

اثرات کمپوست زباله شهری و EDTA (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید) بر گیاه پالایی سطوح مختلف سرب و کادمیم توسط آفتابگردان

امیر مصلحی¹، مجید فکری و امیر فتوت

دانشجوی سابق کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ Moslehi2012@gmail.com

دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ mjdfekri@yahoo.com

دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه فردوسی مشهد؛ afotovat@yahoo.com

دریافت: 92/1/26 و پذیرش: 92/11/21

چکیده

آلودگی فلزات سنگین یکی از جدی‌ترین مشکلات زیست محیطی است که در سراسر دنیا در حال گسترش می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور مطالعه اثر EDTA (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید) و کمپوست زباله‌ی شهری و هم چنین سطوح مختلف آلودگی سرب و کادمیم خاک بر وزن خشک گیاه، غلظت، مقدار و شاخص جذب عناصر سرب و کادمیم در گیاه آفتابگردان انجام شد. این آزمایش به صورت دو آزمایش مستقل در قالب طرح فاکتوریل با پایه کاملاً تصادفی با سه سطح آلودگی کادمیم (0، 50 و 100 میلی گرم بر کیلوگرم) و سه سطح آلودگی سرب (0، 100 و 200 میلی گرم بر کیلوگرم) و چهار نوع کلات کننده شاهد، EDTA، کمپوست زباله شهری و کاربرد توأم EDTA و کمپوست زباله شهری اجرا شد. نتایج نشان داد که در سطح آلودگی 200 میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک، کلات کننده توأم کمپوست و EDTA سبب افزایش غلظت بخش هوایی، شاخص جذب و مقدار کل سرب به ترتیب به مقدار 2/36، 1/83 و 2/13 برابر نسبت به شاهد شد و در سطح آلودگی 100 میلی گرم کادمیم بر کیلوگرم خاک این کلات کننده سبب افزایش غلظت کادمیم بخش هوایی، شاخص جذب و مقدار کل کادمیم به ترتیب به مقدار 48/۰۳، 2/۲ و 2/11 برابر نسبت به شاهد شد. به طور کلی کلات کننده توأم کمپوست زباله شهری و EDTA سبب بیشترین افزایش غلظت و مقدار عناصر سرب و کادمیم در گیاه نسبت به سایر کلات کننده‌ها و شاهد شد.

واژه‌های کلیدی: اتیلن دی آمین تترا استیک اسید، آلودگی فلزات سنگین، کلات کننده‌ها

¹ نویسنده مسئول، آدرس: خراسان رضوی، شهرستان بردسکن، روستای علی آباد کشمیر، کوچه شهید ابراهیمی، پلاک 18- کد پستی

مقدمه

افزایش مقدار 1/5 و 3 میلی مول EDTA سبب افزایش معنی دار سرب در ریشه و بخش هوایی گیاهان آفتابگردان، پنبه و ذرت شد و هم چنین EDTA سبب افزایش فراهمی عنصر سرب در خاک شد. این تحقیق با رویکرد کاهش مقدار سرب و کادمیم مناطق آلوده به این عناصر با استفاده از گیاه آفتابگردان که سیستم ریشه‌ای قوی داشته و هم چنین زیست توده بالایی به وجود می‌آورد، انجام شد. به منظور بررسی افزایش هر چه بیشتر جذب فلزات سرب و کادمیم تحت تأثیر کلات کننده‌ها، از کلات کننده‌های کمپوست زباله شهری و EDTA و کاربرد توأم آنها استفاده شد. این تحقیق با هدف مطالعه اثر کلات کننده‌ها بر روی خاک‌های آلوده به سطوح مختلف سرب و کادمیم به منظور تعیین شاخص جذب، وزن خشک گیاه، غلظت و مقدار جذب سرب و کادمیم توسط گیاه آفتابگردان انجام شد.

مواد و روش‌ها

نمونه خاک مورد آزمایش از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان به روش زیگزاگی از عمق 0-30 با اوگر نمونه برداری شد. سپس به منظور یکنواخت نمودن نمونه‌ها آنها را با هم مخلوط کرده و از آنها یک نمونه‌ی مرکب جداسازی شد. نمونه خاک پس از هوا خشک کردن و گذراندن از الک 2 میلی متری برای تجزیه‌های شیمیایی به آزمایشگاه فرستاده شد. نتایج تجزیه برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک در جدول شماره 1 و نتایج تجزیه کمپوست زباله‌ی شهری مورد مطالعه که از زباله‌ی شهری شهر کرمان تهیه شده بود در جدول شماره 2 آورده شده است. بافت خاک به روش هیدرومتری (جی و بادر، 1986)، pH خاک در گل اشباع به وسیله الکتروود شیشه‌ای (توماس، 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی در گل اشباع خاک بوسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی (رودز، 1996)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جانشینی کاتیون‌ها با استات سدیم در pH=7 (سامر و میلر، 1996)، کربنات کلسیم معادل به روش خشی‌سازی با اسیدکلریدریک (نلسون، 1982)، فسفر قابل استفاده به روش اولسن و همکاران (1954)، کربن آلی به روش والکی و بلاک (1934)، غلظت کادمیم و سرب عصاره‌گیری شده با EDTA (ویرو، 1955) به وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید.

کمپوست مورد آزمایش از زباله‌ی شهری کرمان تهیه شده بود و پس از هوا خشک شدن از الک 0/2 میلی متری عبور داده شد و به آزمایشگاه منتقل شد. برخی از خصوصیات شیمیایی آن نظیر pH و قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره یک به پنج ماده کمپوست به آب،

خاک‌ها و آبهای آلوده به فلزات سنگین، محیط‌زیست و سلامت انسان را به خطر می‌اندازد (لائو و همکاران، 2005). از عوارض مزمن کادمیم می‌توان به بالا رفتن فشار خون، امراض قلبی، نارسایی کبدی و کلیوی، نرم شدن استخوان‌ها، آسیب به کلیه و ریه‌ها اشاره کرد (رودریگز و همکاران، 2008). سرب بعد از انتقال در خون به نقاط مختلف بدن منتقل شده و در اندام‌هایی مانند کلیه، کبد، طحال، سیستم‌های عصبی، مغز استخوان و غدد فوق کلیوی جمع می‌شود و بالا رفتن غلظت آن ایجاد سمیت شدیدی می‌کند که در اثر عدم درمان و جلوگیری از آلودگی بیشتر به مرگ منتهی می‌شود (صاحب قدم لطفی، 1367). با توجه به خطرات زیست محیطی عناصر سرب و کادمیم و احتمال جذب و ورود این عناصر به زنجیره‌ی غذایی و تهدید سلامت انسان‌ها، موضوع استفاده از گیاهان به منظور پالایش این عناصر از محیط زیست و خروج این عناصر از خاک در دهه‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

روش‌های قدیمی مرسوم پاک‌سازی مناطق آلوده مانند حفاری خاک و انباشتن، تبدیل به شیشه کردن، شستشوی با اسید و غیره، عموماً هزینه زیادی در بر داشته و اغلب باعث تخریب ساختمان و مواد آلی خاک می‌شود (لائو و همکاران، 2005؛ کومارک و همکاران، 2007). گیاه‌پالایی نسبت به روش‌های ذکر شده، هزینه‌ی کمتری در برداشته و علاوه بر عدم تخریب ساختمان و عدم هدر رفتن مواد آلی خاک، سازگار با محیط زیست نیز می‌باشد (سالت و همکاران، 1998).

بیشتر آزمایشات در مورد گیاه پالایی بر روی گیاهان زراعی با زیست توده‌ی بالا مثل ذرت و آفتابگردان و اقدامات مدیریتی خاک و روش‌های شیمیایی (مانند استفاده از کلات کننده‌ها) جهت افزایش جذب فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان متمرکز شده است (بلی لاک و همکاران، 1997؛ هوانگ و همکاران، 1997؛ شن و همکاران، 2002؛ چن و همکاران، 2004). در تحقیقی که توسط چرم و همکاران (1388) به منظور اثر EDTA و کمپوست بقایای نیشکر بر افزایش جذب فلزات کادمیم و نیکل و سرب در گیاه کلزا انجام شد به این نتیجه رسیدند که کلات کننده‌های EDTA و کمپوست بقایای نیشکر سبب افزایش جذب این فلزات در بخش هوایی گیاه شدند. لائو و همکاران (2005) نیز بیان داشتند که EDTA سبب افزایش حلالیت فلزات کادمیم و سرب در خاک شد. در تحقیق دیگری که توسط فتاحی کیاسری و همکاران (1389) انجام شد به این نتیجه رسیدند که

سپس 48 ساعت در آون با دمای 65 درجه سانتی‌گراد خشک گردید تا وزن آنها به حد ثابتی برسد. گیاهان پس از توزین به وسیله آسیاب برقی پودر و به منظور تهیه عصاره برای اندازه‌گیری سرب و کادمیم گیاهان از روش هضم‌تر استفاده شد. در عصاره بدست آمده غلظت یون-های سرب و کادمیم به وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. داده‌های حاصل از آزمایش‌ها توسط نرم افزار SAS تحلیل آماری شد و نمودارهای مربوطه با برنامه EXCEL رسم و نتایج تفسیر گردید.

نتایج و بحث

غلظت سرب و کادمیم خاک در پایان آزمایش

نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش کلات کننده‌ها به خاک، غلظت عناصر سرب و کادمیم خاک در پایان آزمایش نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری پیدا کرد که در این میان کلات کننده توأم کمپوست و EDTA و سپس کلات کننده EDTA نسبت به سایر کلات کننده‌ها در تمامی سطوح آلودگی مؤثرتر بود.

کاربرد کلات کننده‌ها در خاک سبب افزایش حلالیت و فراهمی سرب و کادمیم خاک در پایان آزمایش شد که شاید مهم‌ترین دلیل آن را بتوان به تشکیل کمپلکس پایدار کلات کننده‌ها با این فلزات و جلوگیری از رسوب آنها در خاک ارتباط داد. در آزمایشی که توسط لیفادزی و کیرخام (2006) صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که فلزات سنگین با مواد آلی موجود در خاک کمپلکس تشکیل داده و EDTA این فلزات سنگین کمپلکس شده را به صورت محلول در می‌آورد. به نظر می‌رسد که دلیل افزایش بیشتر غلظت سرب و کادمیم تحت تأثیر کلات کننده توأم کمپوست و EDTA، نیز همین باشد و احتمالاً فلزات با کمپوست کمپلکس تشکیل داده و سپس EDTA آنها را به صورت محلول در آورده است.

پس از کلات کننده توأم کمپوست و EDTA، کلات کننده EDTA نسبت به کمپوست مؤثرتر ظاهر شد که این روند نیز شاید به علت خاصیت EDTA در محلول‌سازی و رهاسازی فلزات سرب و کادمیم از ذرات خاک بوده است. یکی دیگر از دلایل افزایش غلظت کادمیم و سرب خاک در اثر کاربرد کلات کننده‌ها نسبت به شاهد، احتمالاً اثر کاهشی این کلات کننده‌ها بر pH خاک بوده است. کاربرد کلات کننده‌ها در خاک سبب کاهش pH خاک نسبت به شاهد در تمامی سطوح آلودگی خاک شد. با کاهش pH خاک احتمالاً مقدار یون هیدروژن در سطوح تبادل ذرات خاک افزایش یافته و باعث رهاسازی بیشتر کاتیون‌های کادمیم و سرب جذب سطحی شده ذرات به محلول خاک شده و حلالیت این عناصر را در محلول

غلظت سرب و کادمیم به وسیله دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. آزمایش در گلخانه‌ی تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه سطح عنصر سرب (0، 100 و 200 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و سه سطح عنصر کادمیم (0، 50 و 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) و کلات کننده‌ها که شامل شاهد (کمپوست صفر و EDTA صفر)، کمپوست زباله شهری (مقدار 3 درصد وزنی کمپوست به خاک)، EDTA (به مقدار 8 میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) و ترکیب کمپوست و EDTA (کمپوست به مقدار 3 درصد وزنی همراه با EDTA به مقدار 8 میلی‌مول بر کیلوگرم خاک) در سه تکرار انجام شد.

این آزمایش به صورت دو آزمایش مستقل (برای هر عنصر یک آزمایش) اما در یک زمان و در یک مکان، انجام شد. نمونه‌های خاک پس از عبور از الک 2 میلی-متری در واحدهای 4 کیلوگرمی توزین شد و در روی نایلون‌های پلاستیکی مخصوص ریخته و مقادیر مورد نیاز سرب یا کادمیم از طریق اسپری کردن به نمونه‌ها افزوده شد. سپس کودهای پایه با مقادیر 150 میلی‌گرم فسفر در کیلوگرم خاک از منبع $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ، 150 میلی‌گرم پتاسیم در کیلوگرم خاک از منبع K_2SO_4 و 200 میلی‌گرم ازت بر کیلوگرم خاک از منبع $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ به نمونه‌های خاک اسپری شد و نمونه‌ها کاملاً مخلوط و در ظروف پلاستیکی ریخته و به مدت 2 ماه در فضای گلخانه و در دمای حدود 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت حدود ظرفیت مزرعه (تنظیم شده با روش توزین) خوابانیده شدند. نمونه‌ها هواخشک گردیده و پس از کوبیدن به گلدان‌ها انتقال یافت. به تعداد 18 گلدان از آزمایش سرب و 18 گلدان از آزمایش کادمیم مقدار 3 درصد وزنی کمپوست زباله شهری اضافه گردید. سپس بذره‌های آفتابگردان رقم محلی بردسیر به تعداد 6 بذر در همه گلدان‌ها کشت شد. آبیاری با آب شهری و بر اساس نیاز گیاه انجام گرفت. پس از یک هفته از جوانه‌زدن، تعداد گیاهچه‌های آفتابگردان از 6 به 3 بوته در هر گلدان کاهش یافت. به علت خاصیت ضد رشدی EDTA، 15 روز قبل از برداشت گیاه EDTA به همراه آب آبیاری به تعداد 18 گلدان از آزمایش سرب و 18 گلدان از آزمایش کادمیم اضافه شد. پس از مدت 60 روز از تاریخ کاشت و قبل از مرحله زایشی گیاه، ارتفاع گیاهان آفتابگردان اندازه‌گیری شده و سپس از محل طوقه قطع و ریشه این گیاهان نیز توسط الک مخصوص و حرکات متناوب در آب برداشت شد. اندام هوایی و ریشه گیاه پس از شستشو با آب معمولی و سپس آب مقطر به مدت یک روز هوا خشک و

نسبت به شاهد شد. فتاحی کیاسری و همکاران (1389) نیز نشان دادند کاربرد 3 میلی مول EDTA به خاکی با آلودگی 200 میلی گرم سرب بر کیلوگرم خاک، باعث افزایش غلظت سرب خاک به مقدار 2/2 برابر شاهد شد.

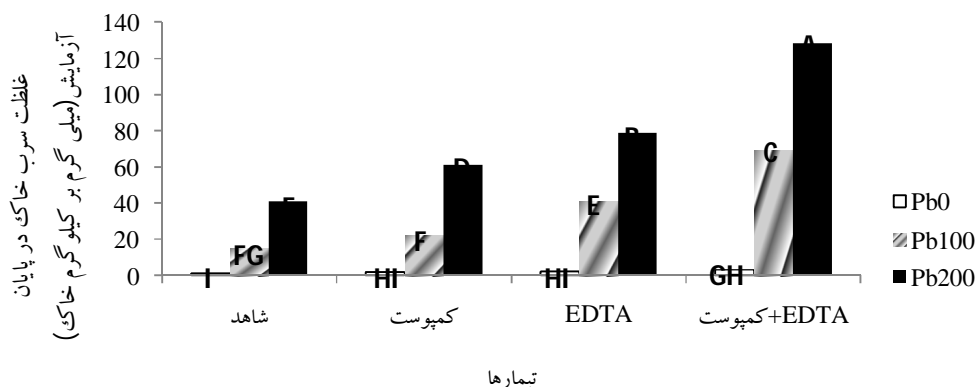
خاک نسبت به شاهد افزایش داده است. نتایج این آزمایش با نتایج چرم و علیزاده (1388) تطابق دارد. آنها نشان دادند که EDTA و کمپوست بقایای نیشکر، سبب افزایش معنی دار غلظت سرب و کادمیم خاک در پایان آزمایش

جدول 1- برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

ویژگی	واحد	مقدار
نیترژن	درصد	0/02
فسفر	میلی گرم بر کیلوگرم	4/30
پتاسیم	میلی گرم بر کیلوگرم	350
کربن آلی	درصد	0/25
کربنات کلسیم معادل	درصد	19
ظرفیت تبادل کاتیونی	ساتی مول بر کیلوگرم	8/6
pH	-	7/6
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع	دسی زیمنس بر متر	3
کادمیم قابل عصاره گیری با EDTA	میلی گرم بر کیلوگرم	1/ 3
سرب قابل عصاره گیری با EDTA	میلی گرم بر کیلوگرم	1/1
رس	درصد	17/3
سیلت	درصد	28/7
شن	درصد	54

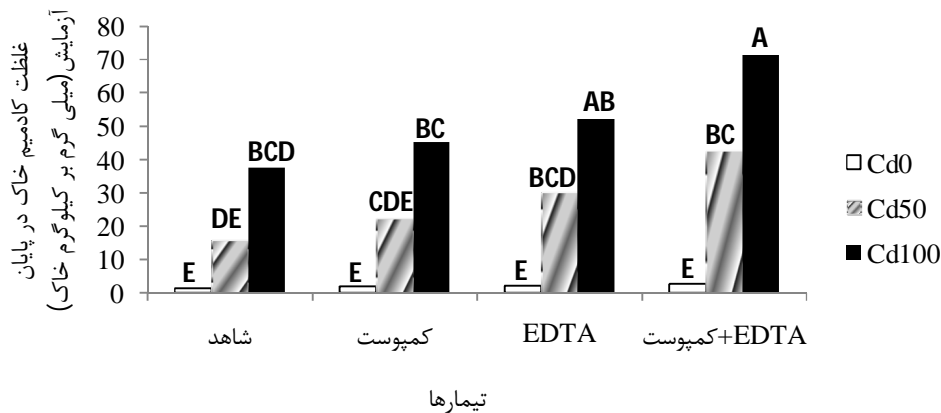
جدول 2- خصوصیات شیمیایی کمپوست زباله شهری مورد مطالعه

ویژگی	واحد	مقدار
نیترژن	درصد	1/4
کربن آلی	درصد	35/5
کادمیم	میلی گرم بر کیلوگرم	2/6
سرب	میلی گرم بر کیلوگرم	4/1
pH	-	7/4
قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع	دسی زیمنس بر متر	15



شکل 1- اثر تیمارها بر غلظت سرب خاک در پایان آزمایش

(حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

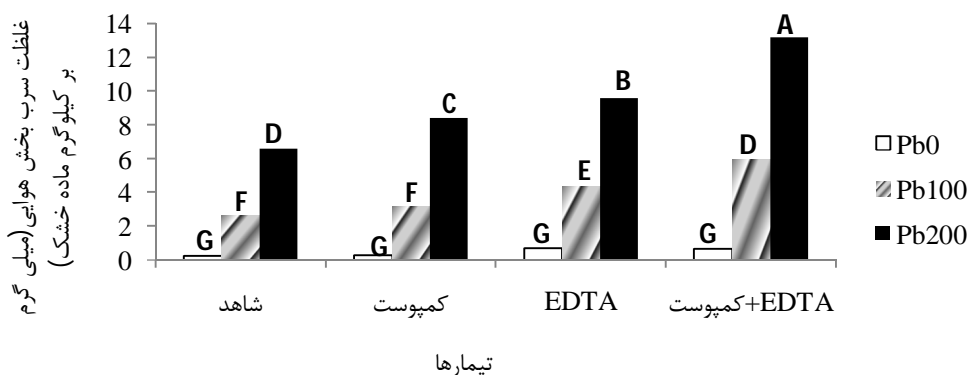


شکل 2- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم خاک در پایان آزمایش (حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

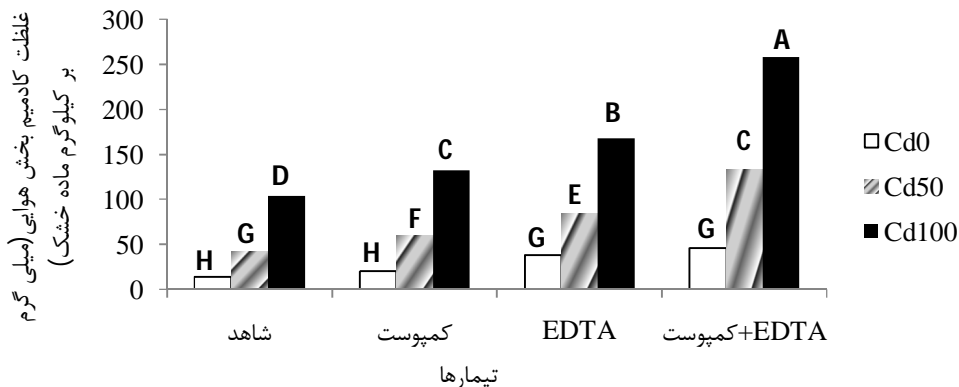
غلظت سرب و کادمیم بخش هوایی گیاه

این میان کلات کننده توأم کمپوست و EDTA سبب بیشترین غلظت سرب و کادمیم بخش هوایی گیاه در سطوح مختلف نسبت به شاهد شد.

با افزایش سطوح آلودگی سرب و کادمیم و هم چنین کاربرد کلات کننده‌ها در خاک، غلظت سرب و کادمیم در بخش هوایی گیاه نسبت به شاهد افزایش نشان داد که در



شکل 3- اثر تیمارها بر غلظت سرب بخش هوایی گیاه آفتابگردان (حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)



شکل 4- اثر تیمارها بر غلظت کادمیم بخش هوایی گیاه آفتابگردان (حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

بخش هوایی گیاه ارتباط داد. چرم و علیزاده (1388) گزارش کردند که کاربرد EDTA و کمپوست بقایای نیشکر به طور معنی‌داری سبب افزایش غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی گیاه کلزا نسبت به شاهد شد. آنها نشان دادند که در سطح آلودگی 500 میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک، کاربرد EDTA و کمپوست بقایای نیشکر به ترتیب سبب افزایش 3/6 و 3/1 برابر غلظت سرب اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد شد. در آزمایشی که توسط زاهو و همکاران (2011) صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن EDTA و کمپوست زباله‌ی شهری، باعث افزایش غلظت فلزات سنگین در بخش هوایی گیاه چمن نسبت به شاهد شد. زاهو و همکاران (2011) بیان داشتند که کلات کننده‌ها توسط سه فرایند باعث افزایش فراهمی و جذب فلزات سنگین می‌شوند:

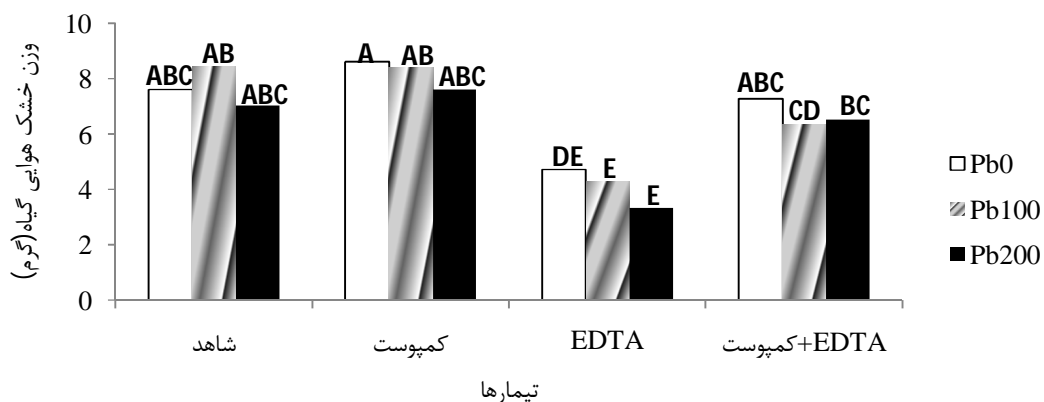
- 1- متحرک کردن فلز از سطح ذرات خاک و انتقال آنها به سطح ریشه
- 2- جذب توسط ریشه و مسیرهای جذبی آپوپلاست و سمپلاست
- 3- انتقال عناصر از ریشه به بخش هوایی توسط آوند چوبی. بلی لاک و همکاران (1997) نیز بیان داشتند که کلات کننده‌ها سبب تسهیل انتقال فلزات در داخل آوند چوبی می‌شوند.

وزن خشک اندام هوایی گیاه

بیشترین وزن خشک هوایی تیمارها در هر دو عنصر سرب و کادمیم، در تیمار کمپوست و فاقد آلودگی مشاهده شد و کمترین وزن خشک هوایی گیاه در تیمار EDTA مشاهده شد.

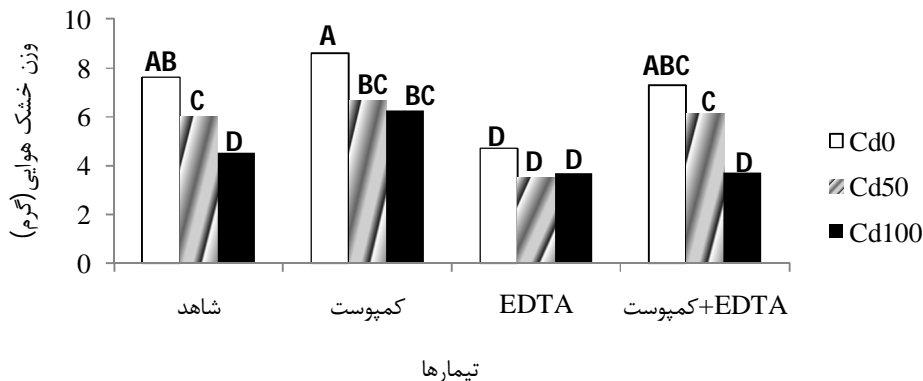
از مقایسه غلظت سرب با کادمیم بخش هوایی (شکل 3 و 4)، غلظت کادمیم در بخش هوایی به مراتب بیشتر از غلظت سرب مشاهده شد که به نظر می‌رسد علت این امر به نوع عنصر و تحرک بیشتر کادمیم نسبت به سرب در داخل گیاه ارتباط داشته باشد. شاید یکی دیگر از علت‌های آن را بتوان به تشکیل رسوب‌های کم محلول سرب در خاک و عدم تشکیل این رسوبات در مورد عنصر کادمیم دانست. در تحقیقی که شن و همکاران (2002) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که سرب در خاک تشکیل رسوب نامحلول می‌دهد و همچنین بلی لاک و همکاران (1997) بیان داشتند که فراهمی کم سرب در نتیجه تشکیل رسوب نامحلول این عنصر در خاک است.

کلات کننده توأم کمپوست و EDTA و سپس کلات کننده EDTA به ترتیب سبب افزایش 2 و 1/45 برابر نسبت به شاهد در سطح آلودگی 200 میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم خاک شد و در مورد عنصر کادمیم در سطح آلودگی 100 میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک این افزایش به ترتیب به مقدار 2/48 و 1/61 برابر نسبت به شاهد افزایش نشان داد. شاید یکی از عواملی که سبب شده کلات کننده توأم کمپوست و EDTA سبب بیشترین غلظت سرب و کادمیم بخش هوایی گیاه شود را بتوان به افزایش حلالیت و غلظت سرب و کادمیم برای جذب گیاه در نتیجه حضور این کلات کننده در خاک دانست (شکل 1 و 2). کلات کننده‌های دیگر نیز سبب افزایش غلظت سرب و کادمیم بخش هوایی گیاه نسبت به شاهد شدند که این امر را شاید بتوان به کمپلکس پایدار ایجاد شده فلزات با کلات کننده‌ها و انتقال در طول آوند چوبی از ریشه به



شکل 5- اثر تیمارها بر وزن خشک هوایی گیاه آفتابگردان

(حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)



شکل 6- اثر تیمارهای مختلف بر وزن خشک هوایی گیاه آفتابگردان

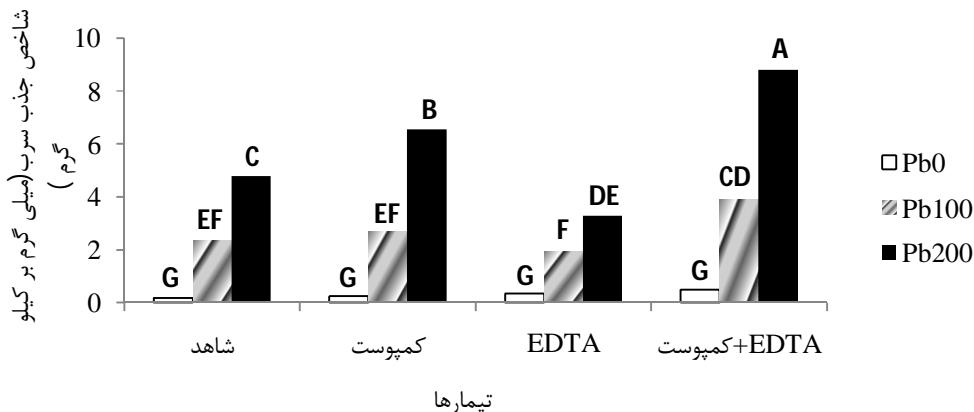
(حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

EDTA و هم چنین کمپلکس فلزات سنگین با EDTA می‌تواند برای گیاه و میکروارگانیسم‌های خاکری سمی باشد و باعث کاهش بیومس گیاهی گردد. واکر و همکاران (2003) گزارش کردند که EDTA سبب کاهش وزن خشک هوایی و کمپوست سبب افزایش وزن خشک هوایی در گیاهان اسفناج و تربچه در مقایسه با شاهد شد.

شاخص جذب سرب و کادمیم

شاخص جذب هر عنصر از حاصلضرب ضریب ماده‌ی خشک گیاه در غلظت عنصر بخش هوایی گیاه بدست می‌آید و ضریب ماده‌ی خشک گیاه نیز خود از تقسیم وزن ماده‌ی خشک هوایی گیاه به حداکثر ماده‌ی خشک تولیدی در آزمایش بدست می‌آید.

به نظر می‌رسد که کلات کننده کمپوست با تأثیر افزایشی بر رشد و بیومس گیاهی به دلیل داشتن عناصر مغذی برای گیاه، سبب افزایش وزن خشک هوایی در هر دو عنصر گردید و کلات کننده EDTA با اثر کاهشی بر رشد گیاه به دلیل تخریب سلول‌های گیاه، سبب کاهش وزن خشک هوایی گیاه گردید. نتایج این آزمایش با نتایج واکر و همکاران (2003) منطبق می‌باشد. آنها گزارش کردند که EDTA سبب کاهش وزن خشک هوایی و کمپوست سبب افزایش وزن خشک هوایی در گیاهان اسفناج و تربچه در مقایسه با شاهد شد. اثر EDTA بر کاهش وزن گیاه شاید به علت تأثیر سمیت EDTA و فلزات سنگین کمپلکس شده با EDTA بر رشد گیاه بوده است. گراسمن و همکاران (2003) بیان داشتند که



شکل 7- اثر تیمارها بر شاخص جذب سرب در گیاه آفتابگردان

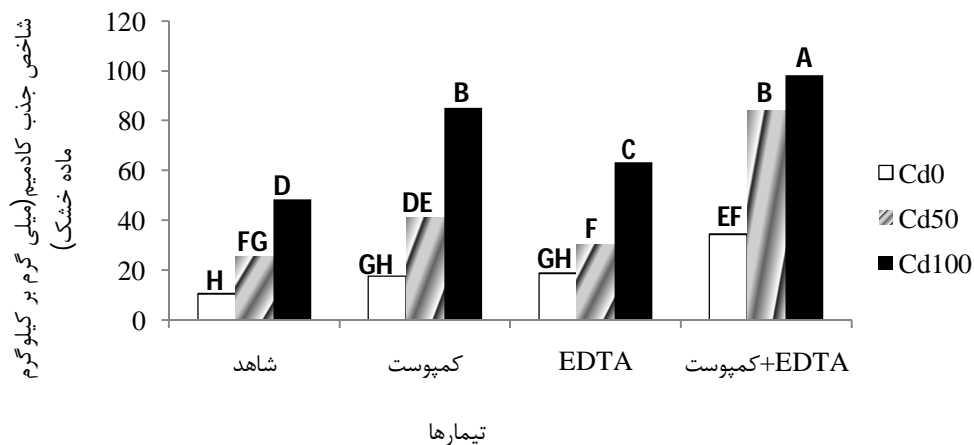
(حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

EDTA در سطوح مختلف غلظتی سرب و کادمیم سبب بیشترین شاخص جذب این عناصر در اندام هوایی گیاه شد که علل احتمالی آن را می‌توان به افزایش غلظت

با افزایش سطوح غلظتی سرب و کادمیم در خاک، شاخص جذب این عناصر در اندام هوایی گیاه آفتابگردان افزایش یافت. هم چنین کلات کننده‌ی توأم کمپوست و

افزایش بیشتر غلظت سرب و کادمیم در اندام هوایی گیاه نسبت به کلات کننده کمپوست، به علت اثر منفی شدیدی که بر وزن خشک گیاه داشت، شاخص جذب سرب و کادمیم کمتری نسبت به کلات کننده کمپوست نشان داد و حتی در مورد عنصر سرب این کاهش به حدی بود که نسبت به شاهد نیز کاهش نشان داد (شکل 7 و 8).

سرب و کادمیم و عدم کاهش معنی دار وزن خشک هوایی گیاه در نتیجه کاربرد این کلات کننده ارتباط داد. کلات کننده کمپوست با افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه باعث افزایش شاخص جذب سرب و کادمیم در اندام هوایی گیاه آفتابگردان نسبت به تیمار کلات شده با EDTA و شاهد شد. کلات کننده EDTA علی رغم



شکل 8- اثر تیمارها بر شاخص جذب کادمیم در گیاه آفتابگردان (حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

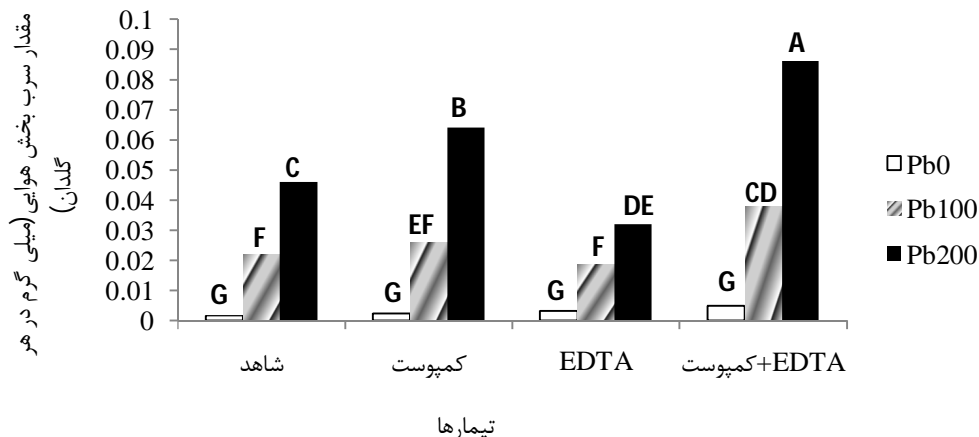
خشک بخش هوایی گیاه و به دنبال آن مقدار جذب گیاه بوده است.

مقدار سرب بخش هوایی گیاه تحت تأثیر کلات کننده EDTA نسبت به شاهد کاهش نشان داد ولی در مورد عنصر کادمیم کاربرد کلات کننده EDTA سبب افزایش سرب بخش هوایی نسبت به شاهد شد که این امر شاید به علت اثر سمیت و غلظت بیشتر سرب کلات شده با EDTA در محیط ریشه بر کاهش وزن خشک هوایی گیاه در مقایسه با عنصر کادمیم بوده است. به نظر می رسد کمپوست زباله شهری با دارا بودن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم و تأثیر بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب در خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و در نهایت سبب افزایش رشد گیاه گردیده و در نهایت منجر به افزایش مقدار جذب سرب و کادمیم نسبت به شاهد و کلات کننده EDTA شده است. نتایج آزمایش با نتایج آزمایش ناسمیتو و همکاران (2006) منطبق است. آنها گزارش نمودند که کاربرد اسیدهای آلی به جای EDTA، باعث افزایش رشد و بیومس گیاهی شده و مقدار جذب را افزایش داد.

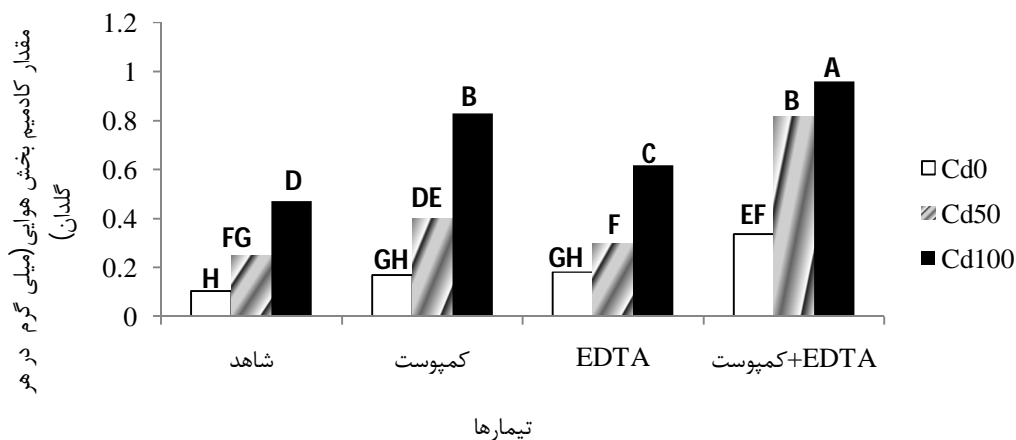
نتایج این آزمایش با نتایج چرم و علیزاده (1388) منطبق می باشد. آنها گزارش نمودند که نمونه های تیمار شده با کمپوست بقایای نیشکر در مقایسه با EDTA شاخص جذب سرب و کادمیم بزرگتری نشان دادند و علت آن را افزایش وزن ماده خشک اندام هوایی گیاه در اثر کاربرد مواد آلی و مسمومیت و کاهش زیست توده گیاه در نتیجه کاربرد EDTA گزارش نمودند.

مقدار سرب و کادمیم بخش هوایی گیاه

مقدار جذب سرب و کادمیم در بخش هوایی گیاه با کاربرد کلات کننده های کمپوست و کاربرد توأم کمپوست و EDTA در خاک افزایش یافت که علت اصلی آن را می توان به اثر این کلات کننده ها بر وزن خشک هوایی (شکل 5 و 6) و غلظت بخش هوایی گیاه (شکل 3 و 4) نسبت داد. مؤثرترین کلات کننده در سطوح مختلف آلودگی سرب و کادمیم، کلات کننده ی توأم EDTA و کمپوست بود. نتایج آزمایش نشان داد که EDTA باعث کاهش شدید مقدار جذب نسبت به سایر کلات کننده ها شد که شاید یکی از علت های آن سمیت فلزات سنگین کمپلکس شده با EDTA برای گیاه و کاهش شدید وزن



شکل 9- اثر تیمارها بر مقدار سرب بخش هوایی گیاه آفتابگردان (حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)



شکل 10- اثر تیمارها بر مقدار کادمیم بخش هوایی گیاه آفتابگردان (حروف غیر مشترک نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح آماری 5 درصد توسط آزمون دانکن هستند، هر ستون میانگین 3 عدد است)

کمپوست به خاک‌های آلوده تحت کشت گیاه آفتابگردان، قبل از برداشت گیاهان EDTA در چند نوبت به همراه آب آبیاری به خاک اضافه نمود. برای مدیریت پس از برداشت گیاهان و جلوگیری از تحرک عناصر سرب و کادمیم و جلوگیری از ورود به زنجیره غذایی، می‌توان گیاهان را پس از برداشت سوزانده و در حین آسفالت سازی یا ساخت بلوک‌های سیمانی و آجرهای ساختمانی با آنها مخلوط نموده و درجاده سازی‌ها و یا ساخت و سازها استفاده کرد. از دیگر راه‌هایی که می‌توان برای مدیریت پس از برداشت این گیاهان ذکر کرد، می‌توان به دفن این گیاهان در زیر معابر و همچنین در خاک‌هایی که اطراف آن را با آهک یا لایه‌ای از رس از سایر قسمت‌ها جدا کرده‌ایم، اشاره کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که کاربرد کلات کننده توأم کمپوست و EDTA در تمامی سطوح آلودگی سرب و کادمیم سبب بیشترین غلظت، شاخص جذب و مقدار جذب سرب و کادمیم در مقایسه با سایر کلات کننده‌ها و شاهد شد. کلات کننده EDTA نسبت به کمپوست سبب افزایش بیشتر غلظت سرب و کادمیم در گیاه آفتابگردان نسبت به شاهد شد در حالی که سبب کاهش زیست توده بخش هوایی گیاه در مقایسه با سایر کلات کننده‌ها شد. در این آزمایش آفتابگردان‌ها قبل از مرحله زایشی و به گل رفتن، از محل طوقه قطع شده و بنابراین محصول قابل مصرفی برای انسان تولید نشده است. به منظور افزایش هر چه بیشتر جذب سرب و کادمیم از خاک‌های آلوده، می‌توان پس از اضافه نمودن

فهرست منابع:

1. چرم، م و علیزاده، آ. 1388. بررسی اثرات کمپوست بقایای نیشکر و EDTA (اتیلن دی آمین تترا استیک اسید) در کشت کلزا جهت پالایش خاک‌های آلوده به کادمیم، سرب و نیکل. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد 23، شماره 2: 20-29.
2. فتاحی کیاسری، ا، فتوت، ا، آستارایی، ع و حق نیا، غ. 1389. اثر اسید سولفوریک و EDTA بر گیاه پالایی سرب در خاک توسط سه گیاه افتابگردان، ذرت و پنبه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. سال چهاردهم، شماره 51: 57-68.
3. صاحبقدم لطفی، ع، 1367. متابولیسم سرب و مسمومیت‌های ناشی از آن. انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
4. Blaylock, M. J., D. E. Dushenkov, O. Zakharov, C. Gussman, Y. Kapullnik, B. D. Ensley, and I. Raskin. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil- applied chelating agents Environ. Sci. Technol. 31: 860-865.
5. Bouyoucous, G.J., 1952. A recalibration of hydrometer for making mechanical analysis of soils. Agron. J. 43, 434-438.
6. Chen, Y., Li, X., Shen, Z. 2004. Leaching and uptake of heavy metals by ten different species of plants during an EDTA-assisted phytoextraction process. Chemosphere 57,187-196.
7. Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1986. Particle- size analysis, hydrometer metode. P. 404-408. In A. Klute et al. (eds.) Methods of Soil Analysis, Part I, 3rd Ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI.
8. Grcman, H., Vodnik, D., Velinkonja-Bolta, S., Leštan, D., 2003. Ethylenediaminedissuccinate as a new chelate for environmentally safe enhanced lead phytoextraction. J. Environ. Qual. 32, 500-506.
9. Huang, J.W., Chen, J., Berti, W.R., Cunningham, S.D, 1997. Phytoremediation of lead-contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. Environ Sci Technol 3:800-805.
10. Komarek, M., Tlustos, P., Szakova, J., Chrastny, v. 2008. The use of poplar during a two-year induced phytoextraction of metals from contaminated agricultural soils. Environmental Pollution 151: 27-38.
11. Lin, Q., Chen, Y.X., He, Y.F., Tian, G.M., 2004. Root-induced changes of lead availability in the rhizosphere of *Oryza sativa* L. Agric. Ecosyst. Environ. 104, 605-613.
12. Liphadzi, M.S., Kirkham, M.B. 2006. Availability and plant uptake of heavy metals in EDTA-assisted phytoremediation of soil and composted biosolids. South African Journal of Botany 72, 391-397.
13. Luo, C., shen, Z., Lou, S., Li, X. 2005. Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. Chemosphere 59, 1-11.
14. Madrid, F., Liphadzi, M.S., Kirkham, M.B., 2003. Heavy metal displacement in chelate-irrigated soil during phytoremediation. J. Hydrol. 272, 107-119.
15. Nascimento, C. W., Amarasiriwardena, D., Baoshan, X. 2006. Comparison of natural organic acids and synthetic chelates at enhancing phytoextraction of metals from a multi-metal contaminated soil. Environmental Pollution 140 114-123.
16. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Page AL (ed) Method of soil analysis, Part 2, 2nd edn. Agron Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison. 181-197.
17. Olsen, S. R., C. V. Cole, F. S. Watanabe, and L. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U. S. Gov. Print. Office, Washington, D. C.

18. Rhoades JD (1996) Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In: Sparks DL et al (eds.) Method of soil analysis, part 3. Am Soc Agron, Medison, WI, 417–436.
19. Rodriguez J.A., Nanos N., Grav J.M., Gil, I. 2008. Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agriculture topsoils. *Chemosphere*, 70:1085-1096.
20. Salt, D.E., Smith, R.D., Raskin, I., 1998. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant Phys. Plant Mol. Biol.* 49, 643–668.
21. Shen, Z.G., Li, X.D., Wang, C.C., Chen, H.M., Chua, H., 2002. Lead phytoextraction from contaminated soil with high biomass plant species. *J. Environ. Qual.* 31, 1893–1900.
22. Sumner, M. E., and W. P. Miller. 1996. Cation exchange capacity and exchangeable coefficients. P. 1201-1229. In D. Ed. Am. Soc. Agron., Medison, WI.
23. Thomas GW (1996) Soil pH and soil activity. In: Sparks DL et al(eds.) Method of Soil Analysis, part 3. Am Soc Agron, Madison, WI, 475–490.
24. Walker, D .J., Celemnate, R., Roig, A., Bernal, M. P. 2003. The effects of soil amendments on heavy metal bioavailability in two contaminated Mediterranean soils.
25. Walkley, A., and Black. (1934). an examination of the dehligaroff method for determining organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37; 29-38.
26. Zhao, S., Lian, F., Duo, L. 2011. EDTA-assisted phytoextraction of heavy metals by turfgrass from municipal solid waste compost using permeable barriers and associated potential leaching risk. *Bioresource Technology* 102:621–626.

