



## عوامل موثر بر گیاه پالائی کادمیوم از خاکهای آلوده

علی کسرائیان<sup>1</sup>، حمید رضا اولیائی<sup>2</sup>، هادی عبدالعظیمی<sup>1</sup>

1- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، 2 - عضو هیات علمی دانشگاه یاسوج

### چکیده

کادمیوم عنصر فلزی و سنگینی است که در خاک به غلظت کمی بیشتر از یک میلی گرم در کیلوگرم یافت می شود این عنصر نه تنها برای موجودات زنده ضروری نمی باشد بلکه سمیت آن 2-20 برابر بیشتر از بقیه عناصر سنگین است از این رو کادمیوم بعنوان یکی از آلوده کننده های مهم محیط زیست شناخته می شود. ذوب فلزات، استفاده از کودها و کاربرد لجن فاضلابها در کشاورزی مهمترین عواملی هستند که سبب افزایش این عنصر سنگین در خاکها کشاورزی شده است. از آنجا که کادمیوم موجود در خاک قابل استفاده برای گیاه می باشد بطبع سایر موجودات و بخصوص انسان نیز می توانند با کادمیوم آلوده شوند، لذا کادمیوم در طبیعت بعنوان عاملی خطرناک برای سلامتی شناخته می شود. چون کادمیوم اثرات حادی بر سلامتی موجودات زنده دارد و چون این عنصر براحتی توسط گیاهان زارعی و علوفه ای آلوده وارد چرخه زندگی انسان و دیگر موجودات می شود مطالعات زیادی در راستای پاکسازی و کاهش قابلیت استفاده این عنصر در خاکها صورت گرفته تا که خطر آلودگی زنجیره غذایی بوسیله کادمیوم کم شود. روش معمول برای پاکسازی و یا احیای مناطق آلوده با عناصر سنگین همانند کادمیوم صورت می گیرد اغلب شامل خاکبرداری و انتقال خاکهای آلوده از منطقه می باشد. روش دیگر پوشاندن منطقه آلوده با یک خاک غیر قابل نفوذ و یا لایه ای از بتون می باشد تا به این ترتیب امکان آیشویی از خاک آلوده و آلودگی آبهای زیرزمینی توسط باران از بین رفته و از تماس دیگر موجودات به منطقه آلوده جلوگیری می شود. یکی از روشهای جدید احیای زمینهای آلوده بنام گیاه پالایی (Phytoremediation) که در آن از گیاه برای پاکسازی خاک، هوا و یا آب استفاده می شود. درجه تاثیر تکنولوژی احیایی زیستی هنوز در حال مطالعه می باشد و تا حال نتایج رضایت بخشی داشته است. در گیاه پالائی، گیاهان می توانند کادمیوم را از خاک استخراج نموده و از طریق آوند چوبی به سمت قسمت های هوایی و برگها انتقال داده و در آنجا جمع کنند.

واژه های کلیدی: گیاه پالایی، کادمیوم، خاکهای آلوده

### مقدمه

امروزه توجه دانشمندان به محیط زیست بیشتر از گذشته شده است چرا که حیات در حقیقت رابطه نزدیکی با شرایط محیط زیست دارد. یکی از عوامل مخرب محیط زیست، آلودگی اجزا تشکیل دهنده آن یعنی آب، هوا و خاک است. در بین این سه جزء، خاک به دلیل شرایط و پیچیدگی خاص خود توجه زیادی از دانشمندان محیط زیست و خاکشناس را به خود جلب کرده است.

در بین کلیه اجزا اکوسیستم، آلودگی خاکها از این جهت مورد توجه می باشد که این آلودگی بر سلامت انسان و حیوان تاثیر گذاشته می تواند، رشد گیاه را کاهش دهد و علاوه بر آن بر موجودات زنده ریزخاک نیز تاثیر گذارد (McGrath et al. 2001). از طرف دیگر، امروزه به دلیل فعالیتهای صنعتی روز افزون، مناطق آلوده بتدریج در حال افزایش می باشند. در آمار رسمی 1400000 منطقه آلوده فقط در اروپای غربی شناخته شده است (McGrath et al.)



(al. 2001). منابع این آلودگی که بیشتر ناشی از فلزات سنگینی مانند روی، کادمیم، سرب و مس است ناشی از لجن فاضلابها، کمپوست شهری، سموم دفع آفات، کودها، کوره های زباله سوزی، آگروز ماشین ها و بقایای معادن فلزی و همچنین صنایع ذوب فلز می باشد (McGrath et al. 2001).

علی رغم تنوع در عوامل آلوده کننده خاک، فلزات سنگین به دلیل فعالیتهای صنعتی بشر و بقای طولانی آنها در خاک مورد توجه زیادی قرار گرفته است چرا که زمان باقی ماندن این فلزات در خاک بسیار زیاد بوده و حتی هزاران سال تخمین زده می شود (McGrath et al. 2001). این طول زمان، باعث تاثیر این دسته از آلوده کننده ها در طولانی مدت بر اکوسیستم، کشاورزی منطقه، و نهایتا سلامت نسل های بشر می شود.

در بین فلزات سنگین کادمیم از همه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است و این به دلیل سمیت بسیار زیاد این عنصر برای انسان می باشد (Khoshgoftar et al. 2004). بعلاوه کادمیم خطرناک ترین عنصر سنگینی است که گسترش آن در خاکهای کشاورزی در حال افزایش می باشد (Khoshgoftar et al. 2004). حتی مقدار کم این عنصر در جیره غذایی انسان می تواند بسیار خطرناک بوده باشد. این عنصر اصولا در قشر خارجی کلیه تجمع یافته و سبب عوارض کلیوی و کبدی در انسان می گردد.

کادمیم از راههای مختلف به خاک و محیط زیست افزوده می شود (Maftoun et al. 2004). از جمله منابع این فلز سنگین می توان به اضافه کردن مواد فاضلابی به خاکها، پسمانهای شهری و صنعتی، کودهای فسفره، سموم دفع آفات و ترسیب از منابع صنعتی اشاره نمود (Maftoun et al. 2004). از مهمترین منابع تامین کادمیم در زمینهای کشاورزی، کودهای فسفره می باشد (ملکوتی و همکاران، 1379). کودهای فسفره معدنی حاوی مقادیر متفاوتی از کادمیم است که بتدریج سبب تجمع این عنصر در خاکهای منطقه و آلودگی این فلز سنگین برای محیط زیست می شود. کادمیم چه ناشی از فرآیندهای پدولوژیکی و چه از فعالیتهای انسانی در شکلهای مختلفی همانند حل شده در محلول خاک، اکسیدی، کربناتی، جذب شده توسط کلوئیدها، آلی و باقی مانده یافت می شود (Maftoun et al. 2004).

ورود کادمیم به چرخه زندگی انسان بیشتر از طریق گیاه صورت می گیرد. گیاهان با جذب کادمیم از خاک این عنصر سمی را مهبیای ورود به زندگی جانوران و انسان می کند. شکل کادمیم در قابلیت استفاده بودن این عنصر برای گیاه نقش اساسی دارد. ریشه گیاهان عناصر را از محلول خاک جذب می نماید بنابراین غلظت در محلول هر عنصر رابطه نزدیکی با میزان جذب آن عنصر توسط گیاه دارد. اگر خاک این توانایی را داشته باشد که قسمت محلول یک عنصر غذایی را تامین نماید در حقیقت قابلیت استفاده آن عنصر در خاک ثابت نگاه داشته می شود. در مطالعه ای نشان داده شده است که کاهش مقدار محلول کادمیم در خاک در حقیقت 50٪ کاهش جذب این عنصر را توسط گیاه توضیح می دهد (McGrath et al. 2001). به عبارت دیگر کاهش این شکل کادمیم سبب کاهش جذب این عنصر توسط گیاه می شود. بعلاوه، قابلیت استفاده و آبشویی کادمیم در خاک بستگی به فعالیت کادمیم در محلول خاک دارد (Maftoun et al. 2004). بنابراین واضح است مهمترین منبعی از شکل های کادمیم که با جذب این عنصر توسط گیاه و یا آبشویی آن در رابطه است شکل محلول آن می باشد. خصوصیات از خاک که بر قابلیت استفاده کادمیم و حلالیت این عنصر و جذب آن توسط ریشه گیاه تاثیر می گذارد عبارتند از شکل فلز در خاک، pH هاش، مقدار ماده آلی، مقدار رس خاک، غلظت روی و دیگر کاتیونها، لیگاندهای کمپلکسی و عملیات کشاورزی نیز از جمله این عوامل می باشند (Khoshgoftar et al. 2004).



امروزه تجمع عناصر آلوده کننده در خاکها نگرانی و دغدغه اصلی بسیاری از محققان در زمینه های مختلف شده و اصلاح و بازپروری اراضی آلوده بسیار مورد توجه قرار گرفته است. برای پاکسازی فلزات سنگین از خاک روش های متعددی از جمله روش های فیزیکوشیمیایی پیشنهاد گردیده که این روشها معمولا بسیار گران و در ابعاد زمینهای کشاورزی مقرون به صرفه نمی باشد (McGrath et al. 2001).

یکی دیگر از روشهای عملی پیشنهادی برای بازپروری زمین های آلوده، استفاده از گیاهانی است که عناصر سنگین را در غلظت زیاد جذب نموده و سبب کاهش غلظت این عناصر و رساندن آن به زیر حد بحرانی در خاک می شود. این روش که گیاه پالائی یا Phytoremediation نامیده می شود، روشی ساده و ارزان قیمت و متناسب با محیط برای جدا سازی فلزات سنگین می باشد (McGrath et al. 2001). در این روش از گیاهانی بعنوان جذب کننده عناصر سنگین از محلول خاک استفاده می نمایند و با کشت مداوم این گیاهان در منطقه آلوده به تدریج سطح آلودگی این خاکها را حد کاهش می دهند. افزایش بهره وری در این روش به افزایش جذب بیشتر عناصر سنگین از خاک بستگی داشته، به عبارتی دیگر اگر بتوان راندمان جذب عناصر سنگین را توسط گیاه در این خاکها افزایش داد در حقیقت بهره وری این روش را افزایش داده ایم و با هزینه و وقت کمتری خاکهای آلوده را بازیافت نموده ایم. روشهای متعددی با استفاده از تمرکز بر افزایش بهره وری و جذب عناصر سنگین از خاک پیشنهاد شده است.

### گیاه پالایی

گیاهان می توانند کادمیوم را همانند سایر عناصر غذایی از خاک استخراج نموده و از طریق آوند چوبی به سمت قسمت های هوایی و برگها انتقال ، و در آنجا جمع کنند (Blaylock et al. 1997). نشان داده شده است که آلودگی به این ترتیب می تواند از منطقه با برداشت گیاه آلوده کاهش یابد. این راهبرد بنام استخراج زیستی<sup>1</sup> معروف می باشد (Chaney 1983). گاهی اوقات گیاهان به سادگی آلودگی را در خاک با روشهای مختلف غیر فعال می نمایند (تثبیت زیستی<sup>2</sup>) و این روش بعضا موثر می باشد. جنبه دیگری از گیاه پالایی بر روی توانایی گیاه در تخریب مستقیم و یا غیر مستقیم آلودگی تمرکز دارد (مانند تخریب زیستی<sup>3</sup> و تصعید زیستی<sup>4</sup>) ولیکن چون این امکان برای فلزات سنگین همانند ملکولهای آلی وجود ندارد که از بین بروند، بنابراین استخراج زیستی و تثبیت زیستی تنها راههای احیای آلودگی خاکها از کادمیوم می باشد.

### مزیت گیاه پالایی

گیاه پالایی امروزه توجه زیادی را به خود جلب کرده است و این بخاطر ساده و ارزان بودن و همچنین سازگاری با محیط زیست می باشد. کاشت گیاه در منطقه آلوده و برداشت گیاه آلوده بمراتب ارزان تر از جابجایی مقدار زیادی خاک می باشد. گیاه پالایی نه تنها تخریب کننده نیست بلکه نیازمند به ادوات سنگین برای حفر خاک نیز نمی باشد بنابراین گیاه پالایی روشی است که مورد توجه بسیار قرار گرفته است. از همه مهمتر اینکه این روش راه واقعی برای پاکسازی یک ماده می تواند باشد. برداشت خاک و انتقال خاک و آب آلوده به منطقه ای دیگری که آلودگی ها را در آنجا ذخیره می کنند می توان گفت که تنها جابجایی مسئله است بدون اینکه چیزی احیا گردد. از این رو گیاه پالایی یک روش حقیقی پاکسازی می تواند باشد.

1- Phytoextraction

2- Phytostabilization

3- Phytodegradation

4- Phytovolatilization



## محدودیت های گیاه پالایی

گیاه پالایی نیز محدودیتهای خاص خود را دارد. فرآیند پالایش خاکها به این روش بسیار کند و بطئی تر از روشهای معمول و مرسوم می باشد. هر گیاهای که کاشته و برداشت می شود در حقیقت مقدار اندکی از آلودگی در یک فصل رشد برداشت می نماید بنابراین واضح است که سالها طول می کشد که یک منطقه بمقدار قابل توجهی از مواد آلوده کننده پاک و نهایتا احیا گردد. بعلاوه، محدودیتهای ویژه ای نیز ممکن است برای رشد گیاه از جمله دما، نوع خاک و آب قابل استفاده برای رشد گیاه وجود داشته باشد که نهایتا منطقه را برای گیاه پالایی نامناسب گرداند. و در انتها لازم است که اشاره گردد تنها خاکهایی با آلودگی محدود را می توان با این روش احیا نمود چرا که در خاکهای شدیداً آلوده رشد گیاه نیز به شدت کاهش یافته و متوقف می شود.

## قابلیت استفاده کادمیوم

همانطور که قبلاً نیز بیان شد، تمام کادمیومی که در خاک وجود دارد قابل استفاده برای گیاه نمی باشد. میزان و درجه ای که یک عنصر قابل استفاده برای گیاه است را قابلیت استفاده آن می نامند و این قابلیت بوسیله فاکتورهای مختلفی کنترل می شود. این فاکتورها برای کادمیوم می توانند طوری تغییر داده شوند که قابلیت استفاده این عنصر افزایش یافته و استخراج کادمیوم توسط گیاه و پدیده Phytoextraction بخوبی صورت گیرد.

## ظرفیت تبادل کاتیونی

یکی از مهمترین فاکتورهایی که قابلیت استفاده کادمیوم را در خاک تحت کنترل دارد ظرفیت تبادل کاتیونی می باشد. ذرات رس ذرات رس خاک دارای بارالکتریکی منفی بوده و بشکل برگشت پذیری ذرات باردار مثبت (کاتیونها) را در سطح خود جذب می نماید. کاتیونی مانند کادمیوم می تواند بجای دو یون هیدروژن که بر سطح این ذرات جانشین گردد. کاتیونهایی که به این ترتیب بر روی نقاط تبدالی کلونیدهای خاک قرار می گیرند نه قابل استفاده برای گیاهان هستند و نه اینکه آبشویی می شوند. برعکس کاتیونهای که بر روی نقاط تبدالی کلونیدهای قرار نگرفته اند می توانند به راحتی بوسیله گیاهان جذب گردند (Moore et al. 1995) ذرات فلزات سنگین با قدرتهای مختلفی توسط کلونیدهای خاک جذب می گردند و تفاوت جذب آنها بر روی کلونیدهای خاک 21٪ می باشد (Atanassova 1999). قدرت جذب مس بیشتر از روی و روی بیشتر از نیکل یا کادمیوم می باشد (Atanassova 1999). بنابراین ترکیب کانی شناسی خاک بسته به حضور دیگر فلزات تغییر می کند. برای مثال خاکی که دارای مقدار زیادی مس باشد مقدار کادمیوم قابل استفاده آن بیشتر خواهد بود چرا که مس اجازه جذب کادمیوم را بر روی نقاط تبدالی کلونیدهای خاک نمی دهد (Atanassova 1999).

به علاوه، ظرفیت تبادل کاتیونی در بین خاکهای مختلف متفاوت بوده و به درصد حضور رس در نمونه خاک بستگی دارد. چون ذرات رس خاک این خصوصیت جذب کاتیونها را دارد. بنابراین خاکهایی که حاوی مقدار زیادی شن و سیلت بوده باشد از نظر ظرفیت تبادل کاتیونی ضعیف می باشند. خاکهای شنی مقدار بیشتری کاتیون قابل استفاده تا دیگر خاکها دارند ولیکن این کاتیونها قبل از اینکه جذب گیاهان شوند در معرض آبشویی قرار گرفته و از دسترس گیاه خارج می شوند. از این رو برای کاهش پویایی و قابلیت استفاده کاتیون ها می توان رس به خاک اضافه نمود. (Vangronsveld 1990). در رابطه با بهبود پدیده Phytoextraction کادمیوم از خاک ها، بایست قابلیت استفاده کادمیوم را در خاک افزایش داد. برای این منظور بایست تا آنجا که مقدور است ظرفیت تبدالی را کاهش



داده تا به این ترتیب مقدار زیادی از کادمیوم توسط گیاه جذب گردد. البته این افزایش قابلیت استفاده بایست به آن حد نرسد که سبب ایجاد سمیت در گیاه گردد. چندین راهکار برای افزایش قابلیت استفاده کادمیوم در خاک از طریق تغییر در ظرفیت تبادل کاتیونی خاک وجود دارد.

### پ هاش

پ هاش بیان غلظت یون هیدروژن در یک ماده مانند خاک است. اندازه گیری پ هاش در مقیاس لگاریتمی صورت میگیرد و افزایش هر یک واحد پ هاش معادل کاهش 10 مرتبه غلظت هیدروژن می باشد. پ هاش یک به معنی اسیدیته شدید است چرا که غلظت یون هیدروژن در آن بسیار زیاد می باشد در حالیکه پ هاش 13 معنی شرایط بازی شدید را می دهد چرا که در این پ هاش تقریباً هیچ یون هیدروژن آزادی یافت نمی شود. پ هاش بشدت بر روی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اثر داشته و سبب کاهش تعداد نقاط تبدالی بر روی کلونیدهای خاک می شود. پیوند هیدروژن با ذرات خاک بسیار محکم تر از بقیه کاتیونهای می بوده و از این رو خیلی از فلزاتی که بر روی نقاط تبدالی خاک قرار گرفته اند در حضور مقدار زیاد هیدروژن از روی این نقاط آزاد می شوند (Garcia - Miragaya and Page, 1978). در پ هاش های کمتر از 6، غلظت یون هیدروژن به اندازه کافی زیاد است که بجای دیگر کاتیونها بر روی نقاط تبدالی کلونیدها قرار گرفته و به این ترتیب قابلیت استفاده این کاتیونها در خاک افزایش می یابد. در پ هاش های بیشتر از 7 این مسئله دیده نمی شود چرا که غلظت یون هیدروژن چنان کم است که امکان رقابت با کاتیونهای فلزی بر روی نقاط تبدالی وجود ندارد. خیلی از کاتیونها با گروههای آزاد هیدروکسیل خاک واکنش داده و شکل غیر محلول هیدوکسیل این فلزات را بوجود می آورد که در این صورت این فلزات برای گیاهان قابل استفاده نمی باشند همانند کربنات کلادمیوم (Salisbury and Ross 1992; Ramachandran 1999). گیاهان همیشه سبز در خاکهای آهکی به دلیل کمبود آهن زرد رنگ می شوند و در مقابل خیلی از گیاهان به سمیت آلومینیوم در خاکهای اسیدی روبرو می باشند.

کاهش پ هاش سبب افزایش قابلیت استفاده کادمیوم در خاکها شده و به این ترتیب میزان جذب کادمیوم توسط گیاهان افزایش می یابد مگر اینکه این عنصر سبب ایجاد سمیت در گیاهان شود. در پ هاش 5/5-4/5 بیشترین مقدار پویایی کادمیوم را در خاکها حاصل می شود (Bingham 1980). بنابراین، تغییر پ هاش خاک با اضافه کردن مواد اسیدی یک راه منطقی برای افزایش قابلیت استفاده کادمیوم در خاک ها می باشد. این راهکار بطور طبیعی توسط گیاهان با ترشح اسیدهای آلی برای استخراج مواد غذایی از خاک مورد استفاده قرار می گیرد (Salisbury and Ross 1992).

### مواد اصلاحی خاک

اضافه کردن شن به خاک سبب کاهش کلی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک می شود و این به دلیل عدم توانایی شن در جذب کاتیونها می باشد. ولی اشکالی که به این روش گرفته می شود این است که ظرفیت تبادل کاتیونی ذرات رس خاک هنوز وجود داشته و از بین نمی رود و در کل تاثیر کمی بر روی قابلیت استفاده فلزات دارد. مواد آلی نیز به خاک اضافه می شود تا پ هاش خاک کاهش یابد. این روش بنظر می رسد که روش مناسبی بوده باشد ولیکن اثر منفی آن تمایل زیادی کادمیوم به جذب بر روی مواد آلی می باشد (Street 1977). از این رو، عملاً



اضافه کردن ماده آلی سبب کاهش قابلیت استفاده کادمیوم در خاک می شود و این علی رغم اثر اضافه کردن این ماده در کاهش پ هاش خاک می باشد.

### اثر رقابت کاتیونهای دیگر

چون مس و روی دو عنصری هستند که بصورت ترجیحی بوسیله ذرات خاک جذب می شوند بنابراین مقدار روی و مس یک مزیتی است برای آزاد سازی کادمیوم از روی ذرات خاک و عبارت دیگر افزایش قابلیت استفاده این عنصر در خاک می باشد.

اضافه شدن کلسیم به خاک سبب کاهش قابلیت استفاده کادمیوم شده چرا که کلسیم نه تنها سبب افزایش پ هاش شده بلکه با ایجاد رقابت با کادمیوم برای نقاط جذب ریشه گیاه سبب کاهش جذب این عنصر می شود. منگنز نیز با کادمیوم برای جذب توسط گیاه رقابت داشته (Kabata-Pendius and Pendius 1992). بعلاوه، نشان داده شده است که اثر بر روی متابولیسم گیاه می تواند بوسیله منگنز خاک وارونه گردد (Clijsters and Van assche 1985).

به دلیل تشابهی که بین روی و کادمیوم وجود دارد اثر رقابتی شدیدی برای جذب این دو عنصر در گیاه مشاهده می شود. Lombi و همکاران در سال 1999 نشان دادند که کادمیوم و روی بطور مستقل توسط گیاه جذب می شود و آنها چنین پیشنهاد کردند که فرآیندهای مختلفی برای جذب این عناصر توسط گیاه وجود دارد.

### کودها

Lorenz در سال 1994 نشان داد که یون آمونیوم بر قابلیت استفاده کادمیوم اثر می گذارد و این به دلیل کاهش واکنش خاک در اثر تفکیک یون هیدروژن از نیتروژنی می باشد. Lorenz در آزمایشهای خود نشان داد که بین پتاسیم و قابلیت استفاده کادمیوم رابطه معنی وجود دارد ولیکن دلیل این رابطه هنوز بخوبی شناخته نشده است

### میکوریزا

در همزیستی بین قارچ میکوریزا و ریشه گیاهان هر دو جز سود برده و در این میان گیاهان عناصر غذایی ضروری مورد نیاز خود را که ممکن است غلظت آن در خاک خیلی کم بوده باشد را بواسطه این قارچها بدست می آورد. شواهدی در دست است که نشان می دهد این دسته از قارچها میزان جذب کادمیوم را در خاک افزایش می دهند اما این افزایش به غلظت اولیه کادمیم و همچنین پ هاش بستگی دارد. Guo در سال 1996 نشان داد که این قارچها جذب کادمیوم را تا 37٪ در لوبیا و 41٪ در ذرت افزایش می دهد. El-Kherbawy و همکاران در سال 1989 نشان دادند که اینگونه قارچها جذب کادمیوم را در پ هاش 7/2 افزایش داده ولیکن در پ هاش 6/7-6 میزان جذب کادمیوم را کاهش پیدا می کند و این درحالی است که در این پ هاش مقدار قابل استفاده کادمیوم بیشتر می باشد. تحقیقات Heggo و همکارانش در سال 1990 نشان دادند که قارچهای میکوریزا جذب کادمیوم را درسویا زمانی که غلظت این عنصر در خاک کم بوده باشد افزایش می دهد اما زمانی که غلظت این عنصر در خاک زیاد بوده د مقدار جذب کاهش پیدا کرده است. حقیقت این فرآیند کاملا شناخته شده نیست ولیکن مشخصا این دسته از قارچها قدرت استخراج عناصر از خاک را افزایش می دهند.

### کلاته کننده ها



کاتیونهای عناصر سنگین حتی در تحت شرایط بهینه خاک و کمی پ هاش و ماده آلی ، اصولا به مقدار زیاد با ذرات خاک پیوند داشته و این به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی این ذرات می باشد. تمایل زیاد این کاتیونها به تشکیل پیوند سبب شده که در گیاهان آوند دار بخصوص در سلولهای آوند چوبی با بار منفی حرکت این عناصر به کندی و تاخیر صورت گیرد . راه حل کلی برای این مسئله مواد کلاته کننده هستند که این مواد با تشکیل پیوند با کاتیونها ، بار الکتریکی آنها را خنثی کرده و این بدینوسیله به راحتی مسیر خود را در خاک و در بافت گیاه طی می نمایند. مواد کلاته کننده زیادی چه طبیعی و مصنوعی شناخته شده است که می توانند براحتی با کاتیونهای فلزی ترکیب شده و سبب افزایش تحرک این کاتیونها در مواد مختلف شوند. از این مواد می توان به EDTA و ترکیبات کلاته کننده گیاهی اشاره نمود.

### مواد کلاته کننده گیاهی

مواد کلاته کننده گیاهی می توانند با کاتیونها بخصوص کادمیوم کمپلکس تشکیل داده و به این ترتیب از خطر این عنصر در گیاه کاسته می شود (Weigel and Jager 1980). این موضوع در تحقیقاتی که بر روی گوجه فرنگی صورت گرفت نشان داد که بین مواد کلاته کننده گیاهی و مقاومت سلولهای گوجه فرنگی به کادمیوم رابطه معنی داری وجود دارد. این مواد نقش حیاتی در سمیت زدائی گیاه *A. thaliana* به کادمیوم دارد (Howden et al. 1995). سرنوشت نهایی کمپلکسهای کادمیوم و کلاته کننده های گیاهی انتقال فعال به واکوئل سلولهای ریشه می باشد.

### نقش گوگرد

گلوکاتایون ماده است که برای پایداری کمپلکسهای از طریق پیوندهای سولفیدی اهمیت دارد. این ماده در حقیقت ترکیبی گوگرد دار است. تحقیقات نشان داده که پایداری کمپلکسهای حاصل از ترکیبات کلاته کننده گیاهی با کادمیوم ، یون گوگرد اضافی زمانی که کمپلکس در واکوئل است سبب افزایش پایداری آن می شود (Ortiz et al. 1992). گزارشات متعدد حاکی از آن است که نمکهای گوگردی میزان جذب کادمیوم و مقاومت گیاه به این عنصر را بسبب افزایش جذب گوگرد افزایش می دهد. چرا که گوگرد جذب شده سبب افزایش تولید گلوکاتایون وبالطبع مواد کلاته کننده گیاهی می شود و به این ترتیب کادمیوم بیشتری بصورت کمپلکس در آمده و سمیت این عنصر کمتر و به این ترتیب مقدار بیشتری از این عنصر جذب گیاه می شود (Strasdeit et al. 1991)

### اسیدهای آلی

سیتریک و مالیک اسید دو ترکیبی هستند که با عناصر سنگین در ریشه گیاهان کمپلکس تشکیل می دهند. این اسیدها بعد از ازدست دادن یون هیدروژن مابقی ملکول که دارای بار الکتریکی منفی می باشد با فلز سنگین پیوند پیدا می کند. گیاهان با ترشح اسیدهای آلی در منطقه ریشه جذب عناصر فلزی غیر قابل استفاده را افزایش می دهند. اسیدهای مشابه ای وقتی که کمپلکس اسید و کادمیوم به سلولهای گیاهی رسید آنها را صدمه دیدن حفاظت می کنند. کمپلکس اسید سیتریک و فلزات مشاهده شده که در طول آوندها جابجا می شود (Senden et al. 1990). بنابراین اگر بتوان بطور ژنتیکی تغییراتی در گیاه بوجود آورد که مقدار بیشتری از مالیک و سیتریک اسید تولید نماید به این ترتیب احتمالا بهبود و افزایش فرآیند استخراج فلزات از خاک بیشتر می شود.

### EDTA / EGTA



EDTA یا اتیلن دی آمین تترا استیک اسید یک کلاته کننده مصنوعی است که می تواند ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را کاهش دهد. این ترکیب از سال 1950 برای غلبه به کمبود آهن مورد استفاده قرار گرفت و امروزه بکرات برای استخراج فلزاتی مانند سرب از خاکها توسط گیاهان مورد استفاده قرار می گیرد (Jorgenson 1993). غالباً افزایش قابلیت استفاده فلزات سنگین توسط این ترکیب کلاته کننده برای گیاه خطرناک و مرگبار می باشد. این مسئله می تواند با اضافه کردن EDTA بعد از آنکه گیاه به اندازه کافی رشد نمود مرتفع گردد. در این شرایط قابلیت استفاده فلز سنگین به مقدار زیاد افزایش می یابد و بطبع گیاه نیز قبل از آنکه از بین برود مقدار زیادی از این عنصر را از خاک جذب می نماید (Salt et al. 1998). از این طریق مقدار زیادی عنصر سنگین از خاک جذب و استخراج می شود. ترکیب مشابه دیگری بنام EGTA یا اتیلن گلیکول تترا استیک اسید نشان داده که توانایی زیادی در افزایش قابلیت استفاده کادمیوم در خاکها دارد (Blaylock et al. 1997).

### سوپر جاذب ها Hyperaccumulator

بعضی از گیاهان توانایی ویژه ای در جذب عناصر سنگین در قسمت هوایی خود دارند. گیاهان سوپر جاذب آن دسته از گیاهانی می باشند که غلظت عنصر سنگین در قسمت هوایی آن بیشتر از 100 میلی گرم در کیلوگرم برای کادمیوم، 1000 میلی گرم در کیلوگرم برای نیکل و 10000 میلی گرم در کیلوگرم برای روی بوده باشد (Baker and Brooks 1989). متأسفانه این دسته از گیاهان رشد کمی داشته و توده گیاهی انبوهی تولید نمی کنند. بنابراین مقدار عنصر سنگینی که بطور خالص این دسته از گیاهان از خاک استخراج می نمایند بیشتر از مقداری که گیاهان معمولی تجمع دهنده عناصر سنگین که مقدار توده گیاهای بیشتری تولید می کنند نمی باشد.

این خصوصیت که بعضی از گیاهان مقدار بسیار زیادی از عناصر را در خود جذب نماید در سوپر جاذب ها بسیار نادر و کمیاب است. چرا که دلیل اینکه گیاهی مقدار بسیار زیادی از یک عنصر را که هیچگونه نقش بیولوژیکی برای آن ندارد هنوز روشن نشده است. توضیحات متعددی د که در این زمینه ارائه می شود عبارت است از مقاومتی که گیاهان به عوامل بیماری زا و حشرات پیدا می کند، از طرفی روش موثر در تحمل غلظت زیاد فلزات سنگین در خاک حاصل آمدن مکانیزمی برای گیاه است تا بتواند برای عناصر غذایی کمیاب در خاک بخوبی جستجو کرده و این عناصر را بدست آورد (Kramer 2000).

یکی از گیاهان معروف در این زمینه *Thlaspi caerulescens* است. این گیاه قادر به جذب مقدار زیادی از کادمیوم می باشد بطوری که این گیاه را می توان در مناطقی که آلودگی کادمیومی دارند مانند کارخانه های ذوب فلزات مشاهده می شوند. گونه های مختلفی از این گیاه مشاهده شده که توانایی جذب عناصری مانند روی، نیکل، سرب و کادمیوم دارند (Baker and Brooks 1989).

جالب توجه است که غلظت کادمیوم در جمعیت این گیاهان در مناطق مختلف که مورد مطالعه قرار گرفته متفاوت بوده است (Baker 1994, Brown et al. 1995, Lombi et al. 1999).

یکی از موانع استفاده میزان تولید توده گیاهی است که در حین رشد آن تولید می شود. اهمیت این دسته از گیاهان به قدرت و توانایی آنها بر می گردد و ژنی که این قدرت و توانایی را در آنها سبب شده است چرا که با تغییرات ژنتیکی که در دیگر گیاهان می تواند انجام داد این توانایی را می شود در گیاهان دیگر نیز بوجود آورد.

نتیجه گیری





استخراج کادمیوم از خاک بوسیله گیاهان شاید یکی از روشهای احیا زمینهای آلوده باشد. اضافه کردن مواد کلاته کننده همچون اسیدهای آلی ، EGTA ، EDTA ، تغییرات پ هاش، کود دهی با کودهایی مانند آمونیوم ،پتاس، فسفر و استفاده بیشتر از گوگرد، میکوریزا ( ریشه قارچی) ، تغییرات ژنتیکی گیاهان سوپر جاذب بطوری که مقدار بیشتری توده گیاهای تولید کنند یا تغییرات ژنتیکی گیاهان معمولی که تمایل به جذب کادمیوم دارند همه راهکارهایی هستند که می تواند بر استخراج این دسته از فلزات از خاک کمک کرده و آن را بهبود ببخشد.

دیگر روشهایی که بیوتکنولوژی می تواند به جذب بیشتر کادمیوم از خاک کمک کند می تواند به تغییراتی مانند افزایش تولید گلوکوتائین، افزایش تولید اسید های آلی تولید بیشتر مواد کلاته کننده گیاهی و افزایش تولید مواد آنتی اکسیدانت در داخل سلول اشاره نمود.

یکی روش عملی و قابل استفاده برای پاکسازی کادمیوم از خاک استفاده از EGTA همراه با گیاهانی است که تمایل زیادی به جذب کادمیوم دارد درعین حال مقدار زیادی تولید گیاهی دارد می باشد.

## منابع

1- ملکوتی محمد جعفر، عزیز شاهرخ نیا 1379. ضرورت تغییر نگرش در مصرف کودهای فسفاته در راستای کاهش کادمیوم در مواد غذایی « بررسی طولانی مدت تغییرات فسفر در خاکهای زراعی کشور». 1379. موسسه تحقیقات خاک و آب - وزارت کشاورزی، نشریه فنی 164.

2- Atanassova I. 1999. Competitive effect of copper, zinc cadmium and nickel on ion adsorption and desorption by clay soils. *Water, Air and Soil Pollution* 113: 115-125.

3- Baker A J M, Brooks R R. 1989. Terrestrial higher plants which accumulate metallic elements- a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1: 81-126.

4- Bingham F T, Page A L, Strong J E. 1980. Yield and cadmium content of rice grain in relation to addition reates of cadmium, copper, nickel and zinc with sewage sludge and liming. *Soil Sci.* 130: 32-38.

5- Blaylock M J, Salt D E, Dushenkov S, Zaharov O, Gussman C. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environ. Sci. Tech.* 31: 860-865.

6- Busch C. 1985. Der einfluss der stickstoff- und kalumdungung sowie der kalkung auf die pflanzenverfugbarkeit und loslichkeit des cadmiums bei der dungung mit aberwaserklarschlamm. Dissertation, Bonn.

7- Chaney R L. 1983. Plant uptake of inorganic waste. In: Parr JE, Marsh PB, Klla JM, (eds.) *Land treatment of hazardous wastes*. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ. pp. 50-67.

8- Clijsters H, Van Assche F. 1985. Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynth. Res.* 7: 31-40.

9- El-Kherbawy M, Angle J S, Heggo A, Chaney R L. 1989. Soil pH, rhizobia, and vesicular-arbuscular mycorrhizae inoculation effects on growth and heavy metal uptake of alfalfa (*M. sativa* L.) *Biol. Fertil. Soils* 8: 61-65.

10- Heggo A, Angle J S, Chaney R L. 1990. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on heavy metal uptake by soybeans. *Soil Biol. Biochem.* 22: 865-869.

11- Howden R, Goldsbrough P B, Andersen C R, Cobbet C S. 1995. Cadmium-sensitive, cad1 mutants of *Arabidopsis thaliana* are phytochelatin deficient. *Plant Physiol.* 107: 1059- 1066.

12- Jorgenson, S E. 1993. Removal of heavy metals from compost and soil by ecotechnological methods. *Ecol. Eng.* 2: 89-100.

13- Kabata-Pendius A, Pendius H. 1992. Trace elements in soils and plants. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida.



- 14- Khoshgoftar A H H, Shariatmadari N, Karimian M, Kalbasi S E , Van der Zee A T M, and Parker D R. 2004. Salinity and zinc application effects on phytoavailability of cadmium and zinc. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1885-1889.
- 15- Lorenz T H. 1994. Applications of fertilizer cations effect Cd and Zn concentration in soil and plant uptake. *Europ. J. Soil Sci.* 45(2): 159-164.
- 16- Maftoun M, Rassooli F, Ali Nejad Z, and Karimian N. 2004. Cadmium sorption behavior in some highly calcareous soils of Iran. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 35: 1271-1282.
- 17- McGrath S P, Zhao F J, and, Lombi E. 2001. Plant and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils. *Plant Soil* 232:207-214.
- 18- Moore R, Clark W D, Stern K R. 1995. *Botany*. WCB Publishers, Dubuque, Iowa. pp 464-467.
- 19- Oritz D F, Kreppel L, Speiser D M, Scheel G, McDonald G, Ow D W. 1992. Heavy metal tolerance in the fission yeast requires an ATP-binding cassette-type vacuolar membrane transporter. *EMBO J.* 11: 3491-3499.
- 20- Salisbury F B, Ross C W. 1992. *Plant Physiology*, 4th ed. Wadsworth Publishing Company, Belmont, California. pp.126-127.
- 21- Salt D E, Smith R D, Raskin I. 1998. Phytoremediation. *Annual Rev. Plant Phys. Plant Mol. Bio.* 49: 643-668.
- 22- Senden M H M N, Van Paassen F J M, Van Der Meer A J G M, Wolterbeek H T H. 1990. Cadmium- citric acid-xylem cell wall interactions in tomato plants. *Plant Cell Environ.* 15: 71-79.
- 23- Strasdeit H, Duhme A K, Kneer R, Zenk M H, Hermes G, Nolting H F. 1991. Evidence of discrete Cd (Scys) units in cadmium phytochelatin complexes from EXAFS spectroscopy. *J. Chem. Soc. Comm.*:1129-1130.
- 24- Street J J, Lindsay W L , Sabey B R. 1977. Solubility and plant uptake of cadmium in soils amended with cadmium and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 6: 72-77.
- 25- Vangronsveld J, Van Assche F, Clijsters H. 1990. Immobilization of heavy metals in polluted soils by application of a modified alumino-silicate: Biological evaluation. pp. 283-285. In: J. Barcelo (ed.) *Environmental contamination. Proc. 4th Int. Conf. Barcelona*. CEP- Consultants, Edinburgh, UK.
- 26- Weigel H J, Jager H J. 1980. Subcellular distribution and chemical form of cadmium in bean plants. *Plant Phys.* 65: 480-482.

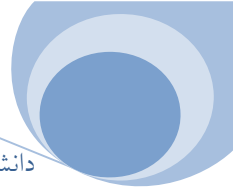
## Factors Effecting on Cadmium Phytoremediation from Contaminated Soils

Ali Kasraian<sup>1</sup>, Hamid Reza Oliaei<sup>2</sup> and Hady Abdolazimi<sup>1</sup>

1- Soil Science faculty, Islamic Azad University of Shiraz, 2 - Soil Science faculty, Yasuj University

### Abstract

Cadmium (Cd) is a heavy metal naturally present in soil at concentrations of slightly more than 1 mg Kg<sup>-1</sup>. Not only is it non-essential for life, it is highly toxic to most organisms, having a toxicity 2-20 times higher than many other heavy metals. It is therefore considered a very serious pollutant. Cd content in soil has been dramatically increased from anthropogenic sources including smelters and agricultural applications of fertilizer and sewage sludge. Since Cd in soil is available for plant uptake and subsequent human uptake, Cd in the environment poses a significant health risk. Since Cd poses a serious health risk to living organisms, and since it can be easily incorporated into the human food chain through uptake by agronomic crops or through grazing of contaminated



plants by herbivores, much research has centered on how to either clean up Cd in soil to eliminate the threat, or to reduce the availability of Cd in soil so that the risk of it being incorporated into the food chain is reduced. Traditional methods of cleaning, or remediating, areas contaminated with heavy metals such as Cd most often include some kind of excavation and relocation of the contaminated soil to a hazardous waste landfill. Another traditional approach is to cap the polluted area with an impermeable soil and/or concrete layer to prevent leaching of the contaminant into groundwater by rainfall migrating through the soil, and to prevent any living thing from coming into contact with the pollutant. A more recent approach to remediating contaminated sites is called phytoremediation, a term which describes the use of plants to clean up contaminants from a substrate, whether it be soil, air or water. The efficacy of phytoremediation as a viable remediation technology is still being explored, yet so far the results are positive. In phytoremediation, Plants extracts Cd from the soil and transport it via the xylem into shoots and leaves where it can accumulate. It has been shown that pollutants can be removed from a contaminated site by harvesting the plant biomass containing the pollutant.

There are many soil factors that effect on phytoremediation and improve it. The most important of these factors are soil pH, CEC, natural and synthsised chelating materials and fertlizers. In this paper we tried to explain some of these factors.

**Key words: Phytoremediation, Cadmium, contaminated soils**