علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره پانزدهم، شماره سه، پاییز ۹۲

بررسی توان *Chenopodium album* در جذب و تجمع سزیم پایدار

مهدی برقعی [۱]

رضا ارجمندی [۲]

رکسانا موگویی [۳*]

تاریخ دریافت:۸۹/۴/۸ **تاریخ پذیرش:۸۹/۹/۲۹**

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی توان گونه گیاهی *Chenopodium album* در پالایش سزیم پایدار از محلول ها انجام و الگوی تجمع و شاخص بردباری گیاه نسبت به سزیم مورد بررسی قرار گرفت.

در روش گیاه پالایی برای پالایش محلول های حاوی سزیم پایدار، ابتدا گیاهان گونه *Chenopodium album* در شرایط کنترل شده به صورت هایدروپونیک در محلول غذایی هوگلند رشد داده شد و سپس در معرض جذب سزیم از محلول سزیم کلراید با غلظت های متفاوت بین ۰/۴ تا ۴ میلی گرم بر لیتر سزیم قرار گرفت.

در پایان ۱۴ روز تجمع سزیم در بافت گیاه، بین ۲/۱۵ ± ۲۰۱/۸۳ تا ۱۲/۲۱ ± ۱۰۳۲/۸۶ میلی گرم بر کیلوگرم وزن خشک گیاه بود. نتایج این تحقیق نشان می دهد حداکثر۲/۱۲ ± ۶۸/۰۸ ٪ سزیم محلول ها مورد پالایش قرار گرفته که مربوط به پایین ترین غلظت سزیم می باشد. همچنین گیاهان قادر به تجمع سزیم هم در ریشه و هم در برگ ها بوده اند که نشان می دهد *Chenopodium album* می تواند گزینه مناسبی برای گیاه پالایی و جذب سزیم از محلول ها باشد.

واژه های کلیدی: *Chenopodium album، سزیم ، جذب، هایدروپونیک، تجمع.*

۱- استاد دانشکده شیمی دانشگاه صنعتی شریف تهران.

۲- استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

۳- استادیار گروه برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال*(مسئول مکاتبات)

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

در سال های اخیر پالایش زیستی به عنوان روشی سازگار با محیط زیست با کیفیتی مطلوب و هزینه های پایین تر مورد توجه بوده است (۴- ۱). در این روش فلزاتی از قبیل سرب، کادمیوم و کروم و عناصر رایواکتیو از قبیل سزیم، استرانسیوم و اورانیوم مورد پالایش قرار گرفته است(۲ و ۸-۵).

رادیو ایزوتوپ سزیم ۱۳۷ با نیمه عمر بیش از ۳۰ سال از عمده ترین رادیونوکلییدهای مصنوعی است که از شکافت هسته ای اورانیوم به وجود آمده و معمولاً از آزمایش های مربوط به تسلیحات اتمی، تخلیه پسماندهای هسته ای و حوادث هسته ای به محیط زیست راه یافته است. در اکوسیستم های مختلف از طریق زنجیره های غذایی از آب و خاک به گیاهان و در نهایت به بدن انسان می رسد(۹). بنابراین جداسازی ایزوتوپ های رادیواکتیو سزیم از قبیل سزیم ۱۳۷ و سزیم ۱۳۴ از خاک ها و محلول های آلوده برای کاهش ریسک اشعه گیری انسان دارای اهمیت است. لازم به ذکر است که حرکت سزیم پایدار در اکوسیستم همواره به عنوان شاخصی از حرکت ایزوتوپ های رادیواکتیو آن، مطرح بوده است(۱۰) ارتقای آنالیز هزینه منفعت برنامه ریزی پالایش زیستی، مستلزم درک کامل و دقیق نحوه توزیع و حرکت آلاینده ها در محیط های مختلف، توسعه ابزارهای تجزیه و تحلیل و پایش، در نظر گرفتن بازه های زمانی مورد نیاز برای متوقف سازی یا تخریب انواع آلودگی ها و ارایه روش های مورد پذیرش ذینفعان مختلف است. گیاه پالایی از زیر بخش های پالایش زیستی است و بر مبنای استفاده از گیاهان برای جداسازی آلاینده ها از خاک، لجن، رسوب، آب های زیرزمینی، آب های سطحی و پساب طراحی شده است. در این روش ضمن پالایش در محل از فرایندهای بیولوژیکی و ویژگی های فیزیکی گیاهان استفاده می شود. گیاه پالایی همچنین پالایش سبز، پالایش گیاهی، پالایش کشاورزی و پالایش مرتبط با گیاهان نیز نامیده می شود. گیاه پالایی در بر گیرنده کلیه روش هایی است که برای تخریب آلاینده ها، جذب (از طریق تجمع یا چسبندگی) و متوقف نمودن حرکت آلاینده ها به کار می روند(۱۱). سزیم فلز قلیایی است که به طور طبیعی در صخره های ماگمایی و صخره های رسوبی با غلظتی حدود ۳ میلی گرم بر کیلوگرم (۱۰، ۱۲)و در خاک از محدوده ۰ تا ۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم (۱۳،۱۰) وجود دارد. سزیم نقش غذایی شناخته شده ای در گیاهان ندارد. در محلول های کشت با غلظت بیش از ۲۰۰ میکرومول برای گیاهان سمی است(۱۴). به طور معمول سزیم در خاک به صورت ایزوتوپ پایدار ^{133}Cs وجود دارد(۱۰). غلظت های طبیعی آن در خاک برای گیاهان اهمیتی ندارد. توجه به توزیع سزیم در گیاه، خاک و حرکت این فلز در اکوسیستم به دهه ۱۹۵۰ و به توسعه فن آوری های هسته ای مورد استفاده در تولید انرژی باز می گردد (۱۸- ۱۵) مصرف در مقیاس بالای سزیم ۱۳۷ به عنوان منبع تابش در تجهیزات پرتودهی، نیازمند توسعه سیستم بازیافت این محصول است که به مقدار زیادی در پسماندهای ویژه وجود دارد (۱۹). برخی از ایزوتوپ های سزیم محصولات رادیواکتیو شکافت اورانیوم بوده و در میان آن ها سزیم ۱۳۷ به مقدار فراوانی در پسماندهای هسته ای موجود است(۱۷،۱۴). رادیو ایزوتوپ های سزیم ۱۳۴ و سزیم ۱۳۷ مهم ترین رادیونوکلئوتیدهایی هستند که در نتیجه آزمایش ها و حوادث هسته ای وارد محیط زیست شده اند. سزیم در لایه های بالایی خاک تجمع یافته و می تواند خطر قابل توجهی برای انسان ها به خصوص از طریق مصرف محصولات به شدت آلوده از قبیل قارچ ایجاد نماید(۲۰). در کشور ما شاخص های اهداف زیست فن آوری کشور به بر اساس اثربخشی برنامه ریزی، تامین نیروی انسانی متخصص مورد نیاز، تامین ابزار و تجهیزات لازم برای انجام تحقیقات، کمک به رفع بحران ملی در زمینه امنیت غذایی، بهداشت و محیط زیست، توجیه اقتصادی ایجاد و توسعه فن آوری و امکان دسترسی به اطلاعات و فن آوری مورد نیاز تدوین شده است(۲۱) . *Chenopodium album* با نام فارسی سلمه تره از گونه های علف هرز و مقاوم به شوری است. سایر محققین از این گیاه برای پالایش محیط های آلوده به فلزات سنگین استفاده نموده اند. هدف از این تحقیق نیز استفاده از روش گیاه پالایی

Archive of SID

www.SID.ir

در پالایش محلول های حاوی سزیم و تعیین کارایی گونه مورد مطالعه، تجمع سزیم در گیاه و تعیین شاخص بردباری آن است. بررسی توان *Chenopodium album* یا سلمه تره به عنوان علف هرزی که در کشور رویش وسیع جغرافیایی دارد، در جذب آلودگی از محلول های با غلظت های مختلف سزیم و نحوه انتقال آن در گیاه از اهداف دیگر این تحقیق است.

مواد و روش ها

تکنولوژی های گیاهی، به شرایط اقلیمی و ارتفاع، کیفیت آب و خاک و ویژگی های آلاینده ها وابسته اند. در گیاه پالایی غربالگری گونه های گیاهی، انتخاب گونه هایی که قدرت جذب و تجمع فلزات در بخش های گیاه را دارند از اهمیت ویژه ای برخوردار است. همچنین در مدیریت زیست محیطی آلاینده ها استفاده از سیستم های پالایش و پالاینده هایی که برای استقرار نیازمند هزینه کمتر بوده و پیامدهای ناسازگار زیست محیطی کمتری دارند، بهره وری روش های پالایش را ارتقا می بخشند. در این تحقیق در گام نخست با مطالعات کتابخانه ای و جمع آوری اطلاعات مربوطه خانواده های گیاهی مناسب پالایش سزیم تعیین گردید. کنوپودیوم آلبوم (سلمک، سلمه تره) گیاهی است از خانواده اسفناجیان و یکساله با ساقه های ایستا و انشعابات فراوان که غالباً دارای خطوط صورتی یا بنفش هستند. ارتفاع آن بر حسب آب و هوا و نوع خاک تغییر می کند. برگ های سلمک کشیده، تخم مرغی شکل و دندانه دار است. برگ های قسمت فوقانی گیاه باریکتر و دارای حاشیه صاف است. کرک های سفیدرنگی برگ و ساقه های این گیاه را پوشانده است. گل آذین آن از نوع سنبله و سبز رنگ است. میوه نیز سبز رنگ ودارای بذرهای ریزی است(۲۲) . این گیاه در محدوده وسیعی از کشور به صورت علف هرز رویش دارد. به منظور کاربری این گیاه در عملیات گیاه پالائی، بذر گیاه در شن جوانه زنی (در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی گراد) و پس از مرحله جوانه زنی به مدت یک ماه در شن به وسیله آب رشد نموده و آماده انتقال به گلخانه هایدروپونیک هستند. در استقرار سیستم هایدروپونیک بستر مایع از ظروف ۱۰ لیتری[1] استفاده شده است. لازم است دیواره های این ظروف با پوشش های تیره پوشانده شود که ریشه های گیاهان نور دریافت ننمایند. صفحات پوششی این ظروف از دو بخش تشکیل شده است. صفحاتی از جنس یونولیت به قطر ۲۰ میلی متر و به ابعاد (۳۷۰ × ۳۳۰) میلی متر که حاوی سوراخ هایی به قطر ۳۰ میلی متر بوده و در هر صفحه مجموعا ۱۲ سوراخ قرار دارد. بخش دوم توری پلاستیکی است که قطر سوراخ های آن به اندازه بذرهای کشت شده بستگی دارد. گیاهان به مدت ۶۰ روز در این سیستم (آبیاری با هوگلند)پرورش داده شده و یک دوره رویش را سپری می نمایند. هوادهی سیستم با الکتروپمپ با لوله های به قطر ۴ میلی متر که در درون هر یک از تری ها قرار می گیرد، انجام می شود. هوادهی ۲۴ ساعته درافزایش رشد گیاهان موثر است. حداقل هوادهی ۵ تا ۶ حباب در ثانیه است. کنترل شرایط کشت در سیستم هایدروپونیک بستر جامد راحت تر و عملی تر می باشد. در این روش گیاهچه ها در بستر شن و ماسه قرار گرفته و با محلول غذایی هوگلند آبیاری می شوند. در طول ۹۰ روز یک دوره رویش کامل را طی می نمایند که شامل ۳۰ روز آبیاری با آب و ۶۰ روز آبیاری با محلول هوگلند است. در طول دوره رشد، حداقل دما از ۱۷ تا ۳۸ و حداکثر آن از ۳۴ تا ۴۸ درجه سانتی گراد ثبت شده است. در ساخت ۲۴۰ لیتر استاک هوگلند محلول عناصر ماکرو، جداگانه با غلظت های معین تهیه می شوند. ۲۴۰ میلی لیتر محلول $NH_4H_2PO_4$ (۲۷/۶ گرم بر لیتر)، ۱۴۴۰ میلی لیتر محلول KNO_3 (۱۵۴/۰۸ گرم بر لیتر)، ۹۶۰ میلی لیتر محلول $Ca(NO_3)_2.4H_2O$ (۲۲۶/۵۶ گرم بر لیتر)، ۴۸۰ میلی لیتر محلول $MgSO4.7H_2O$ (۱۱۸/۰۸ گرم بر لیتر)، ۳۶۰ میلی لیتر محلول Fe-EDTA (۱/۸ گرم بر لیتر). اما عناصر میکرو به صورت یک محلول تهیه می شوند. به عبارت دیگر هر یک از مواد مندرج در ستون عناصرغذایی میکرو در وزن های مندرج در جدول توزین و به ۲۴۰ میلی لیتر آب افزوده می شوند و استاک عناصر میکرو تهیه می شود. که شامل مواد و

1 - Tray

Archive of SID
www.SID.ir

غلظت های زیر است:

محلول H_3BO_3 (۰/۹گرم بر لیتر)، محلول $ZnSO_4.7H_2O$ (۰/۵۲ گرم بر لیتر)، محلول $MnSO_4.4H_2O$ (۲/۴ گرم بر لیتر)، محلول $CuSO4.5H_2O$ (۰/۱۹ گرم بر لیتر) ، محلول $(NH_4)_6MO_7.O_{24}.4H_2O$ (۰/۰۴۸ گرم بر لیتر). و در نهایت جهت ساختن هوگلند محلول های تهیه شده در مخزن اصلی به حجم ۲۴۰ لیتر می رسد . pH محلول نهایی بین ۵/۵ تا ۵/۸ تنظیم می شود. در صورت قرار نداشتن pH در محدوده مذکور، از اسیدهایی از قبیل CH_3COOH یا HNO_3 و محلول های قلیایی از قبیل KOH جهت تنظیم pH ، استفاده می شود. اندازه گیری pH محلول چند مرتبه در روز ضروری بوده و از عوامل بسیار مهم محدود کننده رشد گیـــاه به شمار می رود.

۱-آزمایش های مربوط به جذب سزیم

در این بخش گیاهان ابتدا از سیستم رشد هایدروپونیک خارج و با آب مقطر شسته می شوند. سپس به مدت ۱۴ روز در دمای محیط در pH برابر ۶ در معرض محلول سزیم کلراید با سه غلظت ۰/۵، ۲ و ۵ میلی گرم بر لیتر قـرار می گیرند. غلظت سزیم درپساب پس از اتمام مراحل جذب در سازمان انرژی اتمی ایران و با دستگاه های جذب اتمی اندازه گیری شده است. گیاهان *Chenopodium album* در محلول سزیم کلراید در دو هفته هنوز زنده مانده اند.

۲- آزمایش های مربوط به تجمع سزیم در بافت گیاه

در پایان هر آزمایش، گیاهان دو ماهه از محلول سزیم خارج و به طور کامل با آب مقطر شسته می شوند. سپس به دو بخش ریشه و بخش های هوایی گیاه تقسیم شده و در اون ۶۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک می شوند. بافت های خشک گیاه در $HNO_3 : HClO_4$ (5:1, V:V) هضم و غلظت سزیم با دستگاه جذب اتمی تعیین می گردد.

۳- آزمایش های مربوط به تعیین شاخص بردباری گیاه

شاخص بردبـــاری در گیاه از فرمـــول زیر محاسبه می شود (۲۳)

$$\text{شاخص بردباری} = \frac{\text{میانگین طول بلندترین ریشه در محلول حاوی فلز}}{\text{میانگین طول بلندترین ریشه در محلول بدون فلز}} \times ۱۰۰$$

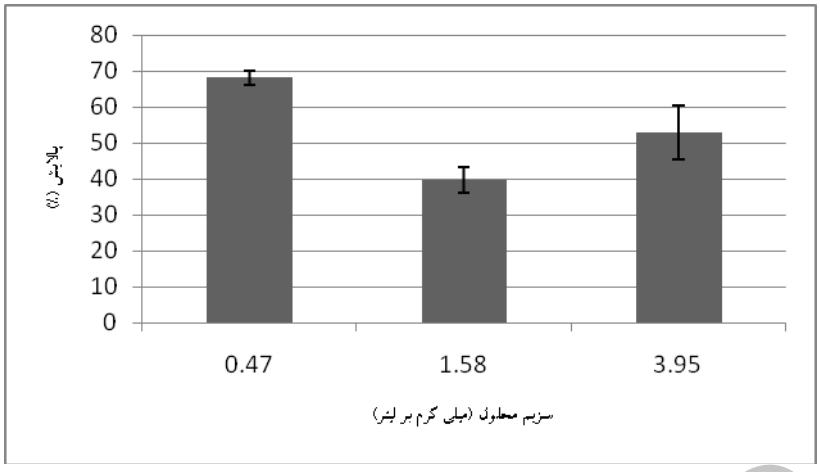
در طول دوره پالایش و تجمع حداکثر دمای روزانه از ۳۶ تا ۴۲ درجه سانتی گراد و حد اقل دمای روزانه از ۲۳ تا ۳۰ درجه سانتی گراد ثبت شده است.

نتایج

تعیین درصد جذب و کارایی: درصد جذب و کارایی در نمودار۱ ارایه گردیده است. در این شکل بر اساس غلظت های اولیه محلول سزیم و غلظت های محلول سزیم پس از ۱۴ روز درصد پالایش مورد محاسبه قرار گرفته است. بر اساس نظریات جانسن(۱۹۹۵) دما تاثیری در جذب رادیوسزیم ها از خاک ندارد. در این تحقیق تغییرات دما در طول دوره رشد بین ۱۷ تا ۴۸ درجه سانتی گراد بوده است و همچنین چون بین تغییرات دما و pH آب ضریب تشابه وجود دارد و تغییرات دمای محیط دمای آب را تغییر می دهد که منجر به تغییر pH گردیده و جذب بهینه مواد غذایی را از محلول هوگلند کاهش می دهد. کنترل pH در این آزمایش از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به نتایج به دست آمده از پالایش سزیم، در غلظت های ۰/۴۷ ، ۱/۵۸ و ۳/۹۵ میلی گرم بر لیتر سزیم، کارایی جذب به ترتیب ۲/۱۲ ± ۶۸/۰۸ ، ۳/۴۸ ± ۳۹/۶۶ و ۷/۵۰ ± ۵۲/۹۹ درصد مشاهده شده است.

Archive of SID

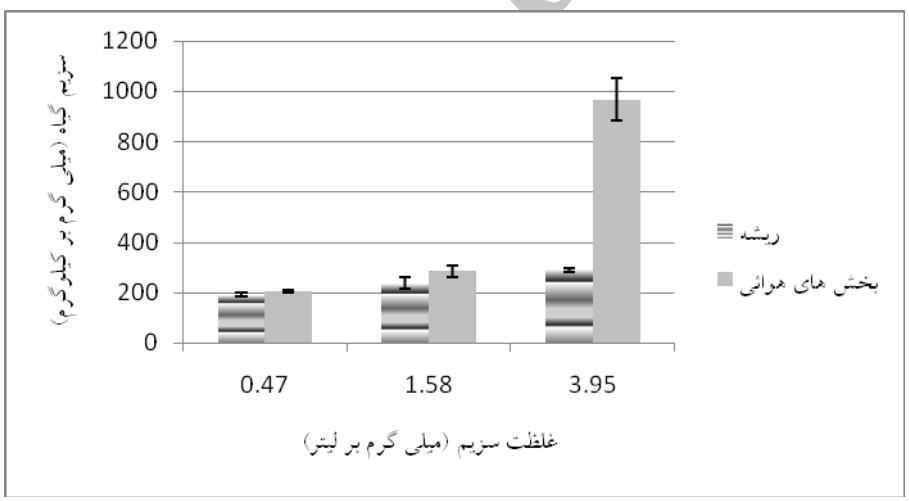
www.SID.ir



نمودار ۱- جذب سزیم از محلول سزیم کلراید توسط *C. album* پس از ۱۴ روز

(داده ها میانگین سه تکرار ± انحراف معیار)

نتایج به دست آمده از تجمع سزیم در بافت گیاه نشان می دهد، غلظت سزیم در کیلوگرم وزن خشک گیاه در بخش های هوایی *C. album* به ترتیب ۳/۵۱ ± ۲۰۴/۱۳، ۲۵/۰۴ ± ۲۸۴/۱۳ و ۸۴/۲۹ ± ۹۶۶/۶۶ می باشد. در ریشه غلظت های به دست آمده برابر ۵/۳۸ ± ۱۹۲/۰۳، ۲۳/۵۶ ± ۲۳۷/۲۶ و ۸/۸۵ ± ۲۹۰ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد (نمودار۲).



نمودار ۲- تجمع سزیم در ریشه و بخش های هوایی *C. album* پس از ۱۴ روز

(داده ها میانگین سه تکرار± انحراف معیار)

شاخص های بردباری بر اساس میانگین بلند ترین طول در جدول ۱ محاسبه شده است.

of SID

www.SID.ir

جدول ۱- شاخص های بردباری *C. album* پس از جذب سزیم در ۱۴ روز(داده ها میانگین سه تکرار ± انحراف معیار می باشد)

شاخص بردباری		
غلظت (میلی گرم برلیتر)	۰/۴۷	۴/۲ ± ۴۱
	۱/۵۸	۳/۳ ± ۲۹
	۳/۹۵	۲/۵ ± ۲۰

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق چـــون هدف جداسازی فلزات از محلول ها و پساب می باشد، لازم است گیاهان قادر به رشد در شرایط هایدروپونیک باشند. رشد هایدروپونیک گیاهان به شدت به pH محلول وابسته است چون جذب بهینه عناصر غذایی در یک محدوده معینی از pH انجام می گیرد (۲۵) بنابراین لازم است تا سطح (۵/۸ – ۵/۵) تقلیل و پیوسته مورد اندازه گیری قرار گیرد. با توجه به نوسان دمای آب، pH با تغییرات روزانه مواجه است که عدم تنظیم روزانه آن باعث اختلال رشد گیاهان می شود. در رشد هایدروپونیک گیاهان ساخت دقیق محلول هوگلند نیز دارای اهمیت است. اگر توازن یون ها رعایت نگردد یا یکی از عناصر ماکرو یا میکرو کم باشد در زمان کوتاهی، گیاهان دچار کلروزیس خواهند شد. ابتدا اندام های فوقانی از قبیل برگ ها زرد و سپس ریشه ها دچار آسیب می شوند. فقدان کلروفیل -۲ به دلیل استرس های گیاهی از قبیل کمبود مواد غذایی ممکن است باعث بیماری کلروسیس و زرد شدن برگ های سبز گردد. در آزمایشی که بر روی رشد هایدروپونیک گیاه *C.alata* انجام گرفته است، کمبود۱/۶ گرم Fe-EDTA به در ۲۴۰ لیتر محلول هوگلند باعث از بین رفتن برگ های گیاهان گردید در حالی که ترمیم محلول با مقدار ذکر شده ترکیبات آهن، باعث رویش مجدد برگ ها و سایر اندام های هوایی گیاهان شده است (شکل ۱).

شکل ۱- زرد شدن اندام های هوایی C. alata در اثر کمبود Fe-EDTA و رویش مجدد اندام های هوایی با افزودن Fe-EDTA

بنابراین در سیستم هایدروپونیک بستر مایع رشد گیاهان از حساسیت بیشتری برخوردار و ساخت دقیق محلول هوگلند و همچنین اکسیژن دهی محلول حداقل تا حدود ۵ تا ۶ حباب در ثانیه ضروری است. کنترل دمای مایع و تنظیم pH نیز، نیاز به پایش دارد. بنا به دلایل فوق استفاده از سیستم هایدروپونیک بستر جامد یعنی استفاده از محلول هوگلند در بستر شن و ماسه در بسیاری از موارد مثلا در گونه مورد مطالعه این تحقیق (*C. album*) مناسب تر است. در گونه های رطوبت پسند مثلا *C. alata* گیاهان در بستر مایع رشد سریع تری دارند در حالی که *C. album* در بستر مایع به راحتی رشد ننموده اما در بستر جامد از رشد مناسبی برخوردار است. *C. album* در این سیستم کل دوره رویش را در ۹۰ تا ۱۰۰ روز طی نموده است. لازم به توجه است که، نحوه استقرار گیاهان در سیستم متضمن تداوم رویش آنان است. گیاهانی که بذرهای کوچک دارند (بذرهای حدود یک میلی متر مربع) دارای گیاهچه های بسیار کوچکی نیـــز می باشند که حرکت آن ها در صفحات پوششی کشت باعث از بین رفتن گیاهچـه ها می شود. این حرکت ناشی از باد یا حـــرکت صفحات برای تعویض هوگلند و یا تنظیم pH آن است. اگر گیاهانی از قبیل *C. album* که دارای بذرهای بسیار کوچکی هستند در شن و ماسه مستقر شوند مراحل جوانه زنی و رویش را با سرعت رشد مورد نظر سپری می کنند. اما به منظور پالایش پساب لازم

Archive of SID

www.SID.ir

است گیاهان به محلول یا پساب منتقل شوند. در این تحقیق جوانه زنی *C. album* به چندین روش انجام گرفت. مثلا جوانه زنی در پتری، در شرایط قرار داشتن بذرها در آب و فضای تاریک در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد با از بین رفتن جوانه ها و عدم رویش بذرها همراه بود. بذر این گیاه فقط در شن قادر به جوانه زنی بود. پس از یک ماه آبیاری با آب دربستر شن و ماسه، گیاهان آمادگی انتقال به سیستم هایدروپونیک را داشته و به مدت یک ماه دیگر با هوگلند آبیاری می شوند تا تبدیل به گیاهچه های دو ماهه گردند که مستعد جذب سزیم است. در آزمایش مورد نظر این تحقیق گیاهان *C. album* پس از شستشو در آب مقطر به فلاسک های حاوی سزیم کلراید قرار گرفتند تا پتانسیل گیاه برای جذب مورد بررسی قرار گیرد(شکل ۲). اما اگر پالایش حجم زیادی از پساب مورد نظر باشد طراحی سیستمی برای خروج گیاهان از بستر شن ضروری است که باید در مطالعات بعدی مورد بررسی قرار گیرد. چون مدت زمان جذب ۱۴ روز پیش بینی شده است ریشه گیاهان انتخاب شده برای جذب فلز مورد نظر عمل پالایش را انجام می دهند. بر اساس نوع گونه، غلظت فلزات در گیاهان مختلف متفاوت است. جذب فلزات سنگین از خاک یا از طریق جریان آب در ریشه های گیاهی یا از طریق انتقال فعال در غشای پلاسمایی سلول های اپیدرم ریشه انجام می شود. در یک شرایط طبیعی رشد، گیاهان قادر به تجمع زیستی یون های فلزات اصلی، بسیار بیشتر از ماده احاطه کننده خود (خاک یا آب) هستند(۲۵). در آزمایشی که بر روی گیاهانی که در سایت های غیر آلوده به فلزات انجام گرفته است ۰/۳ تا ۱۸/۸ میلی گرم بر کیلوگرم سرب، ۱/۱ تا ۳۳/۱ میلی گرم بر کیلوگرم مس و ۶ تا ۱۲۶ میلی گرم بر کیلوگرم روی در گیاهان اندازه گیری شده است. این در حالی است که بالاترین غلظت های فلزی در گیاهانی که بر روی خاک های آلوده رویش یافتند، ۱۵۰۶، ۱۱۲۳ و ۷۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب برای سرب، مس و روی مشاهده شده است. افزایش pH خاک و افزایش نسبت مواد آلی ممکن است نقش محدود کنندگی در دسترسی زیستی فلزات برای گیاهان داشته باشد که منتج به جذب پایین این فلزات شده است (۲۵). شاخص غلظت فلزات در بخش های هوایی گیاهان تجمع کننده های قوی ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم و (۲۵) بالاتر بودن غلظت فلزات در بخش های هوایی نسبت به ریشه گیاهان نشان دهنده بالا بودن قابلیت حرکت فلزات در ریشه است. گیاهان یون های فلزی غیر ضروری را بیشتر در ریشه ذخیره می کنند تا در بخش های هوایی. توانایی گیاهان در تجمع فلزات از محیط با فاکتور انتقال اندازه گیری می شود که معرف توان گیاه برای انتقال فلزات از ریشه به بخش های هوایی و عبارت است از غلظت فلز در بخش های هوایی به غلظت آن در گیاه. فرایند گیاه پالایی نیازمند انتقال فلزات به بخش های هوایی گیاه است که به راحتی قابلیت درو کردن دارند. با مقایسه فاکتور های انتقال می توان توانایی گیاهان مختلف را در جذب فلزات با یکدیگر مقایسه نمود. گیاهان مقاوم، انتقال فلزات را از محیط به ریشه و از ریشه به بخش های هوایی محدود می کنند، در مقابل تجمع کننده های قوی به طور فعال فلزات را جذب و در بیوماس بالای سطح زمین (بخش هـای هـوایی) ذخیـره می نمایند. گیاهانی که فاکتور انتقال کمتر از ۱ دارند گزینه های مناسبی برای گیاه پالایی نیستند. در *C. album* فاکتور انتقال سزیم بیشتر از یک (به ترتیب ۱/۶، ۱/۱۹ و ۳/۳۳ در سه غلظت مورد آزمایش) است و این گیاه گزینه مناسبی برای گیاه پالایی تلقی می شود. اما به دلیل تجمع کمتر از ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سزیم در بخش های هوایی از دسته گیاهان تجمع کننده قوی به شمار نمی رود. رفتار گیاهان در جذب چند فلز با رفتار آن ها در انتقال همان فلزات متفاوت است(۲۵). ساز و کارهایی هایی از قبیل جلوگیری از ورود به ریشه در فرایند جذب تعیین کننده است و در فرایند انتقال، انتقال دهنده ها و ساز و کارهای های انتقال نقش تعیین کنندگی دارد. حد مسمومیت گیاهی نسبت به سزیم ۲۰۰ میکرومول گزارش شده است و گیاهان در محلول سزیم با غلظت های بالاتر از این حد نیز (بدون عناصر غذایی) در طول دوره آزمایش زنده مانده اند. در دو غلظت ۰/۵ و ۲ میلی گرم بر لیتر سزیم کلراید گیاهان سالم و در غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر

Archive of SID

www.SID.ir

برگ های گیاه خشک گردیده است. محدود ساختن حرکت صعودی فلز از ریشه به برگ ها می تواند یکی از این ساز و کار ها تلقی شود. به همین دلیل در گونه گیاهی مورد آزمایش این تحقیق در دو غلظت اول انتقال سزیم به بخش های هوایی کمتر و گیاه علائمی از مسمومیت ندارد ولی در بالاترین غلظت انتقال سزیم به بخش های هوایی زیاد و در پایان دوره آزمایش اثراتی از خشکی در برگ های گیاه مشاهده گردیده است (شکل ۱). این نتایج می تواند نمایانگر این موضوع باشد که گیاهانی که بر روی سایت های آلوده به این فلز زندگی می کنند نسبتا به آن مقاومند و در غلظت های پایین تر، فلزات را کمتر به بخش های هوایی منتقل نمی کنند.(۲۶). بالاترین شاخص بردباری محاسبه شده برای سزیم ۴/۲ ± ۴۱٪ است که نشان می دهد بردباری این گیاه به سزیم کمتر از ۵۰٪ و رویش گیاه در دوره های زمانی طولانی محلول های آلوده به سزیم منجر به مسمومیت گیاهی خواهد شد.

شکل۲- جذب سزیم از محلول سزیم کلراید توسط *C. album* در ۱۴ روز

از سوی دیگر تفاوت آشکاری در میان گونه های گیاهی از نظر حد بردباری و تجمع فلزات وجود دارد. بنابراین در مراحل مقدماتی مطالعات گیاه پالایی غربالگری گونه های گیاهی از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا گیاهان متعلق به یک خانواده نیز گاهی در جذب و تجمع فلزات رفتارهای متفاوتی از خود نشان می دهند یا یک گونه گیاهی فلزی را جذب و در ریشه ها محبوس می نمایند و در نتیجه امکان جداسازی بخش های هوایی گیاه به منظور دفع بیوماس آلوده از آن سلب می گردد. در غربالگری گونه های گیاهی به منظور جذب آلاینده ها، قدرت و بردباری گونه گیاهی مورد نظر، انعطاف پذیری در طول چرخه حیات و ویژگی های گیاهی، توزیع و جغرافیای زیستی گونه مورد نظر، اندازه بذرها، امکان تکثیر و مسیرهای فتوسنتز به عنوان معیارهای اصلی غربالگری گیاهان برای گیاه پالایی مورد استفاده قرار می گیرد. در پالایش زیستی همچنین، علاوه بر انتخاب موجود زنده مورد استفاده در عملیات پالایش، امکان سنجی پرورش آن، طراحی سیستم پالایش و به کار گیری موجودات زنده تا پایان عملیات پالایش و مدیریت بیوماس آلوده لازم است با صرف کمترین زمان و هزینه انجام شود. لازم به ذکر است در مطالعات قبلی گیاه *C. alata* بیشترین کارایی جذب Cs را برابر ۵۲/۱ ٪ از محلول CsCl با غلظت ۵ میلی گرم بر لیتر در زمان ۱۴ روز نشان داده است(۲۷). همچنین استفاده از یک گونه گیاهی در پالایش زیستی مستلزم کنترل شرایط زیست محیطی و فراهم نمودن این شرایط در کلیه مراحل جذب است. بنابراین برای استفاده صنعتی از گیاهان به منظور پالایش زیستی مرحله اول که مرحله رشد گیاهان تا زمان مورد نظر می باشد نیازمند انتخاب دقیق گیاهان و پیش بینی مقاومت گیاهان در مقابل تغییرشرایط اکولوژیکی یا ثابت نگهداشتن پارامترهای زیست محیطی و مرحله بعد تعیین پتانسیل جذب و طراحی سیستم پالایش می باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین کارایی جذب از محلول ها در کمترین غلظت سزیم (۰/۵ میلی گرم بر لیتر) به دست آمده است . در این تحقیق توان پالایش سزیم با افزایش غلظت سزیم کلراید تا ۲ میلی گرم برلیتر کاهش یافته است. با افزایش غلظت سزیم کلراید تا ۵ میلی گرم بر لیتر دوباره توان پالایش گیاه افزایش می یابد. گیاه قادر به تجمع سزیم در بخش های هوایی است و با افزایش غلظت محلول، غلظت سزیم در گیاه نیز افزایش می یابد. آن چه در مورد این گیاه در مطالعات قبلی به دست آمده است نشان می دهد که این گیاه *C.album* فلزات سنگین را در ریشه تجمع می نماید و از انتقال آن به برگ ها خودداری می کند(۲۸) ولی در مورد سزیم مشاهده می شود که با افزایش غلظت سزیم محلول، انتقال آن به برگ های این گیاه نیز افـزایش می یابد. لازم به یادآوری است ساز و کار انتقال سزیم در گیاه شبیه

Archive of SID

www.SID.ir

پتاسیم است(29) کانال پتاسیم پالایش درونی با Km= 3-19 mM محصور با Cs^+ ، Ca^+ و تترا اتیلن آمونیوم کلراید[۵]، کانال های کاتیونی غیر حساس به ولتاژ[۲] مسدود شده توسط Ca^{2+} و غیر حساس به تترا اتیلن آمونیوم، ناقل همزمان K^+- H^+ با Km= 4-35 µm، اشباع شده در K^+ ۳۰۰µm که به صورت قابل رقابتی توسط NH^{4+} و دیگر یون های مونووالان محصور شده است، کانال های پتاسیم وابسته به ولتاژ که نفوذ Cs^+ را به اپوپلاست سلول تسهیل کـرده و توسـط Al^+، تترا اتیلن آمونیوم، وراپامیل، دیلتیازم و روتنیوم قرمز محصور شده است و در نهایت کانال های کاتیونی پالایش کننده خارجی[۳] که نفوذ Cs^+ را به آوندهای آبکش تسهیل کرده و توسط تترااتیلن آمونیوم محصور شده است و به Ca^{2+}، Cs^+ و کینین غیر حساس است، از کانال های انتقال سزیم در گیاهان به شمـار می رود. (۳۰). بنابراین *Chenopodium album* گزینه مناسبی برای گیاه پالایی پساب رادیو اکتیو به کار می رود.

منابع

1. Salt, D., Smith, R.D., Raskin, I., 1998. Phytoremediation. Ann. Rev. plant Physio. Mol. Biol. 49, 643-648.
2. Eapen, S., Singh, S., Thorat, V., Kaushik, C.P., Raj, K., D'Souza, S.F., 2006. Phytoremediation of radiostrontium (^{90}Sr) and radiocesium (^{137}Cs) using giant milky weed (*Calotropis gigantea R. Br.)* plants. Chemosphere 65, 2071–2073.
3. Singh S., Eapen S., Thorat V., Kaushik C.P., Raj K., D'Souza S.F., 2008. Phytoremediation of ^{137}cesium and ^{90}strontium from solutions and low-level nuclear waste by *Vetiveria zizanoides*, Ecotoxicology and Environmental Safety 69, 306–311.
4. Chakraborty D., Maji S., Bandyopadhyay A., Basu S., 2007. Biosorption of Cesium-137 and strontium-90by mucilaginous seeds of *Ocimum basilicum*, Bioresource Technology 98, 2949-2952.
5. Mun Ho W., Hoe Ang L., and Lee D., 2008. Assessment of Pb uptake, translocation and immobilization in kenaf *(Hibiscus cannabinus L.)* for phytoremediation of sand tailings, Journal of environmental Sciences 20, 1341-1347.
6. Audet P., and Charest C., 2007. Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: Meta-analytical and conceptual perspectives, Environmental Pollution 147, 604-614.
7. Mant C., Costa S., Williams J., Tambourgi E., Phytoremediation of chromium by model constructed wetland, 2006. Bioresource Technology, 97, 1767-1772.
8. Eapen S., Suseelan K.N., Tivarekar S., Kotwal S.A. and Mitra R., 2003. Potential for rhyzofiltration of uranium using hairy root cultures of *Brassica juncea* and *Chenopodium amaranticolor,* Environmental Research 91, 127-133.
9. Willey N. J., Tang S., Watt Nicholas R., 2005. Predicting Inter – Taxa Differences in Plant Uptake of Cesium-134/137, Journal of Environmental Quality 34, 1478-1489.
10. Cook, L.L., Inouye, R.S., McGounigle, T.P. and White, G.J., 2007. The distribution of stable cesium in soils and plants of the eastern Snake River Plain in southern

1- KIRC: inward-rectifying K channel
2- VICC: voltage insensitive cation channel
3- KORC: outward-rectifying cation cannel

Archive of SID

www.SID.ir

Idaho, Journal of Arid Environments 69, 40–64.

11. Pivetz Bruce E., 1998. Ground Water Issue, Phytoremediation of Contaminated Soil and Ground Water at Hazardous Waste Sites. EPA/540/s-01/500.
12. Faure, G., 1998. Principles and applications of geochemistry. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 600 pp.
13. Kabata-Pendias, A., Pendias, H., 1984. Trace Elements in Soils and Plants. CRC Pr, Boca Raton, FL, 315 pp.
14. White, P.J., Broadley, M.R., 2000. Mechanisms of caesium uptake by plants. Tinsley Review No. 113.New Phytology 147, 241–256.
15. Menzel, R.G., 1965. Soil-plant relationships of radioactive elements. Health Physics 11, 1325–1332.
16. Resnik, M.C., Lunt, O.R., Wallace, A., 1969. Cs, K, Sr and Ca transport in two different plant species. Soil Science 108, 64–73.
17. Staunton, S., 1997. Considerations on the mechanisms which determine the fate of radiocesium in soil. Analusis Magazine 25, 24–28.
18. Delvaux, B., Kruyts, N., Maes, E., Smolders, E., 2001. Fate of radiocesium in soil and rhizosphere. In: Gobran, G.R., Wenzel, W.W., Lombi, E. (Eds.), Trace Elements in the Rhizosphere. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 61–91.
19. Banerjee, D., Rao, M. A., Gabriel, J., Samanta, S.K., 2008. Recovery of purified radiocesium from acidic solution using ammonium molybdophosphate and resorcinol formaldehyde polycondensate resin, De salination 232, 172–180.
20. Janssen Martien P. M., Glastra P., Lembrechts Johan F. M., 1995. Uptake of ^{134}cesium by the Earthworm Species Eisenia Foetida and Lumbricus Rubellus, Environmental Toxicology and Chemistry, PP. 837-877.

۲۱.کمیته ملی زیست فن آوری، ۱۳۸۳. بیانیه زیست فن آوری سبز، جمهوری اسلامی ایران، مرکز ملی تحقیقات مهندسی ژنتیک و زیست فن آوری.

۲۲.قهرمان ا.، ۱۳۸۳. فلور رنگی ایران، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، تهران، ایران.

23. Shu W.S., Ye Z.H., Lan C.Y., Zhang Z.Q., Wong M.H., 2003. Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum distichum* and *Cynodon dactylon*, Environmental Pollution 120, 445–453.

۲۴. کرباسی ع.، منوری س.م.، موگویی ر.،۱۳۸۷. مدیریت زیست محیطی آبزی پروری در منطقه سراب گردو، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۰(۱)، ۱۵۹-۱۶۹.

25. Yoon Y., Cao X., Qixing Zhou Q., Ma L.Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site, Science of the Total Environment 368, 456–464.
26. Verkleij J., Schat H., 1990. Mechanisms of metal tolerance in plants. Heavy metal tolerance in plants-evolutionary aspects. CRC press; p. 179–93.
27. Mehdi Borghei · Reza Arjmandi, Roxana Moogouei, Potential of *Calendula alata* for phytoremediation of stable cesium and lead from

Archive of SID

www.SID.ir

solutions, Environ Monit Assess 181:63-68.

28. Del Rio-Celestino M., Font R. Moreno-Rojas R., De Haro-Bailon A., 2006. Uptake of lead and zinc by wild plants growing on contaminated soils Industrial Crops and Products 24, 230-237.
29. Gogmmers A., Thiry Y., Devaux B., 2005. Rhizospheric Mobilization and Plant Uptake of Radiocesium from Weathered Micas: I. Influence of Potassium Depletion, Journal of Environmental Quality 34, 2167-2173.
30. Bystrzejewska-piotrowska, G. and Bazala, M. A., 2008. A study of mechanisms responsible for incorporation of cesium and radiocesium into fruitbodies of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*), Journal of Environmental Radioactiv., 99, 1185-1191.

Archive of SID

www.SID.ir