فصلنامه علمی- تخصصی زمین‌شناسی و محیط زیست
سال اول، شماره ۳، پائیز ۱۳۸٦

حذف روی وکادمیوم از خاک آلوده با استفاده از گیاه یونجه

عبدالرضا کرباسی[۱]، پگاه خرازیان [۲]

۱- دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی

چکیده

برخی از گیاهان تحت عنوان گیاهان فوق تجمع دهنده، دارای قابلیت جذب، تحمل و حذف مقادیر بالایی از فلزات سنگین خاک می باشند. استفاده از این گیاهان به عنوان یک تکنولوژی مناسب و تجاری بوده که با استفاده از آن، می توان نسبت به پاکسازی خاک های آلوده به فلزات سنگین اقدام نمود. دربین گیاهان علوفه ای، خانواده لگومینوز وازاین خانواده، یونجه به جهت دارا بودن ریشه های عمیق، بومی ایران بودن و دوره رشد کوتاه مدت آن در آب و هوای سرد و گرم موجود در سایر نقاط کشور، ازاهمیت ویژه ای برخوردار می باشد که این مساله امکان حذف مقدار بیشتری از آلودگی را از سطح خاک آلوده فراهم می سازد. در این تحقیق میزان جذب غلظت های متفاوت فلزات سنگین روی و کادمیوم درخاک، توسط گیاه یونجه به همراه غلظت قابل دسترس بیولوژیک آن تعیین و با **pH** خاک مقایسه می گردد. مطالعه بر روی چهار نمونه خاک صورت گرفت که بطور مصنوعی به عناصر روی و کادمیوم در غلظت های ۱۰۰، ۲۰۰ و**ppm** ٤۰۰ کادمیوم و ۵۰۰، ۱۰۰۰ و**ppm**۲۰۰۰ روی آلوده گردیده وگیاه یونجه در گلدان غیر آلوده (شاهد آزمایش) و گلدان های حاوی خاک آلوده به عناصر فوق کشت گردید . پس از انجام فعالیت های مورد نیاز شامل داشت صحیح و برداشت، آنالیز شیمیایی خاک برای تعیین پارامترهای موثر در جذب نظیر **pH** انجام گردید. پارامترهای اندازه گیری شده با استفاده از روش آماری آنالیز خوشه ای و نرم افزار **MVSP** مورد بررسی قرار گرفت. اندازه گیری غلظت کل فلزات سنگین در خاک، گیاه و در بخش دسترسی بیولوژیک ومیزان بارمواد آلی درخاک وگیاه نشان می دهد که یونجه دارای پتانسیل خوبی جهت جذب هر دوعنصر مورد مطالعه می باشد. میزان جذب این عناصر نسبت به هم روند مشابهی داشته و در اثر کاهش **pH** روند صعودی دارند. به نحوی که درنمونه خاک شماره ٤ که دارای بیشترین مقدار آلودگی است، با کاهش **pH** تا ٦/۷۲ میزان غلظت روی و کادمیوم درخاک و نیز میزان جذب آن در یونجه بطور قابل ملاحظه ای تا **mg/kg** ۱۱٦۱/۷۵ کادمیوم درگیاه و **mg/kg** ۵۸/۲ در خاک و نیز **mg/kg** ۳۹۳۳/۵٤ روی درگیاه و **mg/kg** ۲۷۰۳/۲ در خاک افزایش دارد. لذا یونجه را می توان به عنوان یک گیاه مناسب جهت حذف روی و کادمیوم از خاک آلوده پیشنهاد داد. خواص عمده شیمایی خاک از جمله **pH**، ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی در جذب و یا دفع فلزات سنگین خاک موثرند، همچنین نتایج نشان می دهد که در اثر افزایش میزان مواد آلی در خاک مقدار pH خاک کاهش می یابد.

واژگان کلیدی: گیاهان فوق تجمع دهنده، فلزات سنگین، گیاه یونجه، دسترسی بیولوژیک

مقدمه

از آنجا که آلاینده های آلی و فلزات سنگین تجزیه‌پذیر نمی‌باشند، حذف فلزات سنگین از خاک های آلوده یک چالش مهم محسوب می گردد. روشهای فیزیکی و شیمیایی متداول امروزی جهت بازیابی فلزات سنگین از خاکهای آلوده علاوه بر هزینه بسیار، دارای اثرات مضر در فیزیک خاک بوده و فعالیتهای بیولوژیکی خاک را مختل می‌سازند[12 . امروزه گیاهان درمان گر به عنوان یک فاکتور دوستدار محیط زیست و کم هزینه جهت حذف فلزات ازخاک آلوده کاربرد دارند[۷]. تحقیقات نشان می دهدکه برخی ازگونه های گیاهی، ازجمله یونجه با توجه به داشتن دوره رشد کوتاه مدت و ریشه های عمیق دارای پتانسیل ژنتیکی لازم برای حذف برخی فلزات از جمله روی وکادمیوم می باشند[۱]. آنچه از تحقیقات گذشته بدست آمده آن است که pH خاک نقش مهمی درجذب فلزات روی و کادمیوم به سمت ریشه برخی از گونه های گیاهی ازجمله یونجه دارد[14]. فکر استفاده ازگیاهان برای جذب فلزات از خاک آلوده توسط(Chaney.1983) و (Utsunamyia,1980) صورت گرفت. اولین بار در سال ۱۹۹۱ اثر خود پالایی گیاهی بر جذب روی و کادمیوم از خاک مورد مطالعه قرار گرفت [11]. کاربرد روش گیاه درمانی بسیار سهل و ساده بوده و به تجهیزات گران قیمت و افراد متخصص نیاز نداشته و می‌تواند بعنوان یک روش کم هزینه تر نسبت به سایر روش ها معرفی گردد.

گونه‌های مختلف گیاهان در توانایی جذب، تجمع و تحمل فلزات سنگین تفاوت بسیار زیادی با هم دارند. بدین ترتیب که در بررسی سمیت فلزات سنگین در سیستم‌های مختلف وپیچیده گیاه – خاک، عوامل زیادی وجود دارند که مرتبط با ویژگی‌های خاک، خصوصیات گیاه و دیگرعوامل زیست محیطی می‌باشند[۳]. گونه‌های گیاهی

انتخاب شده باید قادر به تجمع سطح زیادی از عناصر در ریشه و جوانه‌های خود باشند. تحمل زیاد گیاه نسبت به فلز، یک مشخصه کلیدی است که استفاده از گیاهان فوق تجمع دهنده را امکانپذیرمی سازد[٤].

یونجه با نام علمیMedicago sativa به عنوان یک گیاه موثر در این زمینه، بطور فعال برخی از فلزات سنگین را بدون آنکه به آن نیاز داشته و باعث سمیت گیاه شود، همراه با جذب عناصر ریز مغذی دیگری مانند آهن، مس، روی و غیره جذب می‌کند، به نحوی که تحمل زیاد گیاه نسبت به وجود این فلزات سنگین، زیاد است. گیاه قادر است یون های آزاد فلزی و یا ترکیبات محلول فلزی را از طریق مکانیسم جذب سطحی ریشه جذب نماید و فلزاتی که به صورت رسوب در ترکیب با سیلیکات‌ها و کربنات‌ها هستند امکان جذب توسط ریشه را ندارند. یونجه از جمله گیاهان علوفه‌ای، پر ارزش و پر محصول، بومی ایران، آسیای صغیر و کوههای قفقاز است که دارای ارقام بسیاری در ایران و جهان می باشد[۲]. مکانیسم جذب در گیاه به صورت انتخابی صورت گرفته و برخی از یون ها را نسبت به برخی دیگرترجیح می دهد. انتخاب یونی به ساختار غشاء سلولی و مشخصات حامل‌های گیاه برای انتقال یون بستگی دارد. این ویژگی به حامل‌ها امکان تشخیص یون را داده تا به عنوان حدواسط، یون‌های ویژه‌ای را از غشاء سلولی منتقل کنند. این گیاه نه تنها سطح زیادی از ریز مغذی‌های ضروری را ذخیره می‌کنند بلکه قادر به جذب مقدار مشخصی از فلزات غیرضروری مانند

کادمیوم نیز می‌باشند. جذب کادمیوم به ریشه همراه با مکانیسم جذب ریزمغذی‌های دو ظرفیتی دیگری مانند روی صورت گیرد[11]. عوامل موثربسیاری درجذب فلزات نقش دارند که بجز نوع ومقدار کلوئیدهای خاک (مواد رسی، اکسیدهای خاک و مواد آلی)، عوامل کنترل کننده اصلی عبارتند از: pH، غلظت کاتیونی فلز، حضور کاتیون های فلزی رقابت کننده و وجود پیوند یا ترکیب آلی ومعدنی. مکانیسم‌های جذب می توانند برای یون های فلزی مختلف متفاوت باشند اما یون هایی که با مکانیسمهای مشابه جذب ریشه می‌گردند، احتمالا با یکدیگر رقابت می‌کنند[13]. طی مطالعات انجام شده مشخص گردید که همراه با افزایش pH، میزان اتصال فلزی در یونجه افزایش می‌یابد. بطوری که بیشترین درصد اتصال فلزاتی مانند Zn، Cd، Pb، Cr در pH بین ۵ تا ۷ و درعرض ۵ دقیقه ابتدایی جذب آنها اتفاق افتاده و سپس درطی دوره زمانی بیشتر، بدون این که جذبی صورت گیرد، این اتصال پایدارتر می‌گردد [13].

به منظورجذب فلزات سنگین به ریشه، مواد آلاینده باید جهت جذب توسط ریشه آماده و قابل دسترس بیولوژیک باشند. قابلیت جذب فلز از راه ریشه تحت عنوان قابلیت دسترسی بیولوژیکی می باشد. آمادگی برای جذب ریشه به حلالیت فلز در خاک بستگی دارد. تنها فلزاتی که به صورت یون‌های فلزی و ترکیبات فلزی محلول باشند، قادر به جذب در گیاه می باشند. فلزاتی از قبیل روی و کادمیوم قادربه تبادل با گیاه هستند[٤]. حلالیت فلزی درخاک سبب جذب سطحی آن به ذرات خاک می گردد. در اثر جریان همرفت یونهای فلزی محلول از خاک به سطح ریشه حرکت کرده، آب از محیط ریشه توسط دیواره سلولهای ریشه جذب شده و به جهت جایگزینی آبی که توسط برگها تبخیر شده، عمل جذب صورت می گیرد. آب در اثر فشار هیدرولیک، از توده خاک به سطح ریشه جریان می یابد. بعضی از یون ها توسط ریشه ها سریع تر جذب می شوند بنابراین بلافاصله یک منطقه خالی از یون در خاک مجاور ریشه ایجاد می گردد. این عمل سبب تمرکز فشار از محلول خاک و ذرات خاکی که عناصر جذب شده را نگهداری می‌کنند می‌شود. یون‌ها به سمت محلولی می‌رود که درتماس با سطح ریشه بوده و این فشار متمرکز سبب پخش یون‌ها بین لایه خالی اطراف ریشه‌ها می‌گردد[10]. جذب فلزات به داخل بافت زنده سلول‌های ریشه، مهمترین قدم اصلی می‌باشد. در این فرآیند فلزات باید از ریشه به جوانه ها منتقل گردند. حرکت فلز همراه با حرکت شیره گیاهی و از طریق ریشه به جوانه و نیز مدت زمان انتقال، توسط دو عامل فشار ریشه‌ای و تعرق برگ‌ها کنترل می‌گردد .به همراه انتقال فلزات به برگ‌ها، فلزات از راه شیره گیاهی به برگ ها منتقل می گردند[11].

روش تحقیق

به منظور انجام این تحقیق از چهار نمونه خاک با آلایندگی مصنوعی استفاده گردید که نمونه شماره ۱ به عنوان شاهد آزمایش، شامل خاک غیر آلوده و نمونه‌های شماره ۲،۳و٤، بطور مصنوعی و با غلظت‌های مشخص شده در جدول ۱ به نیترات روی و کادمیوم آلوده گردیدند. بذرهای یونجه از نوع رقم همدانی که از ارقام بومی ومقاوم در ایران می‌باشد، انتخاب گردیده و درخاک غیرآلوده و آلوده به کادمیوم و روی کشت گردید. مراحل داشت جهت رشد گیاه وسپس برداشت آن به هنگام زرد شدن گیاه صورت گردید. اندام های گیاه از قبیل ریشه، ساقه و برگ را پس از برداشت، شستشو داده و نمونه‌های گیاهی پس از خشک شدن، دردمای٤٨٠ درجه کوره به مدت ١٦

ساعت، سوزانده، پودر گردیده، به طور جداگانه کدگذاری شده و برای عصاره‌گیری و انجام مراحل بعدی به آزمایشگاه منتقل گردید[5].

برای تجزیه گیاه و تعیین عناصر سنگین روی و کادمیوم آن، به هر نمونه گیاه، پس از افزودن چند قطره HCl یک نرمال، از اسید استیک غلیظ استفاده گردید. سپس روی حمام شن تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد حرارت داده و به منظور تجزیه مواد آلی گیاه بعد از افزودن HCl غلیظ مجددا حرارت داده شد. نهایتاً محلول حاصله توسط اسیدکلریدریک یک نرمال به حجم ۲۵ سی سی رسانده شده و جهت اندازه گیری غلظت روی و کادمیوم موجود در هر نمونه گیاه به دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری تزریق شد[6] .

جدول ۱ – میزان غلظت روی و کادمیوم افزوده شده به خاک‌های نمونه

شماره نمونه	نام فلز	غلظت افزوده شده به خاک	
		ppm	mg/kg
۲	Zn	۵۰۰	۱۹۸۱/۵۰
	Cd	۱۰۰	۲۷٤/٤٤
۳	Zn	۱۰۰۰	۳۹۹۹/۳۸
	Cd	۲۰۰	٥٤۸/۸۹
٤	Zn	۲۰۰۰	۷۹۹۸/۷
	Cd	٤۰۰	۱۰۹۷/۷۹

تجزیه خاک برای تعیین قابلیت دسترسی بیولوژیک آن برای هریک از نمونه های خاک صورت گردید. ابتدا خاک هر یک از نمونه ها، پس از خشک کردن در دمای۷۰ درجه سانتیگراد، الک شده و ذرات کوچکتر از ٦۳ میکرون جدا گردید تا عامل رقیق کننده غلظت عناصر حذف گردد و سپس توسط هاون عقیق پودر گردید تا نفوذ به صورت یکنواخت درآمده و تجزیه توسط اسیدها راحت تر صورت پذیرد. برای بدست آوردن مقادیر دسترسی بیولوژیک ابتدا ۵/۷ میلی لیتر اسید استیک به ۵۰۰ سی سی آب مقطر اضافه شد. سپس ٦٤/۳ میلی گرم NaOH یک نرمال به محلول اضافه و حجم آن با آب مقطر به یک لیتر رسانده شد تا pH محلول نهایی بین ۰/۰۵ ± ٤/۹۳ باشد. سپس به یک گرم از هر نمونه ۱۰ سی سی از محلول بدست آمده را اضافه نموده وبه خوبی تکان داده و نهایتاً به دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری، برای اندازه‌گیری میزان روی وکادمیوم قابل دسترس بیولوژیک منتقل گردید[۱].

تجزیه کامل خاک به منظور تعیین غلظت کل عناصر روی و کادمیوم در خاک انجام می گردد. بدین منظور پس از خشک کردن نمونه های خاک در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد، الک و پودر نموده تا تجزیه توسط اسیدها به راحتی صورت گیرد. به هرنمونه خاک، پس از افزودن چند قطره HCl یک نرمال، به منظور تجزیه نیترات‌ها و کربنات های خاک ازتیزاب سلطانی (ترکیب HNO_3 و HCl به نسبت ۱:۳) استفاده گردید و سپس روی حمام شن تا ۱۲۵ درجه سانتیگراد حرارت داده وبرای تجزیه مواد آلی نمونه ها از اسید پرکلریک استفاده کرده و تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. نهایتا محلول حاصله توسط اسید کلریدریک یک نرمال به حجم۵۰ سی سی رسانده شده و به دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری منتقل گردید [9]. برای تعیین بار آلی نمونه‌های خاک و گیاه، نمونه های خاک وگیاه را به مدت ٤ ساعت در کوره الکتریکی با دمای٤۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده ومحاسبه اختلاف وزن برحسب درصد با استفاده از فرمول (۱) محاسبه گردید.

$$LOI(\%) = \frac{B - C}{A - B} \quad (۱)$$

A = وزن بوته به تنهایی

B = وزن بوته قبل از قرار گرفتن در کوره

C = وزن بوته بعد از قرار گرفتن در کوره

نتایج

غلظت روی و کادمیوم در نمونه های خاک، گیاه و در بخش دسترسی بیولوژیک، توسط دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری تعِیین گـــردید. نـتایج بدست آمده. در جدول ۲ نمایش داده شد و بیانگر آن است که در اثر افزایش غلظت آلاینده های روی وکادمیوم در خاک، میزان pH خاک از۷/٤۲ به٦/۷۲ کاهش می‌یابد.

جدول۲- غلظت کادمیوم و روی در خاک، گیاه، بخش دسترسی بیولوژیک، pH خاک و درصد مواد آلی خاک و گیاه

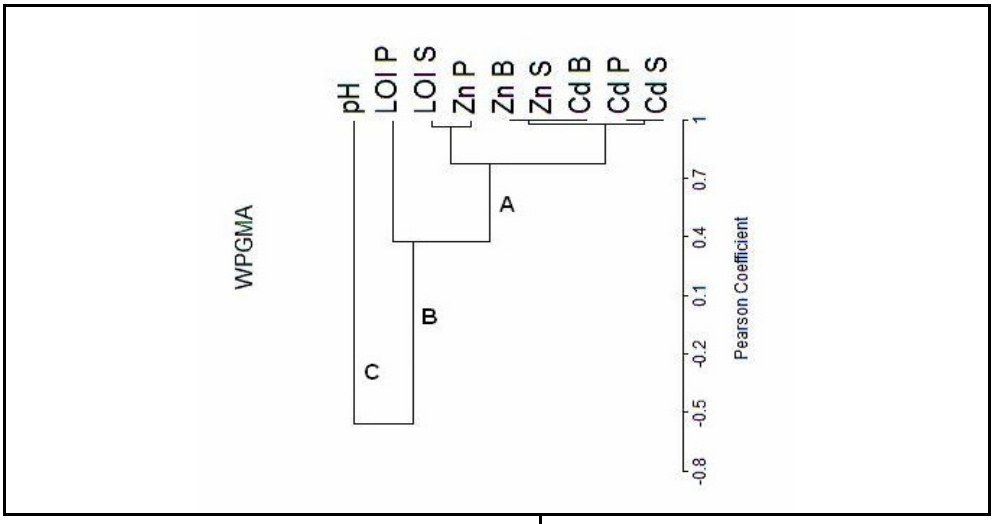
شماره نمونه	Cdخاک (mg/kg)	Cd گیاه (mg/kg)	Cdدسترسی بیولوژیک (mg/kg)	Znخاک (mg/kg)	Znگیاه (mg/kg)	Znدسترسی بیولوژیک (mg/kg)	pH	مواد آلی خاک (٪)	مواد آلی گیاه (٪)
۱	۱/۲	٤/۰٥	۰/۹	٥۲/۸۲	٤۳۹/۱٤	۷/۲٦	۷/٤۲	٤/٦	۷٦/۹
۲	۱٦٦/٥۰	۳۲۳/۲٥	۸٥	۹۱۰/۲	۱٥۸۳/۸٤	۳٦۷/٤٦	۷/۱٦	٥/۸	۷٤/٥۲
۳	۳۷۱/۲۰	۸٤٥/۲٥	۱٦۲/٦	۱٤۹۸	٦٤۸۸/٥٤	٦۱۱/٦٦	٦/۹۷	۸/٤	۷۷/٤٤
٤	٥٥۸/۲	۱۱٦۱/۷٥	۲۹۳/۱	۲۷۰۳/۲	۳۹۳۳/٥٤	۱۲٤۸/۹٦	٦/۷۲	۷/۸	۷٦/۸٦

به کمک روش آماری آنالیز خوشه‌ای و با استفاده از نرم افزارMVSP، شکل۱ تهیه گردید. آنالیزخوشه ای از سه شاخه A، B و C تشکیل شده است.

در شاخه A عناصر کادمیوم و روی در خاک، گیاه و بخش دسترسی بیولوژیکی تحت ضریب تشابه بسیار بالاومعنی دار به یکدیگر متصل شده اند. حضور مواد آلی (خاک) در این شاخه نشان می‌دهد که رفتار و غلظت این دو عنصر در سه بخش یاد شده تابع مواد آلی خاک می باشد. شاخه B به تنهایی شامل مواد آلی گیاه است که تحت ضریب تشابه پایین و غیر معنی دار به شاخه A متصل شده است. بنابراین مواد آلی گیاه نقشی در رفتار و غلظت فلزات ندارد. نهایتا pH که در شاخه C حضور دارد تحت ضریب تشابه بسیار منفی با شاخه های A و B ارتباط برقرار کرده است. ارتباط بسیار پایین می‌تواند نشان دهنده موارد زیر بین pH و سایر پارامترها باشد:

الف- در اثر افزایش میزان مواد آلی، مقدار pH خاک کاهش می‌یابد. ب- هرقدر میزان مواد آلی در خاک کاهش یابد، نقش pH خاک در کنترل غلظت عناصر افزایش می‌یابد. شکل۲، نمودار تاثیر pH خاک را در کنترل غلظت باقیمانده کادمیوم در خاک، گیاه وبخش دسترسی بیولوژیک نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است درخاک نمونه شماره ۱ مقدار غلظت باقیمانده کادمیوم در خاک ۱/۲ mg/kg، درگیاه ٤/۰٥mg/kg ودر بخش دسترسی بیولوژیک mg/kg ۰/۹ می‌باشد که این مقداردرخاک نمونه شماره ۲، با کاهش pH از۷/٤۲ (نمونه شاهد) به ۷/۱٦، غلظت کادمیوم در خاک از ۱/۲ به mg/kg ٦٦/٥ وغلظت آن

درگیاه از ٤/٠٥ به mg/kg ٣٢٣/٢٥ افزایش می‌یابد. به ٦/٧٢ در خاک نمونه شماره ٤، به mg/kg ٥٥٨/٢ این مقدار با کاهش pH خاک از ٦/٩٧درنمونه شماره٣ درخاک و mg/kg ١١٦١/٧٥در گیاه افزایش می‌یابد.



Cd S = غلظت کادمیوم در خاک

Cd P = غلظت کادمیوم در گیاه

Cd B = غلظت کادمیوم در بخش دسترسی بیولوژیک

Zn S = غلظت روی در خاک

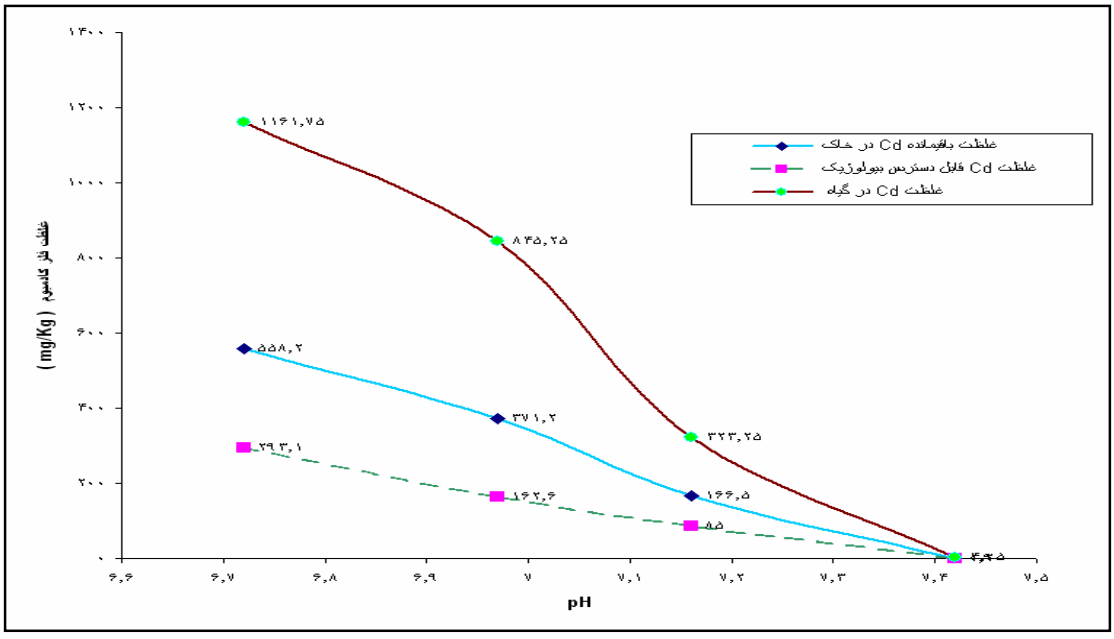
Zn P= غلظت روی در گیاه

Zn B = غلظت روی در بخش دسترسی بیولوژیک

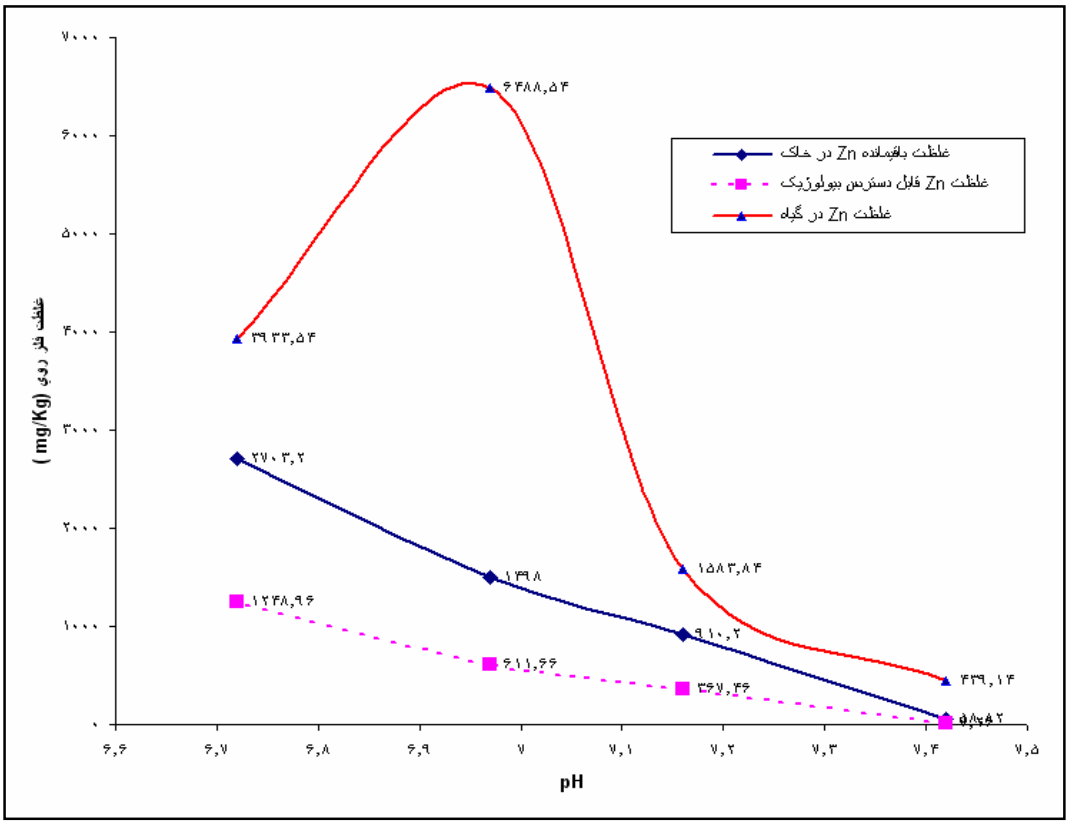
LOI S = میزان بار مواد آلی در خاک

LOI P = میزان بار مواد آلی در گیاه

شکل١- نمودار آنالیز خوشه ای عناصر روی و کادمیوم درخاک و گیاه و ارتباط آنها با pH خاک و موادآلی



شکل٢ – نمودار تاثیر pH خاک در کنترل غلظت باقیمانده کادمیوم در خاک، گیاه و بخش دسترسی بیولوژیک



شکل۳ – نمودار تاثیر pH خاک در کنترل غلظت باقیمانده روی در خاک، گیاه و بخش دسترسی بیولوژیک

به همین ترتیب شکل۳، نمودار تاثیر pH خاک را در کنترل غلظت باقیمانده روی در خاک، گیاه و بخش دسترسی بیولوژیک نشان می دهد. با کاهش pH غلظت روی درخاک از مقدارmg/kg ۵۸/۸۲ در خاک نمونه شماره ۱، به مقدارmg/kg ۹۱۰/۲ در خاک نمونه شماره ۲ افزایش یافته و نیز غلظت آن در نمونه‌های خاک شماره ۳ و٤ افزایش می یابد. به همین ترتیب غلظت روی در بخش دسترسی بیولوژیک نیز همراه با کاهش pH روند صعودی خواهد داشت. این مقدار درگیاه با کاهش pH از mg/kg ٤۳۹/۱٤ در خاک‌های نمونه شماره ۱ تا ٦٤۸۸/٥٤ در نمونه خاک شماره ۳ افزایش داشته ولی این مقداردرنمونه شماره ٤ باmg/kg ۳۹۳۳/٥٤ کاهش‌نزولی‌غلظت‌مواجه می‌گردد.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که نتایج تحقیق نشان می‌دهد، غلظت روی و کادمیوم در یونجه کاملا وابسته به تغییرات pH خاک می‌باشد به طوری که افزودن فلزات روی و کادمیوم به خاک، همراه با افزایش میزان دسترسی بیولوژیک آن، سبب افزایش جذب این فلزات در گیاه و نیز در خاک می‌گردد. همچنین در اثر افزایش میزان مواد آلی در خاک، مقدارpH خاک کاسته شده و نهایتاً جذب فلزات توسط گیاه در محیط اسیدی تر بیشتر می‌گردد. کاهشpH خاک، منجر به آزاد شدن یون‌های فلزی شده و این امر بر میزان دسترسی بیولوژیک نیز می‌افزاید. آنچه از تحقیقات گذشته بدست آمده حاکی از آن است که pH خاک نقش مهمی درجذب فلزات

روی و کادمیوم به سمت ریشه برخی از گونه‌های گیاهی دارد وبا کاهش pH میزان غلظت برخی عناصر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد که نتایج حاصل از این تحقیق در خاکهای با آلایندگی بالا به روی و کادمیوم، با این مساله تطابق دارد. بیشترین غلظت کادمیوم جذب شده توسط یونجه، در٦/٧٢=pH و به میزان ١١٦١/٧٥ mg/kg از مقدار ١٠٩٧/٧٩ mg/kg نیترات کادمیوم (٤٠٠ ppm کادمیوم) افزوده شده به خاک، در نمونه شماره ٤ مشاهده گردید و حداکثر میزان غلظت روی جذب شده توسط یونجه، mg/kg ٦٤٨٨/٥٤ در ٦/٩٧ = pH، از میزان ٣٩٩٩٩/٣٨mg/kgنیترات روی (١٠٠٠ppmروی) در نمونه ٣ تعیین گردید.

آنچه از مجموع دو نمودار٢و٣ مشخص می‌گردد آن است که غلظت روی و کادمیوم در گیاه یونجه تقریبا روند مشابهی داشته و در اثر کاهشpH، غلظت این عناصر روند صعودی خواهند داشت. با وجود این نیاز به مطالعات و تحقیقات بیشتری به منظور تعیین پتانسیل جذب اندامهای مختلف گیاه بطور جداگانه می‌باشد تا میزان تجمع و غلظت این فلزات را در بافتهای گیاه بررسی نموده و زمان مناسب جهت برداشت گیاه را تعیین نمود به نحوی که برداشت زمانی باشد که میزان جذب فلز شروع به کاهش نماید. اطلاعات کامل تر از این مکانیسم بیوشیمیایی منجر به شناخت موارد زیر می گردد:

١- شناسایی و توسعه گیاهان فوق تجمع دهنده با ظرفیت بیشترحذف فلزات سنگین از خاک.

٢- درک بهترواکنشهای اکولوژیکی و بررسی تاثیر فرآیندهای گیاه پالایشی در واکنشهای اکولوژیکی.

٣- شناخت و مدیریت دانش ورود فلزات، چرخش و دفع آلودگی از اکوسیستم.

تاکنون اغلب آزمایشات گیاه پالایشی در آزمایشگاه و با آلودگی مصنوعی فلزات سنگین در خاک بوده است. درصورتی که برای توسعه تجاری این روش باید فعالیتهای مدیریتی کشاورزی و نیز توانایی ژنتیکی گیاهان بهینه گردد. همچنین مدیریت برداشت و دفع یونجه های آلوده نیاز به تحقیقات بیشتری دارد تا این تکنولوژی به یک تکنولوژی پایدار جهانی تبدیل گردد.

منابع

١- برزگری، ز.،(١٣٨٦): ژئوشیمی عناصر سنگین درخاکهای اراضی واحدعلوم و تحقیقات تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مدیریت محیط زیست. واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران. ص ٤٢ تا ٥٤.

٢- کریمی، ه.،(١٣٨٦): فرهنگ رستنی های ایران، نشر علوم کشاورزی، جلد چهارم. ص ٢١٩ و ٢٢٠.

٣- مهجوری، م.،(١٣٨٠): بررسی اثر آبیاری با فاضلاب روی جذب فلزات سنگین به وسیله سبزی های برگی جنوب تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران. ص٥٣ تا ٥٧.

٤- میرغفاری، ن.، یادگاری دهکردی، س.،(١٣٨٢): بررسی میزان کادمیوم درخاک و تعدادی از گونه های گیاهی طبیعی اطراف معدن سرب و روی آهنگران ملایر. پایان نامه کارشناسی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان. ٥٥ صفحه.

5- Brown, S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S., (1995): Phytoremediation potentioal of Thlaspi caerulescens and Vladder Compion for Zinc and Cadmium contaminated soil. Department of Animal and Plant Sciences, University of

Shejjield, U.K, Environ. Sci. Technol, 1151-1157.

6- Brown, S.L., Chaney, R.L., Angle, J.S., and Baker, A.J.M., (1995): Zinc and Cadmium uptake by hyperaccumulator Thlaspi caerulescens grown in nutrient solution. Department of Animal and Plant Sciences, University of Shejjield, U.K, Environ. Sci. Technol, 1581-1585.

7- Chaney, R.L., (1983): Plant uptake of inorganic waste constituents in land treatment of hazardous wastes. Noyes data corporation , Park Ridge, NJ. Soil Biol. Biochem., 50-77.

8- Gardea-torresdey, G.L., Gonzalez, G.H., Tiemann, K.J., and Rodriguez, O., (1997): Biosorption of Cadmium, Chromium, Lead, and Zinc by biomass of Medicago sativa (Alfalfa), Department of Chemistry, The University of Texas at El Paso, J. of Hazardous Materials. 209-219.

9- Karbassi, A.R., (1989): Geochemistry and magnetic susceptibility of Riverine, Estuarine and marine sediments. Ph.D thesis , ,University of mangalore, 196.

10- Lujan, J.R., et al., (1994): Metal ion binding by algae and higher plant tissues: A phenomenological study of solution pH dependence, Solvent Extraction and Ion Exchange, 803-816.

11- Mitch, L., (1999): The use of plants for the removal of toxic metals from contaminated soil, American Association for the Advancement of Science Environmental Science and Engineering Fellow, J.Environ. Qual., 11-33. Availabe in site:

12- Raskin, I., Burt, D., (2000) : Phytoremediation of toxic metals (using plants to clean up the Environment). John wiley and Sons Inc, 53-69.

13- Ross, S.M., (1994): Toxic metals in soil plant systems, John wiley and Sons Inc, Plant Sci., 174-189.

14- Wang, S., Angle, J., Chaney, R.L., Deorme, A., (2005): Soil pH effect on uptake of Cd and Zn by Thlaspi caerulescens. Department of Natural Resources and Landscape Architecture, University of Maryland at College Park, Plant and Soil, 325–337.