیترات مس ۱۰ (mg/lit)		نیترات نیکل ۱۰ (mg/lit)		زمان (دقیقه)
درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	
۹۸	۰/۱۹۳	۹۵/۲	۰/۴۷۹	۹۵	۰/۴۱۴	۵
۹۶/۲	۰/۳۷۴	۹۷/۹	۰/۲۰۸	۹۵/۸	۰/۴۱۸	۱۰
۹۶/۹	۰/۳۰۹	۹۷/۷	۰/۲۲۴	۹۶/۴	۰/۳۵۴	۲۰
۹۶/۴	۰/۳۵۱	۹۷/۹	۰/۲۰۴	۹۶/۴	۰/۳۵۴	۳۰
۹۶/۳	۰/۳۶۳	۹۸	۰/۱۹۲	۹۶/۵	۰/۳۴۴	۴۵
۹۸/۷	۰/۱۲۹	۹۵/۹	۰/۴۰۹	۹۷	۰/۲۹۲	۶۰

جدول ۳- نتایج تغییرات دما در حذف فلزات سنگین کروم، نیکل و مس

سولفات پتاسیم کروم ۱۰ (mg/lit)		نیتрат مس ۱۰ (mg/lit)		نیترات نیکل ۱۰ (mg/lit)		دما
درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	
۹۷/۸	۰/۲۱۸	۹۶/۲	۰/۳۷۱	۹۳/۲	۰/۶۷۷	۲۰
۹۷	۰/۲۹۶	۹۶/۹	۰/۳۰۹	۸۹/۵	۲/۰۴۱	۳۰
۹۶/۴	۰/۳۵۱	۹۶/۵	۰/۳۴۲	۹۴/۹	۰/۵۰۸	۴۰

جدول ۴- نتایج تاثیر دما بر حذف مخلوط فلزات سنگین کروم، نیکل و مس

سولفات پتاسیم کروم ۱۰ (mg/lit)		نیترات مس ۱۰ (mg/lit)		نیترات نیکل ۱۰ (mg/lit)		دما
درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	
۹۶/۸	۰/۳۱۷	۹۸	۰/۱۹۵	۹۶/۴	۰/۳۵۸	۲۰
۹۶	۰/۳۹۹	۹۸/۱	۰/۱۹۰	۹۶/۶	۰/۳۳۷	۳۰
۹۵/۷	۰/۴۲۶	۹۸/۳	۰/۱۶۵	۹۶/۴	۰/۳۵۲	۴۰

جدول ۵- تغییرات pH در حذف فلزات سنگین کروم، نیکل و مس

سولفات پتاسیم کروم ۱۰ (mg/lit)		نیترات مس ۱۰ (mg/lit)		نیترات نیکل ۱۰ (mg/lit)		PH
درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	
۹۰/۸	۰/۹۱۷	۸۶/۴	۱/۵۴۰	۸۴/۸	۱/۵۱۲	۲
۹۶/۷	۰/۳۳۷	۹۸	۰/۲۰۰	۹۲/۹	۰/۷۰۵	۴
۹۷/۸	۰/۲۱۲	۹۷/۸	۰/۲۱۳	۹۴/۲	۰/۵۷۳	۶
۹۸/۶	۰/۱۳۲	۹۸/۴	۰/۱۵۹	۹۵	۰/۴۹۱	۸

جدول ۶ - نتایج تغییرات pH در حذف مخلوط فلزات سنگین کروم، نیکل و مس

سولفات پتاسیم کروم ۱۰ (mg/lit)		نیترات مس ۱۰ (mg/lit)		نیترات نیکل ۱۰ (mg/lit)		pH
درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	درصد حذف (%)	غلظت باقی مانده (mg/lit)	
۹۸/۶	۰/۱۳۹	۹۵/۴	۰/۴۵۷	۹۴/۳	۰/۵۲۶	۲
۹۷/۳	۰/۲۶۸	۹۸/۴	۰/۱۵۹	۹۶/۷	۰/۳۲۸	۴
۹۷/۳	۰/۲۶۱	۹۸/۲	۰/۱۷۳	۹۶/۶	۰/۳۳۵	۶
۹۸/۶	۰/۱۴۰	۹۷	۰/۲۹۶	۹۶/۶	۰/۳۳۱	۸

### بحث و نتیجه گیری

دارا بودن مزایای ذکر شده نیاز به افزایش بیش از حد حجم تانک ها نمی باشد که سبب افزایش فضای اشغالی و هزینه ها گردد.

مقایسه توانایی آزولا در حذف سه فلز سنگین کروم، نیکل و مس به صورت مجزا نشان دهنده آنست که راندمان حذف به صورت رابطه  $Cr > Cu > Ni$  می باشد و از آنجایی که جرم اتمی کروم، مس و نیکل به ترتیب ۵۲.۰۱، ۶۳.۵۴ و ۵۸.۷۱ گرم می باشند، مشخص می گردد که کروم به دلیل دارا بودن ظرفیت بالاتر درصد حذف بیشتری دارد و از طرفی با افزایش جرم مولکولی در صد حذف افزایش می یابد و مس درصد حذف بالاتری نسبت به نیکل داراست. نتایج فوق کاملا با ساز و کار جذب سطحی مطابقت دارد.

بررسی نتایج آزمایشات تاثیر pH بر حذف فلزات سنگین در سیستم بسته حاکی از آنست که به طور کلی افزایش pH تاثیر چندانی بر راندمان حذف ندارد.

بررسی نتایج آزمایشات تاثیر دما بر حذف فلزات سنگین در سیستم بسته حاکی از آنست که مکانیسم حذف فلزات سنگین توسط آزولا مستقل از دما می باشد.

نتیجه کلی که از این تحقیقات می گیریم این است که سرخس آبی آزولا قادر به کاهش فلزات سنگین کروم، نیکل و مس موجود در فاضلاب می باشد و می تواند غلظت باقی مانده فلزات را به حد مجاز تخلیه به محیط زیست برساند.

### منابع

۱. رخشان، روحان، بررسی و بهینه سازی شرایط حذف فلزات سنگین روی - کادمیوم - نیکل - سرب از پساب ها به وسیله سرخس آبی آزولا و همزیست جلبکی آن در تالاب انزلی، پایان نامه دکتری شیمی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلام ی واحد تهران شمال، ۱۳۸۴، صفحات ۲۲ ال ی ۴۶

با توجه به این که روش های متعارف تصفیه شیمیایی اغلب به دلیل تشکیل کمپلکس های مختلف با مشکلاتی مواجه می باشند و قادر به حذف کامل فلزات سنگین نمی باشند و از سوی دیگر پر هزینه هستند، در سیستم های رقیق کارایی چندانی ندارند ولی روش های بیولوژیکی از نظر اقتصادی به طور مطلوبی با روش های شیمیایی قابل قیاس می باشند و شرایط اقتصادی جدیدی را فراهم می آورند. روش های بیولوژیک نه تنها هزینه راه اندازی و نگه داری سالیانه ی زیادی نسبت به سایر روش ها ندارند، بلکه به دلیل عدم حضور مواد شیمیایی و همچنین نیاز به مصرف کم انرژی و تعداد کارگر در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است. اگرچه در این روش مقدار مواد زاید قابل توجه است، اما در مقابل بازیافت آب و پتانسیل آن زیاد است. قابل ذکر است که این روش قادر به تصفیه فاضلابی با ppm ۳۰۰۰-۱۰۰۰ فلز سنگین می باشد. ظرفیت این روش بین ۵۰-۲۰ (مقیاس کوچک تا متوسط) است.

بررسی نتایج آزمایشات تاثیر زمان ماند بر حذف فلزات سنگین در سیستم بسته حاکی از آنست که درصد حذف فلزات نیکل، مس و کروم در زمان ماند ۵ دقیقه به ترتیب ۸۹/۲٪، ۹۴/۷٪ و ۹۶/۷٪ بوده است که این راندمان در زمان ماند ۶۰ دقیقه به ۸۴/۶٪، ۹۱/۸٪ و ۹۷/۹٪ رسیده است. این خود بیانگر آن است که مقداری از رسوبات نیکل و مس با افزایش زمان ماند به صورت محلول به محیط بازگشته اند و در مورد کروم راندمان حذف با افزایش زمان ماند افزایش می یابد (افزایش تقریبی ۱/۵٪). اگر چه راندمان حذف با افزایش زمان ماند تغییر چندانی نمی کند، (به دلیل آن که ساز و کار حذف، جذب سطحی به وسیله آزولا می باشد، ولی بهترین زمان ماند جهت حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا زمان ماند ۲۰ دقیقه می باشد، چرا که بالاترین ضریب اطمینان و نیز اختلاط را داراست. شایان ذکر است که این زمان ماند نیز در صنعت توصیه می گردد زیرا علاوه بر

5. Diara, H.F., H. Vanbrandt., Diop, A.M and C. Vanhove, Azolla and its use in rice culture in West Africa. Sighed in: Azolla Utilization , 3th edition , Mac Grow Hill ,1999 , pages 77 - 93
6. Kulascoriya,S.A.,Hirimburegama,W.K and S.W Abeysekera , Use of azolla in srilanka.Fujia academy of agriculture science.fuzho,Fugian (china)international rice research institute , first edition , John Wiwly , 2000 , pages 67- 109
۲. برخوردار، بنفشه، بررسی حذف و بازیافت فلزات سنگین کروم - نیکل - مس توسط توده خشک جلبکی - پایان نامه دکتری مهندس ی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، ۱۳۸۲، صفحات ۱ الی ۶۴
۳. فرخ، علیرضا، نقش آزولا در افزایش برنج، مجله زیتون، ۱۳۸۸، شماره ۱۹۶، صفحات ۱۴ الی ۱۹
4. Singth, P.K., Dash, H. P., Kashyap, A. k and H.D.KumarBlue- green- algal growth and N<sub>2</sub> fixation at nitrogen and phosphorus rice field , 2th edition , Mac Grow Hill ,1999 , pages 35 - 78