

اثر کلات EDTA و کود گاوی بر میزان جذب کادمیوم به وسیله گل همیشه بهار در یک خاک آلوده

حمید رضا مشایخی، امیر حسین بقائی¹ و مسعود گماریان

گروه باغبانی، واحد ساوه، دانشگاه آزاد اسلامی، ساوه، ایران؛ hamidrezamashayekhi@yahoo.com

گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران؛ a-baghaie@iau-arak.ac.ir

گروه اصلاح نباتات، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران؛ m-gomarian@iau-arak.ac.ir

دریافت: 95/4/9 و پذیرش: 96/3/3

چکیده

آلودگی خاک به کادمیوم می‌تواند سبب کاهش تولیدات گیاهی و افزایش خطر استفاده از محصولات گیاهی آلوده به این فلز توسط انسان و حیوانات شود. این پژوهش با هدف بررسی اثر کی‌لیت EDTA بر میزان جذب کادمیوم در گل همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار به اجرا در آمد. تیمارهای آزمایشی شامل کاربرد مقادیر 0(Cd₀)، 5(Cd₅) و 10(Cd₁₀) میلی گرم کادمیوم بر کیلوگرم خاک و همچنین کاربرد دو سطح کی‌لیت EDTA در غلظت‌های 0(E₀) و 2/5(E_{2.5}) میلی‌مول بر کیلوگرم خاک بود. کاربرد 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم به ترتیب باعث افزایش 25% و 41 درصدی در جذب کادمیوم شاخساره گیاه شد. همچنین کاربرد 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA باعث افزایش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه و شاخساره گیاه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA توانست با افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک نقش مهمی در افزایش پالایش کادمیوم در خاک تیمار شده با مواد آلی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت دسترسی کادمیوم، پالایش کادمیوم، مواد آلی، انباشت زیستی

¹ نویسنده مسئول، آدرس: گروه خاکشناسی، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

مقدمه

آلودگی خاک به فلزات سنگین یکی از مشکلات اساسی زیست بوم است. عمده‌ترین منابع رهاسازی فلزات سنگین به خاک مربوط به فعالیت‌های صنعتی است که شامل معدن کاوی، ذوب فلزات، صنایع آبکاری، فلزکاری، مصرف سوخت و تولید انرژی، تخلیه فاضلاب و انهدام زباله، کاربرد آفت کش‌ها، کودها و لجن فاضلاب مصرفی در بخش کشاورزی می‌باشد (تنهان و همکاران، 2007). کادمیوم یکی از فلزات سنگین است که بطور طبیعی در خاک وجود دارد. این فلز غیر ضروری است و برای بیشتر ارگانسیم‌ها خیلی سمی است. سمیت آن 2 تا 20 برابر بالاتر از بسیاری دیگر از فلزات سنگین است (گوش و سینگ، 2005). متوسط نیمه عمر بیولوژیکی کادمیوم 18 سال است (گیسبرت و همکاران، 2003). کودهای فسفوری از جمله منابع ورود کادمیوم به داخل خاک می‌باشند (هوانگ و همکاران، 2004). فلزات سنگین در خاک علاوه بر اینکه سبب کاهش رشد گیاه می‌شوند، می‌توانند همراه با حرکت آب در سطح یا داخل خاک حرکت کرده و به آب‌های سطحی و زیرزمینی وارد شوند و همراه با آب شرب یا سایر مواد دیگر به بدن انسان و دیگر موجودات زنده وارد شوند و سبب بروز سمیت و بیماری شوند (سها و همکاران، 2016)، لذا پالایش و کاهش خطرات ناشی از سمیت این ترکیبات خطرناک از محیط زیست امری ضروری است.

از آنجا که پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از روش‌های مهندسی و سایر روش‌های مرسوم، بسیار پرهزینه و همراه با اثرات جانبی مضر برای محیط زیست است، امروزه به روش گیاه پالایی به عنوان یک فناوری نوظهور و مقرون به صرفه جهت پالایش این دسته از آلاینده‌های خاک توجه ویژه‌ای شده است، چراکه این روش نه تنها ارزان قیمت است بلکه امکان پالایش برجا، حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش و هدررفت خاک و استقرار فضای سبز در منطقه نیز وجود دارد (سالت و همکاران، 1995)..

پائین آوردن اسیدیته خاک و استفاده از ترکیبات کی‌لیت کننده دو راه حل اصلی جهت افزایش قابلیت جذب این عناصر می‌باشد، هر چند که کاهش اسیدیته خاک به دلیل قدرت بافاری بالای خاک به ویژه در خاکهای مناطق مرکزی ایران کاری دشوار و پرهزینه می‌باشد. روش دیگر استفاده از ترکیبات کی‌لیت کننده نظیر EDTA به عنوان روش دیگری در افزایش سهم قابل جذب فلزات سنگین در خاک بوده می‌باشد (نواک و همکاران، 2006). بیش از 50 سال است که از EDTA و

سایر کی‌لیت‌ها برای تغذیه گیاهان با عناصر کم مصرف استفاده می‌شود (ما و همکاران، 2014). زمانی که EDTA به خاک اضافه می‌شود بخش بزرگی از فلز کل محلول شده و در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. کی‌لیت EDTA در مقایسه با دیگر ترکیبات شیمیایی، عمل انحلال فلز را با کمترین اثر نامطلوب بر ویژگی‌های خاک انجام می‌دهد (زهانگ و همکاران، 2014). با افزایش کاربرد کی‌لیت EDTA قابلیت جذب فلزات سنگین در خاک دچار تغییر شده، هر چند که میزان این تغییر بستگی به عوامل مختلفی از جمله نوع خاک، گیاه و شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک دارد (ریورا و همکاران، 2016).

گیاه پالایی از دیدگاه‌های متفاوتی توسط پژوهشگران مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهشی عربی و همکاران (1389)، اثر افزودن کی‌لیت طبیعی اسید سیتریک و کی‌لیت‌های مصنوعی HEDTA و EGTA در محلول کردن کادمیم در خاک‌هایی که به صورت مصنوعی آلوده شده‌اند و نیز توانایی آنها در افزایش پالایش گیاهی کادمیم را بررسی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که کی‌لیت‌های مصنوعی نسبت به اسید سیتریک که یک کی‌لیت طبیعی است حلالیت را بیشتر افزایش می‌دهد و در این میان، کی‌لیت مصنوعی HEDTA در استخراج بسیار تواناتر بوده و در نتیجه باعث جذب بیشتر کادمیم می‌شود. در پژوهشی دیگر که با هدف ارزیابی کارایی EDTA و NTA در در افزایش غلظت سرب محلول در خاک و مقایسه اثرات آنها بر مقدار جذب سرب توسط گیاه شاهی انجام گردید، نتایج نشان داد که استفاده از اسیدهای آمینو- پلی‌کربوکسیلیک موجب افزایش غلظت سرب محلول در خاک و سپس جذب توسط ریشه و انتقال آن به شاخساره شاهی می‌شود و مصرف این ترکیبات باعث افزایش بازده و کاهش زمان آلودگی زدایی سرب از خاک شد و در این رابطه تأثیر EDTA بیشتر از NTA می‌باشد (بابائیان و همائی، 1389). تحقیقات انجام شده در خصوص ارزیابی ویژگی‌های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک نشان داد که ویژگی‌های ظرفیت تبادل کاتیونی و مقدار مواد آلی خاک نسبت به سایر ویژگی‌های خاک بر میزان حلالیت کادمیم خاک (کل و قابل جذب) تأثیر بیشتری داشته و مواد آلی بر خلاف مقدار اندک، نقش مهمی را در حلالیت کادمیم در خاک‌های مورد مطالعه دارند (جعفرنژادی و همکاران، 1391).

شهرستان اراک به عنوان یک قطب صنعتی، آلودگی زیادی به فلزات سنگین از جمله کادمیوم داشته که می‌تواند سلامت زنجیره غذایی برای انسان را مورد تهدید

گاوی در سه سطح (C_0) ، 25 (C_{25}) و 50 (C_{50}) مگاگرم در هکتار، کادمیوم در سه سطح (Cd_0) ، 5 (Cd_5) و 10 (Cd_{10}) میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک از منبع کلرید کادمیوم و همچنین کاربرد کی‌لیت EDTA در غلظت‌های (E_0) و $2/5$ $(E_{2.5})$ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک می‌باشد. جهت آلوده کردن خاک، ابتدا مقدار کادمیوم لازم تا رساندن به غلظت‌های مذکور بر اساس منبع کلرید کادمیوم محاسبه، در آب مقطر حل و بر روی خاک به صورت یکنواخت اسپری شد. قابل ذکر است که رطوبت نمونه‌ها در حدود 80 درصد ظرفیت زراعی مزرعه نگهداری و به مدت یک ماه (روانبخش و همکاران، 1390) در دمای 25° - 23° برای به تعادل رسیدن خاک و کادمیوم اسپری شده به آنها فرصت داده شد. در این مدت نمونه‌ها جهت به تعادل رسیدن مرتباً تر و خشک شدند. سپس کود گاوی در مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار با خاک آلوده مخلوط شد و به مدت یک ماه انکوبه شد تا مخلوط مذکور به تعادل برسد.

بذور گل همیشه بهار (*Calendula officinalis*) در جعبه های کشت نشاء کشت شد. زمانی که گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند گیاهانی هم اندازه (از لحاظ طول و وزن) انتخاب و به داخل گلدان‌های اصلی انتقال داده شد. در هر گلدان پنج بوته کشت شد که در نهایت به سه بوته تقلیل داده شد. آبیاری گلدان‌ها با آب مقطر هر سه تا چهار روز یک‌بار (بسته به نیاز آبی گیاه) انجام شد. یک هفته به پایان دوره رشد گیاه (بنا عراقی و همکاران، 2010) کی‌لیت EDTA در دو سطح (E_0) و $2/5$ $(E_{2.5})$ میلی‌مول بر کیلوگرم خاک همراه با یک بار آب آبیاری به گلدان‌ها اضافه شد.

برداشت بوته‌های گیاه همیشه بهار 120 روز پس از کاشت انجام شد. ریشه و اندام هوایی از محل طوقه جدا، کاملاً شستشو داده شده و هر کدام جداگانه وزن و به داخل پاکت کاغذی منتقل گردید. نمونه‌ها به مدت 48 ساعت در دمای 65° درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار داده شد، سپس نمونه‌ها توسط آسیاب برقی به پودر تبدیل شده و در ظروف پلاستیکی نگهداری شد. سپس برای تعیین غلظت کادمیوم در نمونه های گیاهی از روش هضم با HNO_3 غلیظ و آب اکسیژنه 30 درصد کمک گرفته شد (بتون و کیس، 1990).

قرار دهد. با توجه به تحرک بالای کادمیوم نسبت به سایر فلزات سنگین نظیر سرب (اولیایی و شریفی، 1393)، بررسی میزان قابلیت دسترسی آن در خاک و گیاه اهمیت زیادی دارد. گیاه همیشه بهار به عنوان یک گیاه دارویی یکی از کشت های مرسوم در شهرستان اراک بوده و کاشت آن در زمین‌های آلوده به فلزات سنگین از جمله کادمیوم می‌تواند سلامتی انسان را به خطر بیندازد. هر چند که تحقیقات زیادی در مورد اثر کی‌لیتهای آلی بر تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین صورت پذیرفته است (لی و همکاران، 2010؛ میقان و همکاران، 2011؛ کلاباس و همکاران، 2013) ولی با توجه به تغییر رویکرد کاربرد کودهای شیمیایی به سمت کودهای آلی، میزان و نوع ماده آلی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک هر منطقه می‌تواند میزان اثر بخشی کی‌لیتها از جمله EDTA را در خاک‌های آلوده به فلز سنگین تحت تأثیر قرار دهد که تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است، از سویی دیگر عملکرد گیاه نیز عاملی مؤثر در جهت تغییر میزان جذب کادمیوم توسط گیاه می‌باشد، لذا بررسی فاکتور جذب به جای غلظت می‌تواند عامل مؤثری در جهت تعیین میزان کادمیوم جذب شده به وسیله گیاه باشد. بدین منظور، این تحقیق با هدف بررسی اثربخشی کاربرد کی‌لیت EDTA بر مقدار جذب کادمیوم به وسیله گیاه همیشه بهار در یک خاک تیمار شده با کود گاوی و آلوده به کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش

این پژوهش در سال 1393 در گلخانه‌ای تحقیقاتی واقع در روستای کزاز از توابع شهرستان اراک با هدف بررسی اثر بخشی کی‌لیت EDTA بر جذب کادمیوم به وسیله گل همیشه بهار در یک خاک تیمار شده با کود گاوی انجام شد. به منظور بررسی اثر کاربرد کی‌لیت EDTA بر تغییر میزان جذب کادمیوم به وسیله گیاه همیشه بهار در یک خاک تیمار شده با کود گاوی و آلوده به کادمیوم، خاکی از عمق 0-30 سانتی متر با بافت نسبتاً سبک (جدول 1) از روستای پاکل واقع در اطراف شهرستان اراک با درصد کربن آلی نسبتاً کم انتخاب گردید.

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل سه فاکتوره در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با 18 تیمار در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کود

جدول 1- برخی ویژگی‌های خاک و کود گاوی مورد استفاده در این پژوهش

کود گاوی			خاک		
مقدار	واحد	ویژگی	مقدار	واحد	ویژگی
7/8	-	pH(1:5)	7/6	-	pH
2	دسی زیمنس بر متر	قابلیت هدایت الکتریکی (1:5)	1/0	دسی زیمنس بر متر	قابلیت هدایت الکتریکی
25	درصد	کربن آلی	0/2	درصد	کربن آلی
170	میلی گرم بر کیلوگرم	فسفر قابل استفاده	13	میلی گرم بر کیلوگرم	فسفر قابل استفاده
1/1	درصد	نیتروژن کل	لوم شنی	-	بافت خاک
ND	میلی گرم بر کیلوگرم	کادمیم کل	ND*	میلی گرم بر کیلوگرم	کادمیم کل
5	میلی گرم بر کیلوگرم	سرب کل	5	درصد	کربنات کلسیم معادل
10	میلی گرم بر کیلوگرم	روی کل	11/3	سانتی مول بارمثبت بر کیلوگرم	ظرفیت تبادل کاتیونی

*ND: کادمیوم کل اولیه موجود در نمونه قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

به روش کج‌دال (برمنر، 1996) اندازه‌گیری شد جهت بررسی اثر کارایی کاربرد کی لیت EDTA بر قابلیت دسترسی کادمیوم در گیاه همیشه بهار از فاکتور انباشت زیستی طبق رابطه ذیل کمک گرفته شد (زهانگ و همکاران، 2007).

$$\text{غلظت کادمیوم در شاخساره یا ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)} = \text{فاکتور انباشت زیستی ریشه یا شاخساره} \times \text{غلظت کادمیوم در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم)}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم افزار SAS 9.3 انجام گرفت و مقایسه‌های میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال 5 درصد انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد.

نتایج و بحث

اثرات کاربرد کود گاوی بر ویژگی‌های خاک

نتایج جدول 2 حاکی از معنی‌دار بودن اثر ساده کاربرد کود گاوی بر pH خاک و درصد کربن آلی خاک می‌باشد. کاربرد 25 مگاگرم در هکتار کود گاوی باعث افزایش 0/2 واحدی اسیدیته خاک شد، این در حالی است که اختلاف معنی‌داری در pH خاک همزمان با کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی مشاهده نشد (جدول 3). همچنین کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی به ترتیب باعث افزایش 0/4 و 0/7 درصدی کربن آلی خاک شده است. بقائی و همکاران (2010) در تحقیقی اثر کاربرد کود گاوی بر عملکرد ذرت مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاربرد کود گاوی تأثیر معنی‌داری بر pH خاک نداشته است و دلیل احتمالی آن را گنجایش بافری خاک دانستند.

همزمان با برداشت گیاه، از خاک گل‌دان‌های گیاه همیشه بهار نمونه‌برداری شد. نمونه‌های خاک، پس از هواخشک شدن و کوبیدن، از الک 2 میلیمتری گذرانده و جهت تجزیه مورد نظر به آزمایشگاه منتقل شدند. برای اندازه‌گیری pH و EC کود گاوی در عصاره 1:5 کود گاوی به آب و در مورد نمونه خاک از عصاره اشباع خاک استفاده شده است (سعادت و بارانی مطلق، 1392). بافت خاک به روش هیدرومتری (گی و بادر، 1986) و جهت اندازه‌گیری مقدار کربن آلی خاک و کود از روش هضم تر استفاده شد (نلسن و سامرز، 1982). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به روش کلرید باریم اندازه‌گیری شد (رودز، 1982). شکل قابل جذب کادمیوم در نمونه‌های خاک به وسیله محلول 0/005 DTPA مولار در pH 7/2 اندازه‌گیری شد (لیندزی و نرول، 1978). مقدار کادمیوم کل موجود در خاک و نمونه‌های کودی با روش هضم با اسید فلوتوریک و تیتراسیون سلطانی (اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت 1 به 3) اندازه‌گیری شد (هوسنر، 1996). قابل ذکر است که جهت اطمینان از روش انتخاب شده جهت اندازه‌گیری میزان کادمیوم کل موجود در نمونه‌ها، میزان کادمیوم کل کلیه نمونه‌ها قبل از شروع کشت گیاه اندازه‌گیری شده و نتایج حاکی از آن است که بیش از 90 درصد میزان کادمیوم اضافه‌شده به وسیله این روش قابل بازیابی می‌باشد. فسفر قابل دسترس موجود در نمونه‌های خاک به روش اولسن و همکاران (1954) عصاره‌گیری و با استفاده از روش رنگ‌سنجی تعیین شد (مرفی و ریلی، 1962). ضمناً فسفر کل موجود در نمونه کودی به روش هضم با اسید نیتریک و پرکلریک تعیین شد (اولسن و سامرز، 1982). مقدار کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود تعیین شد (نلسن، 1982). مقدار نیتروژن کود گاوی

جدول 2- تجزیه واریانس اثر کاربرد کود گاوی، کی‌لیت و کادمیوم بر صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	pH	EC	درصد کربن آلی	میانگین مربعات		
					ظرفیت تبادل کاتیونی	مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA	جذب کادمیوم خشک شاخساره
بلوک	2	0/0190**	0/0043 ^{ns}	0/2835 ^{ns}	0/013*	0/1080 ^{ns}	6/1006 ^{ns}
کود گاوی	2	0/3424**	14/8200*	1/5410**	12/4211*	125/300**	46/5955*
کی‌لیت	1	0/0001 ^{ns}	0/0816*	0/0001 ^{ns}	0/0011 ^{ns}	32/280**	86/9630*
کادمیوم	2	0/3668 ^{ns}	0/0650*	1/2210 ^{ns}	0/01114 ^{ns}	445/687*	733/6412*
کی‌لیت × کود گاوی	2	0/0001 ^{ns}	0/0066*	0/0005 ^{ns}	0/0012 ^{ns}	0/738**	9/2966*
کادمیوم × کود گاوی	2	0/0857 ^{ns}	0/0052*	0/3852 ^{ns}	0/0052*	13/135*	13/8243*
کادمیوم × کی‌لیت	4	0/0001 ^{ns}	0/0016*	0/0003 ^{ns}	0/0012 ^{ns}	3/261**	22/6947*
کادمیوم × کی‌لیت × کود گاوی	4	0/0001 ^{ns}	0/0016**	0/00118 ^{ns}	0/0010 ^{ns}	0/437**	2/5817**
خطا	34	0/0059	0/0022	0/0048	0/00123	0/063	1/8621

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد می‌باشد.

جدول 3- ویژگی‌های اندازه‌گیری خاک قبل و بعد از تیمار شدن با کود گاوی*

پارامتر اندازه‌گیری شده	واحد	فاقد کود گاوی	خاک تیمار شده با 25 مگا گرم در هکتار کود گاوی*	خاک تیمار شده با 50 مگا گرم در هکتار کود گاوی
pH	---	7/6 ^{a**}	7/8 ^b	7/9 ^b
کربن آلی	درصد	0/2 ^a	0/64 ^b	0/99 ^c
ظرفیت تبادل کاتیونی	سانتی مول (+) بر کیلوگرم خاک	11/3 ^a	12 ^b	13/2 ^c
نسبت کربن به نیتروژن	-	10 ^a	14 ^b	16 ^c

* تمامی ویژگی‌های خاک تیمار شده در پایان برداشت گیاه اندازه‌گیری شده است، * میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح 5 درصد مقایسه شده‌اند. تفاوت هر دو میانگینی که در هر ردیف دارای یک حرف مشترک هستند معنی‌دار نیست.

اتصال یون کادمیوم به مواد آلی مختلف سمیت این عنصر برای گیاهان را کاهش می‌دهد (اصغری پور و همکاران، 1394)، هر چند که نقش بخش معدنی کود نیز در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین نباید نادیده گرفته شود (شریفی و همکاران، 2010). باستا و همکاران (2005) نیز بار وابسته به pH را یکی از عوامل اصلی در تغییر قابلیت دسترسی فلزات سنگین دانستند. این محققین گزارش کردند که با افزایش pH ویژگی‌های جذبی خاک افزایش یافته و قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک کاهش می‌یابد.

اثر برهمکنش کاربرد کود گاوی، کی‌لیت و کادمیوم بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار شد (جدول 4)، به نحوی که کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک آلوده به 10 میلی‌گرم کادمیوم و بدون کاربرد کلات EDTA به ترتیب باعث افزایش 1/3 و 1/7

کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی نسبت کربن به نیتروژن خاک را به ترتیب 4 و 6 واحدی افزایش داد. همچنین اضافه کردن 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را از 11/3 در خاک شاهد به 12 و 13/2 سانتی مول بر کیلوگرم خاک افزایش داد (جدول 3). شایان ذکر است که کاربرد کود گاوی با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک احتمالاً می‌تواند بر کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و گیاه مؤثر باشد. اصولاً کودهای دامی حاوی مقادیر زیادی مواد هوموسی است. اضافه شدن این ترکیب آلی به خاک می‌تواند با تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی خاک قابلیت دسترسی کادمیوم را دچار تغییر کند (پیتسو و همکاران، 2004). مواد هوموسی دارای دارای تعدادی از ترکیبات نظیر COOH، OH، فنولی، OH اینولیک، OH الکی، کوئین، هیدروکسی کوئین، لاکتون و اتر می‌باشند و

برابری در مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک شد (جدول 3). افزایش شوری خاک با افزودن تیمارهای آلی ممکن است به دلیل وجود املاح محلول نسبتاً فراوان در آنها باشد (خاو و همکاران، 2014).

جدول 4- اثر کود گاوی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک در خاک آلوده به کادمیوم (دسی زیمنس بر متر)

تیمار	E_0Cd_0	E_0Cd_5	E_0Cd_{10}	$E_{2.5}Cd_0$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_{10}$
C_0	2/5 ^g	2/6 ^h	2/6 ^h	2/5 ⁱ	2/6 ^h	2/7 ^g
C_{25}	3/2 ^f	3/2 ^f	3/3 ^e	3/3 ^e	3/3 ^e	3/4 ^d
C_{50}	4/3 ^c	4/3 ^c	4/4 ^b	4/4 ^b	4/4 ^b	4/5 ^a

C_0 ، C_{25} و C_{50} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی، Cd_0 ، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک می باشد. E_0 و $E_{2.5}$ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می باشد، *اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند.

مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA

خاک آلوده به 5 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم و فاقد کاربرد کی لیت EDTA مشاهده شد (جدول 5). مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA در خاک فاقد کاربرد کادمیوم (Cd_0) قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

بیشترین مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک همراه با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و فاقد کود گاوی ($C_0E_{2.5}Cd_{10}$) بود، این در حالی است که کمترین مقدار آن همزمان با کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در

جدول 5- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA (میلی گرم بر کیلوگرم)

تیمار	E_0Cd_0	E_0Cd_5	E_0Cd_{10}	$E_{2.5}Cd_0$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_{10}$
C_0	ND ^{**}	2/0 ^{fg}	6/0 ^b	ND	2/6 ^c	8/5 ^a
C_{25}	ND	1/1 ⁱ	4/5 ^d	ND	1/5 ^h	5/4 ^c
C_{50}	ND	0/7 ^k	1/1 ⁱ	ND	0/9 ^j	1/7 ^g

C_0 ، C_{25} و C_{50} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی، Cd_0 ، Cd_5 و Cd_{10} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک می باشد. E_0 و $E_{2.5}$ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند، ND^{**}: قابل اندازه گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

امری مثبت به نظر می رسد، ولی بر اساس فرضیه بمب زمانی، با گذشت زمان و تجزیه شدن این ترکیبات، فلزات سنگین می توانند مجدداً آزاد و در خاک رها شوند (حسینیان رستمی و همکاران، 1392). لذا بررسی استفاده از راهکارهایی نظیر کاربرد کی لیت های مصنوعی که بتواند راندمان گیاه پالایی را در خاک های حاوی فلزات سنگین افزایش دهد امری ضروری به نظر می رسد، هر چند که عوامل متعددی از قبیل درصد کربن آلی موجود در اینگونه خاک ها می تواند بر میزان اثربخشی کاربرد این کی لیتها در جهت پالایش فلزات سنگین از خاک مؤثر باشد. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در هر سطح

کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم و فاقد کاربرد کی لیت به ترتیب باعث کاهش 1/5 و 4/9 واحدی در مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA شد (جدول 5). سید اشرفی و همکاران (2011) در تحقیقی به نقش کاربرد کودهای آلی در کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک پرداختند. نتایج تحقیق بقائی و همکاران (2011) نیز مبنی بر کاهش قابلیت دسترسی فلز سنگین در خاک تیمار شده با کود گاوی و لجن فاضلاب تأکیدی بر این ادعا است. هر چند که در دید اول کاهش قابلیت دسترسی فلزات سنگین در خاک های حاوی ترکیبات آلی (هر چند اندک)

خاک دانستند. چن و ژیانگ دنگ (2004) در تحقیقی کاربرد کلات EDTA را عامل مؤثری در افزایش فراهمی کادمیوم در خاک دانستند، هر چند که در این تحقیق به نقش ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در تغییر فراهمی فلزسنگین اشاره‌ای نشده است.

جذب کادمیوم

بیشترین مقدار جذب کادمیوم در خاک فاقد کاربرد کود گاوی و کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم مشاهده شد (جدول 6)، این در حالی است که کمترین عملکرد شاخساره گیاه نیز در این تیمار مشاهده شد (جدول 7). قابل ذکر است که کاربرد کی لیت EDTA در هفته پایانی رشد گیاه تأثیری معنی داری بر کاهش عملکرد گیاه نداشته است. صرفه‌نظر از تیمارهای فاقد دریافت کادمیوم (Cd₀), کمترین مقدار آن در خاک تیمار شده با 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک فاقد دریافت کی لیت و آلوده به 5 میلی گرم کادمیوم مشاهده شد (جدول 6). با توجه به اینکه غلظت کادمیوم شاخساره گیاه در تیمارهای فاقد کاربرد کادمیوم قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود، مقدار جذب کادمیوم در این تیمارها محاسبه نگردیده است.

کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است باعث افزایش معنی داری در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شود. کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA، در خاک فاقد کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم (C₀E_{2.5}Cd₁₀) سبب افزایش 2/5 واحدی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شده است، این در حالی است که کاربرد این میزان کی لیت در خاک مشابهی با کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی نیز به ترتیب باعث افزایش 0/9 و 0/6 واحدی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA شده است (جدول 5). کاهش میزان اثربخشی کاربرد کی لیت در افزایش مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک تیمار شده با کود گاوی را احتمالاً می‌توان به دلیل اثر رقابتی کود و کی لیت بر میزان کادمیوم قابل دسترس در خاک نسبت داد، هر چند که نوع ماده آلی افزوده شده، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و نوع منبع فلز سنگین می‌تواند عامل مهمی در میزان این اثربخشی باشد. نتایج تحقیق لیفادزی و کیرخام (2006) حاکی از کاهش راندمان اثر کاربرد کلات EDTA بر میزان فراهمی کادمیوم در خاک تیمار شده با کود آلی می‌باشد و دلیل آن را به نقش کاربرد کود آلی در کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در

جدول 6- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر جذب کادمیوم شاخساره گیاه (گرم در هکتار)

E _{2.5} Cd ₁₀	E _{2.5} Cd ₅	E _{2.5} Cd ₀	E ₀ Cd ₁₀	E ₀ Cd ₅	E ₀ Cd ₀	تیمار
18/0 ^a	13/9 ^b	0	11/1 ^{cd}	8/3 ^{ef}	0	C ₀
14/5 ^b	10/3 ^{cde}	0	11/6 ^c	8/8 ^{d^{ef}}	0	C ₂₅
10/3 ^{cde}	8/9 ^{def}	0	7/3 ^{fg}	5/9 ^g	0	C ₅₀

C₀, C₂₅ و C₅₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی، Cd₀، Cd₅ و Cd₁₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E₀ و E_{2.5} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند.

جدول 7- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر عملکرد شاخساره گیاه همیشه بهار (کیلوگرم در هکتار)

E _{2.5} Cd ₁₀	E _{2.5} Cd ₅	E _{2.5} Cd ₀	E ₀ Cd ₁₀	E ₀ Cd ₅	E ₀ Cd ₀	تیمار
13881/0 ⁱ	13961/0 ^h	14001/0 ^g	13897/0 ⁱ	13975/0 ^h	14017/0 ^g	C ₀
14582/0 ^f	14762/0 ^d	15312/0 ^b	14595/0 ^f	14776/0 ^d	15326/0 ^b	C ₂₅
14733/0 ^e	14913/0 ^c	15463/0 ^a	14745/0 ^e	14928/0 ^c	15740/0 ^a	C ₅₀

C₀, C₂₅ و C₅₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی، Cd₀، Cd₅ و Cd₁₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E₀ و E_{2.5} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند.

میلی‌مول کی لیت EDTA در خاک آلوده به 10 میلی‌گرم

کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی همراه با 2/5

لیت EDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث افزایش 25 و 41 درصدی در جذب کادمیوم شده است. افزایش راندمان 16 درصدی در جذب کادمیوم در خاک تیمار شده با 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی را احتمالاً می توان به نقش مثبت کاربرد کود گاوی در افزایش عملکرد شاخساره گیاه و در نتیجه کاهش استرس گیاه به کادمیوم و جذب بیشتر کادمیوم دانست. فتاحی کیاسری و همکاران (1389) در تحقیقی به نقش مثبت کاربرد اسید سولفوریک و کی لیت EDTA بر افزایش جذب فلز سنگین توسط گیاه ذرت و پنبه اشاره کردند.

فاکتور انباشت زیستی

فاکتور انباشت زیستی شاخصی برای توانایی گیاه در تجمع یک فلز خاص نسبت به غلظت آن فلز در بستر خاک می باشد تغییر در میزان فاکتور تجمع زیستی به زیست توده هر گیاه و غلظت عنصر بستگی دارد. بر اساس فاکتور انباشت زیستی پتانسیل گونه گیاهی برای تثبیت و استخراج گیاهی مشخص می شود (جهانبخشی و همکاران، 1393). بیشترین فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه را می توان در خاک فاقد کاربرد کود گاوی و تیمار شده با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک مشاهده شد (جدول 8)، کمترین فاکتور انباشت زیستی ریشه گیاه مربوط به کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و فاقد کاربرد کی لیت EDTA در خاک آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک بود. بخش معدنی و آلی موجود در کود گاوی احتمالاً توانسته است با افزایش ویژگی های جذبی خاک باعث کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک و به دنبال آن کاهش فاکتور انباشت زیستی ریشه گیاه شود.

کادمیوم، کاهش معنی داری را در جذب کادمیوم نسبت به خاک بدون کاربرد کود نشان داد، این در حالی است که افزایش معنی داری در عملکرد شاخساره گیاه (جدول 7) و کاهش معنی داری در مقدار کادمیوم قابل عصاره گیری با DTPA (جدول 5) همزمان با کاربرد 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی مشاهده می شود. بر اساس نتایج مشاهده شده چنین می توان نتیجه گیری کرد که کاربرد کود گاوی با کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم خاک باعث افزایش معنی دار عملکرد شاخساره گیاه و کاهش جذب کادمیوم گیاه شده است. با وجود اینکه احتمالاً کاهش جذب کادمیوم توسط گیاه در خاک آلوده در دید اول به عنوان عامل مثبتی در حفظ محیط زیست در نظر گرفته می شود، ولی بر اساس فرضیه بمب زمانی (حسینیان رستمی و همکاران، 1392) زمانی که این ترکیبات آلی در خاکها تجزیه شود، احتمالاً بخشی از فلزات تثبیت شده می تواند مجدداً در خاک رها شده و باعث آلودگی زیست محیطی شود، لذا استفاده کی لیت EDTA احتمالاً می تواند به عنوان راهکار مناسبی در جهت پالایش فلزات سنگین از خاک امری ضروری به نظر می رسد، بنابراین بررسی میزان جذب فلز کادمیوم در خاک های حاوی افزودنی های آلی بایستی مد نظر قرار گیرد.

در تمامی سطوح کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانست باعث افزایش جذب کادمیوم توسط شاخساره گیاه شود که دلیل این را می توان به نقش کاربرد کی لیت EDTA در افزایش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک (جدول 5) و به دنبال آن افزایش جذب کادمیوم توسط شاخساره گیاه دانست، این در حالی است که کاهش معنی داری در عملکرد گیاه همزمان با کاربرد کلات EDTA مشاهده نشده است. همانطور که در جدول 6 مشاهده می شود، کاربرد 2/5 میلی مول کی

جدول 8- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر فاکتور انباشت زیستی ریشه کادمیوم

$E_{2.5}Cd_{10}$	$E_{2.5}Cd_5$	$E_{2.5}Cd_0$	E_0Cd_{10}	E_0Cd_5	E_0Cd_0	تیمار
0/97 ^a	0/66 ^d	----	0/92 ^b	0/63 ^c	----	C ₀
0/71 ^c	0/43 ^f	----	0/66 ^d	0/36 ^e	----	C ₂₅
0/26 ⁱ	0/32 ^h	----	0/19 ^k	0/22 ^j	----	C ₅₀

C₀، C₂₅ و C₅₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی، Cd₀، Cd₅ و Cd₁₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E₀ و E_{2.5} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی مول کی لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می باشد. * اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می باشند از نظر آماری اختلاف معنی داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند،

فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه نشان داد، به نحوی که کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک

در تمامی سطوح کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است افزایش معنی داری را در

داشته باشد.

نتایج جدول 9 حاکی از بیشترین فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه در خاک فاقد کاربرد کود گاوی و تیمار شده با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به پنج میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک می‌باشد ، این در حالی است که کمترین فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در خاک فاقد کاربرد کی لیت EDTA و تیمار شده با 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 5 میلی گرم کادمیوم مشاهده شد. قابل توجه است که همزمان با افزایش آلودگی خاک از پنج به ده میلی گرم کادمیوم در کیلو گرم خاک (C₅₀E₀Cd₁₀) تأثیر معنی‌داری در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه مشاهده نشد.

در تمامی سطوح کود گاوی، کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA باعث افزایش معنی‌دار فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه شده است، به نحوی که کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک به ترتیب باعث افزایش معنی دار 0/04 و 0/06 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم گیاه شده است.

تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث افزایش 0/05 و 0/07 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه شد.

افزایش کاربرد کود گاوی باعث کاهش فاکتور غلظت زیستی کادمیوم ریشه گیاه شد، به نحوی که کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در حاکی با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش 0/26 و 0/71 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در ریشه گیاه همیشه‌بهار شد، این در حالی است که نتایج مشابهی در مقدار کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA مشاهده شد و دلیل احتمالی آن را می‌توان به نقش بخش معدنی و آلی کود گاوی در افزایش مکان‌های جذبی خاک و کاهش قابلیت دسترسی کادمیوم در خاک دانست (شوومن و همکاران، 2002). نتیجه کلی این بخش حاکی از آن است که هر چند افزایش کاربرد سطوح کود گاوی باعث کاهش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه شده است، ولی کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است نقش مؤثری در افزایش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در ریشه گیاه همیشه‌بهار

جدول 9- اثر کود گاوی، کی لیت و کادمیوم بر فاکتور انباشت زیستی شاخساره کادمیوم

E _{2.5} Cd ₁₀	E _{2.5} Cd ₅	E _{2.5} Cd ₀	E ₀ Cd ₁₀	E ₀ Cd ₅	E ₀ Cd ₀	تیمار
0/33 ^b	0/42 ^a	ND	0/30 ^c	0/35 ^b	ND [*]	C ₀
0/30 ^c	0/27 ^d	ND	0/26 ^d	0/22 ^c	ND	C ₂₅
0/16 ^f	0/18 ^f	ND	0/10 ^g	0/12 ^g	ND	C ₅₀

C₀، C₂₅ و C₅₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی، Cd₀، Cd₅ و Cd₁₀ به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0، 5 و 10 میلی‌گرم کادمیوم در کیلوگرم خاک، E₀ و E_{2.5} به ترتیب شامل کاربرد مقادیر 0 و 2/5 میلی‌مول کی‌لیت EDTA بر کیلوگرم خاک می‌باشد. ** اعدادی که در هر ستون یا ردیف دارای حروف مشابه آماری می‌باشند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح 5 درصد ندارند، ND^{*}: قابل اندازه‌گیری به وسیله دستگاه جذب اتمی نبود.

غلظت کادمیوم در بافت‌های گیاهی ذرت، یونجه و گل جعفری مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که در هر سه گیاه مقدار فاکتور انباشت زیستی کادمیوم در تیمارهای کاربرد کود آلی بیشتر از تیمارهای فاقد کاربرد کود آلی بوده است و خطر انتقال کادمیوم از خاک به بخش‌های خوراکی گیاه در حضور کودهای آلی کمتر است. هر چند که کاربرد کی لیت EDTA نقش مثبتی در افزایش پالایش کادمیوم در خاک توسط گیاه همیشه بهار داشته است، ولی نتایج جدول 8 و 9 حاکی از آن است که در تمامی تیمارها فاکتور انباشت زیستی ریشه و شاخساره کمتر از یک است و این حاکی از آن است که انتقال

افزایش کاربرد کود گاوی باعث کاهش فاکتور انباشت زیستی شاخساره کادمیوم در این پژوهش شده است، به نحوی که کاربرد 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی در خاک تیمار شده با 2/5 میلی مول کی لیت EDTA و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم به ترتیب باعث کاهش 0/03 و 0/17 واحدی در فاکتور انباشت زیستی کادمیوم شاخساره گیاه شده است. نتایج مشابه مشاهده شده در مورد کاهش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه گیاه نیز تأییدی بر این ادعا است. شریفی و همکاران (1389) در تحقیقی کاربرد اثر لجن فاضلاب کارخانه پلی‌اکریل اصفهان، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد گیاه و

کادمیوم از خاک به ریشه و شاخساره دچار محدودیت شده است. لازم به ذکر است که به دلیل معنی دار نشدن مقایسات آماری در مورد اعداد فاکتور انتقال کادمیوم از ذکر اعداد این جدول خودداری شده است.

نتیجه گیری کلی

کاربرد کود گاوی در این پژوهش احتمالاً توانسته است با کاهش استرس گیاه به فلز کادمیوم باعث افزایش زیست توده گیاه در خاک آلوده به کادمیوم شود. با توجه به تجزیه کودهای آلی طی گذر زمان و از سویی دیگر توزیع مجدد فلزات سنگین در خاک، گیاه پالایی خاک‌های تیمار شده با افزودنی‌های آلی و آلوده به فلزات سنگین امری ضروری به نظر می‌رسد که در این میان، شرایط فیزیکوشیمیایی خاک از قبیل درصد ماده الی خاک می‌تواند عامل مؤثری در جهت میزان اثربخشی کاربرد کلات EDTA بر میزان کادمیوم خارج شده از زمین و بالطبع جذب آن توسط گیاه باشد. همچنین با توجه به

نقش عملکرد گیاه در میزان کادمیوم خارج شده از زمین، محاسبه میزان کادمیوم جذب شده توسط گیاه امری ضروری به نظر می‌رسد. کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA در خاک تیمار شده با 25 و 50 مگاگرم در هکتار کود گاوی و آلوده به 10 میلی گرم کادمیوم باعث افزایش معنی‌دار غلظت کادمیوم شاخساره گیاه شد. میزان جذب کادمیوم روند مثبت و معنی‌داری را با غلظت کادمیوم شاخساره گیاه نشان داد. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که کاربرد 2/5 میلی مول کی لیت EDTA توانسته است با افزایش فاکتور انباشت زیستی کادمیوم ریشه و شاخساره گیاه باعث افزایش میزان جذب کادمیوم گیاه در جهت پالایش کادمیوم شود، هر چند که در این میان نوع و میزان کی لیت به کار برده شده و اثر باقیمانده کاربرد کود آلی موجود در خاک می‌تواند به عنوان عامل مهمی در جهت تغییر راندمان پالایش فلز کادمیوم در خاک به حساب آید.

فهرست منابع:

1. اصغری پور، م. ر. و رحمانیان کوشکی، ب. 1394. بررسی واکنش عدس به آلودگی کادمیوم ناشی از کمپوست زباله شهری و نمک کادمیوم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد 19، شماره 71، صفحه: 349-358.
2. اولیایی، ح. ر. و شریفی، ع. 1393، تأثیر سطوح و رمی کمپوست بر قابلیت تحرک سرب و کادمیم در ستون‌های خاک، نشریه پژوهش‌های خاک، جلد 28، شماره 3، صفحه 531-542.
3. بابائیان، ا. و همایی، م. 1389. افزایش کارایی استخراج سرب از خاک بوسیله شاهی با استفاده از اسیدهای آمینو پلی کربوکسیلیک. نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 6، صفحه: 1142-1150.
4. جعفرنژادی، ع.، همایی، م.، صیاد، غ. و بای بوردی، م. 1391. ارزیابی ویژگی‌های مؤثر خاک بر وضعیت غلظت کادمیم در خاک و بذر گندم در برخی خاک‌های آهکی خوزستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 19، شماره 2، صفحه: 149-164.
5. جهانبخشی، ش.، رضایی، م. ر. و سیاری زهان، م. ح. 1393. مقایسه تأثیر گیاه پالایی شاهی و اسفناج در خاک‌های آلوده به کادمیوم و کروم. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. جلد 18، شماره 70، صفحه: 1-12.
6. حسینیان رستمی، ق.، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا. و لکزیان، ا. 1392. اثر زمان بر توزیع شکل‌های شیمیایی سرب در خاک آلوده، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 27، شماره 5، صفحه: 1057-1066.
7. سعادت، ک. و بارانی مطلق مجتبی، م. 1392. اثر ژئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی ایران بر جذب سرب و کادمیوم لجن فاضلاب کاربردی توسط ذرت (*Zea mays*. L)، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 20، شماره 4، صفحه: 123-143.
8. شریفی، م.، افیونی، م. و خوشگفتارمنش، ا. م. 1389. تأثیر لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد و عملکرد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری. علوم و فنون کشت گلخانه‌ای، جلد اول، شماره 2، صفحه: 43-53.

9. فتاحی‌کیاسری، ا.، فتوت، ا.، آستارایی، ع. و حق‌نیا، غ. 1389. اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه آفتابگردان، ذرت و پنبه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد 14، شماره 51. صفحه: 69-57.
10. روانبخش، م. ح.، فتوت، ا. و حق‌نیا، غ. 1390. اثر لجن فاضلاب، مقدار رس و زمان بر شکل‌های شیمیایی نیکل و کادمیم در چند خاک آهکی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 25، شماره 3، صفحه: 446-458.
11. عربی، ز.، همایی، م. و اسدی، م. ا. 1389. مقایسه آثار افزودن اسید سیتریک و کی‌لیت‌های مصنوعی بر افزایش پالایش گیاهی کادمیم از خاک. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 14، شماره 54، صفحه: 95-85.
12. Baghaie, A., A. H. Khoshgoftarmanesh, M. Afyuni and R. Schulin. 2011. The role of organic and inorganic fractions of cow manure and biosolids on lead sorption. *Soil Sci. Plant Nutr.* 57: 11-18.
13. Baghaie, A. H., A. H. Khoshgoftarmanesh and M. Afyuni. 2010. Crop effects on lead fractionation in a soil treated with lead organic and inorganic sources. *J. Residuals Sci. Tech.* 7: 131-138.
14. Banaaraghi, N., M. Hoodaji and M. Afyuni. 2010. Use of EDTA and EDDS for enhanced ZeaMays' phytoextraction of heavy metals from a contaminated soil. *J. Residuals Sci. Tech.* 7: 139-145.
15. Basta, N.T., Ryan, J.A. and R.L Chaney. 2005. Trace element chemistry in residual treated soil: Key concepts and metal bioavailability. *J. Environ. Qual.*, 34, 49-63.
16. Benton, J., and V.W. Case. 1990. Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. P 389-428, In Westerman, R.L. (ed.). *Soil testing and plant analysis*. 3rd ed. Book series No. 3. SSSA J., Inc. Madison, WI., USA.
17. Bremner, J. M. 1996. Nitrogen-total. P. 1085-1122. In D. L. Sparks et al., (eds.) *Methods of Soil Analysis*. Part 3, 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison. WI.
18. Clabeaux, B. L., D. A. Navarro, D. S. Aga and M. A. Bisson. 2013. Combined effects of cadmium and zinc on growth, tolerance, and metal accumulation in *Chara australis* and enhanced phytoextraction using EDTA. *Ecotox. Environ. Safety* 98: 236-243.
19. Chen, Y. and L.Z. Xiangdong, 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process. *Chemosphere* 57, 187-196.
20. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis*. Klute, A. Madison, WI, ASA: 383-409.
21. Ghosh, M. and S.P. Singh, 2005. A comparative study of cadmium phytoextraction by accumulator and weed species, *Environ. Pollut.*, 133: 365-371.
22. Gisbert, C., R. Ros., A. De Haro., D.J. Walker., M.P. Bernal, R. Serrano and J. Navarro-Avino, 2003. A plant genetically modified that accumulates Pb is especially promising for phytoremediation, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 303: 440-445.
23. Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. P 49-64, In *Methods of soil analysis*. Sparks, D.L., (ed.). ASA and SSSA. Madison, WI.
24. Huang, B., S. Kuo and R. Bembenek. 2004. Chloride salinity reduces cadmium accumulation by the Mediterranean halophyte species *Atriplex halimus* L. *Environ. Exp. Bot.*, 65:142-152.
25. Li, J., Y. Sun, Y. Yin, R. Ji, J. Wu, X. Wang and H. Guo. 2010. Ethyl lactate-EDTA composite system enhances the remediation of the cadmium-contaminated soil by Autochthonous Willow (*Salix x aureo-pendula* CL 'J1011') in the lower reaches of the Yangtze River. *J. Hazard Mater.* 181: 673-678.
26. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 42: 421-428.

27. Liphadzi M., and M. Kirkham, 2006. Availability and plant uptake of heavy metals in EDTA-assisted phytoremediation of soil and composted biosolids. *S. Afr. J. Bot.*, 72: 391-397.
28. Ma, R., H. Hou, K. Mai, A. S. Bharadwaj, F. Ji and W. Zhang. 2014. Comparative study on the bioavailability of chelated or inorganic zinc in diets containing tricalcium phosphate and phytate to turbot (*Scophthalmus maximus*). *Aquaculture* 420–421: 187-192.
29. Meighan, M. M., T. Fenus, E. Karey and J. MacNeil. 2011. The impact of EDTA on the rate of accumulation and root/shoot partitioning of cadmium in mature dwarf sunflowers. *Chemosphere* 83: 1539-1545.
30. Murphy, J. and H. P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta.* 27: 31-36.
31. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. *Methods of soil analysis*. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA: 539-580.
32. Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. *Methods of soil analysis*. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA: 181-197.
33. Nowack, B., R. Schulin and B. H. Robinson. 2006. Critical assessment of chelant-enhanced metal phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.* 40: 225– 5232.
34. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circular 939*, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
35. Olsen, S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. *Methods of soil analysis*. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA: 403-431.
36. Pinto, A., A. Mota, A. De Varennes and F. Pinto. 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Total Environ.* 326: 239-247.
37. Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. *Methods of soil analysis*. Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney. Madison, Wisconsin, USA, ASA: 149-157.
38. Rivera, M. B., M. I. Giráldez and J. C. Fernández-Caliani. 2016. Assessing the environmental availability of heavy metals in geogenically contaminated soils of the Sierra de Aracena Natural Park (SW Spain). Is there a health risk? *Sci. Total Environ.* 560–561: 254-265.
39. Saha, N., M. Z. I. Mollah, M. F. Alam and M. Safiur Rahman. 2016. Seasonal investigation of heavy metals in marine fishes captured from the Bay of Bengal and the implications for human health risk assessment. *Food Control* 70: 110-118.
40. Salt, D. E., M. Blaylock, N. P. Kumar, V. Dushenkov, B. D. Ensley, I. Chet and I. Raskin. 1995. Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Nat. Biotechnol.* 13: 468-474.
41. Seyedashrafy, H., M. Majidian, A. H. Baghaie, A. H. Khoshgoftarmanesh and M. Gomarian. 2011. Influence of organic and inorganic zinc sources on zinc availability in soil and its uptake by barley. *J. Residuals Sci. Tech.* 8: 29-35.
42. Sharifi, M., M. Afyuni and A. Khoshgoftarmanesh. 2010. Effects of sewage sludge, animal manure, compost and cadmium chloride on cadmium accumulation in corn and alfalfa. *J. Residuals Sci. Tech.* 7: 219-225.
43. Shuman, L. M., S. Dudka and K. Das. 2002. Cadmium forms and plant availability in compost-amended soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33: 737–748.
44. Tanhan, P., M. Kruatrachue, P. Pokethitiyook and R. Chaiyarat. 2007. Uptake and accumulation of cadmium, lead and zinc by Siam weed [*Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson]. *Chemosphere* 68: 323–329.

45. Zhang, T., H. Wei, X.-H. Yang, B. Xia, J.-M. Liu, C.-Y. Su and R.-L. Qiu. 2014. Influence of the selective EDTA derivative phenyldiaminetetraacetic acid on the speciation and extraction of heavy metals from a contaminated soil. *Chemosphere* 109: 1-6.
46. Zhao, Y., Z. Yan, J. Qin and Z. Xiao. 2014. Effects of long-term cattle manure application on soil properties and soil heavy metals in corn seed production in Northwest China. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 21: 7586-7595.
47. Zhuang, P., Q. Yang, H. Wang and W. Shu. 2007. Phytoextraction of heavy metals by eight plant species in the field. *Water Air Soil Pollut.* 184: 235-242.

Effect of EDTA Chelate and Cow Manure on Cd Uptake by Pot Marigold in a Polluted Soil

H. R. Mashayekhi, A. H. Baghaie¹ and M. Gomarian

Department of Horticulture, Saveh branch, Islamic Azad University, Saveh, Iran;

E-mail: hamidrezamashayekhi@yahoo.com

Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran;

E-mail: a-baghaie@iau-arak.ac.ir

Department of Plant Breeding, Arak branch, Islamic Azad University, Arak, Iran;

E-mail: m-gomarian@iau-arak.ac.ir

Received: June, 2016 and Accepted: May, 2017

Abstract

Any cadmium (Cd) contaminated soil might cause reduction in plants' yield and increase the hazard of Cd-contaminated plants consumption by both human and animals. The research aimed to investigate the effect of EDTA chelate on Cd uptake in pot marigold (*Calendula officinalis L.*). A factorial experiment using randomized complete blocks was used in three replications. Treatments included application of 0(C0), 25(C25), and 50(C50) Mg ha⁻¹ cow manure in a Cd polluted soil [0(Cd₀), 5(Cd₅), and 10 (Cd₁₀) mg Cd kg⁻¹ soil] and two rates of EDTA chelate (0 and 2.5 mmol kg⁻¹ soil). Applying 2.5 mmol EDTA chelate caused significant increase in shoot Cd uptake by 21% and 25% in a Cd polluted soil (10 mg Cd kg⁻¹ soil) treated with 25 and 50 Mg ha⁻¹ cow manure, respectively. Also, addition of 2.5 mmol EDTA chelate caused an increase in the root and shoot bio-concentration factor. The results of this experiment showed that applying 2.5 mmol EDTA would increase the Cd availability, which could be considered as a factor that plays an important role in Cd remediation in soils treated with organic amendments.

Keywords: Bio-concentration, Cadmium availability, Cd remediation, Organic amendments

¹Corresponding author: Department of Soil Science, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.