تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره سوم، زمستان ۱۴۰۲، ص ۶۱۷-۶۰۵

مقاله پژوهشی

# بررسی کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA جهت گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به کادمیوم توسط گیاه دارویی مورواله (*Chenopodium album* L.)

محدثه جهانتیغ[۱]، مهدی دهمرده[۲*]، احمد غلامعلی زاده آهنگر[۳]، سمیه شهرکی[۴]، عیسی خمری[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته آگروتکنولوژی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۳- گروه خاکشناسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۴- گروه شیمی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
* مسئول مکاتبه: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۱۰/۱۰ DOI: 10.22034/CSRAR.2022.292953.1100

## چکیده

استفاده از کلات‌کننده‌ها از شیوه‌های مؤثر در کاهش سمیت عناصر سنگین می‌باشد؛ بنابراین پژوهشی به منظور بررسی توانایی گیاه‌پالایی مورواله در حضور کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA انجام شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۹-۹۸ در دانشگاه زابل اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵) به ترتیب به عنوان عامل اول و دوم و کادمیوم در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰) به عنوان عامل سوم بودند. بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین میزان کلروفیل a (۸۷۸/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) و کارتنوئید (۶۵۵/۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA و بیشترین میزان کلروفیل b (۷۵۲ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم PIOA در خاک فاقد کادمیوم بود که نسبت به شاهد به ترتیب حدود ۳/۷۵، ۱۰/۱۵ و ۱۳/۵۲ درصد افزایش نشان دادند. بیشترین کادمیوم اندام هوایی (۸/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کادمیوم ریشه (۴۰/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک زراعی) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات-کننده EDTA و بیشترین کادمیوم خاک (۱/۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد حدود ۸۳/۴۴ درصد افزایش نشان داد. می‌توان چنین نتیجه گرفت که گیاه مورواله در حضور کلات‌کننده EDTA در خاک زراعی بخوبی عمل گیاه‌پالایی را انجام داده و موجب کاهش کادمیوم خاک گردد.

**واژه‌های کلیدی:** اندام هوایی، فلزات سنگین، کادمیوم ریشه، کلروفیل

## مقدمه

امروزه آلودگی خاک از جمله مسائل زیست‌محیطی مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد. فعالیت‌های صنعتی باعث آلودگی و تجمع فلزات سنگین در خاک می‌شوند (Canbay *et al.*, 2010). میزان جذب آلاینده‌ها به ویژه فلزات سنگین به وسیله گیاهان مختلف متفاوت است. چنانچه بتوان گیاهان مقاومی یافت که قادر باشند مقداری از آلودگی‌های موجود در آب و یا خاک را کاهش دهند می‌توان از آن‌ها برای رفع آلودگی منابع آلوده استفاده کرد (Alipour *et al.*, 2015). مورواله یا سلمه تره (*Chenopodium album* L.) از خانواده اسفنجیان (*Chenopodiaceae*) گیاهی یک‌ساله، دو جنسه و به ارتفاع ۳۰ تا ۱۸۰ سانتی‌متر می‌باشد. ارتفاع این گیاه بر حسب آب و هوا و نوع خاک تغییر می‌کند. برگ‌های مورواله خوراکی است. این گیاه نوعی علف هرز می‌باشد که مقاوم به شوری است. سایر محققان نیز از این گیاه برای پالایش محیط‌های آلوده به فلزات سنگین استفاده نموده‌اند (Mehdi Borghei *et al.*, 2013).

فلزات سنگین به دلیل ایجاد سمیت، اثرات تجمعی، زمان ماندگاری طولانی در محیط، سرطان‌زایی و غیرقابل تجزیه بودن، به عنوان یک مشکل زیست‌محیطی مهم به شمار می‌روند (Mico *et al.*, 2006). این عناصر به دلیل تحرک کم در مدت‌زمان‌های طولانی در خاک انباشته می‌شوند. کادمیوم از جمله عناصر سنگین و غیرضروری برای گیاهان است که بر رشد و نمو گیاهان اثر منفی دارد. این عنصر به علت سمیت و تحرک زیاد، یک آلاینده اساسی به شمار می‌رود (Benavides *et al.*, 2005). نمک‌های کادمیوم به راحتی جذب گیاهان شده و سبب آسیب‌های سلولی و بافتی می‌شوند (Prasad, 1995). برای

پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین، روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک وجود دارد. پالایش گیاهی یکی از روش‌های بیولوژیک، ساده، ارزان و دوست‌دار محیط‌زیست بوده که در آن از گیاهان برای زدودن آلودگی از خاک استفاده می‌شود. استخراج مؤثر فلزات سنگین با استفاده از گیاهان بیش‌اندوز به عمق‌های کمتر از ۲۴ اینچ محدود می‌شود. چنان‌چه آلودگی در اعماق بیشتر باشد می‌توان از درختان با ریشه‌های عمیق استفاده کرد. موفقیت در پالایش گیاهی به شناسایی گونه‌های گیاهی با تولید زیست‌توده بالا که قادر به ذخیره فلزات سنگین هستند وابسته است (Pulford and Watson, 2003).

گیاه‌پالایی شیمیایی روشی است که در آن از کلات کننده‌های مختلف جهت افزایش جذب فلزات توسط گیاه استفاده می‌شود. در این حالت ماده خشک تولید شده افزایش یافته و موجب می‌گردد مقدار زیادی عناصر فلزی که با تیمارهای شیمیایی اعمال شده، جذب گیاه گردند (Sun *et al.*, 2011). کمپلکس این کلات کننده‌ها با عناصر سنگین در مقایسه با کلات کننده‌های آلی پایداری بیشتری در خاک دارد. در میان اصلاح کننده‌ها، EDTA به عنوان ماده‌ای که حلالیت فلزات را در خاک افزایش می‌دهد، بسیار مناسب پیشنهاد شده است (Evangelou *et al.*, 2007). در تحقیقی مشخص گردید که اثرات کادمیوم، کودهای پتاسیم و برهمکنش آن‌ها بر مقدار کادمیوم ریشه و اندام‌های هوایی، وزن خشک و پتاسیم ریشه اثر معنی‌داری داشته است (Ghorbanpoor *et al.*, 2019). در پژوهش دیگری اثر EDTA بر جذب سرب و کادمیم توسط کلزا بررسی و مشخص شد کاربرد EDTA حلالیت سرب و کادمیوم را در محلول خاک افزایش داده و منجر به جذب بیشتر سرب در کاه و کلش و دانه کلزا گردید. بررسی غلظت سرب و کادمیوم در کاه و کلش گیاه کلزا نشان داد در تیمارهای آلوده، غلظت کادمیوم (۲۳/۱-۷/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در هر دو سطح EDTA و غلظت سرب (۱۰۶/۴۷-۲۷۵/۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) تنها در حضور EDTA در حد سمیت مشاهده شد (Mirkhani *et al.*, 2018).

پژوهش‌های انجام شده در مورد گیاه‌پالایی رو به گسترش است، از این‌رو انجام تحقیقاتی به منظور شناسایی و معرفی گونه‌های گیاهی مناسب برای گیاه‌پالایی فلزات سنگین از خاک، لازم و ضروری است. نظر به این که ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک بوده و خاک بخش‌های زیادی از کشور با مشکل شوری مواجه هستند، هدف از انجام این پژوهش بررسی توانایی گیاه شورپسند موراله (سلمه تره) به عنوان علف هرزی با رویش جغرافیایی گسترده در کشور، در جذب آلودگی فلز کادمیوم است.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۹۸ در گلخانه پژوهشکده کشاورزی بقیه‌الله الاعظم دانشگاه زابل واقع در شهرستان زهک با موقعیت جغرافیایی ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۸۳ متر از سطح دریا اجرا گردید. قبل از شروع آزمایش به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش تعداد ۱۰ نمونه خاک بصورت تصادفی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از زمین‌های کشاورزی منطقه تهیه گردید. سپس یک نمونه مرکب انتخاب شد و به آزمایشگاه منتقل گردید و تجزیه شیمیایی و فیزیکی روی آن انجام گرفت. نتایج به دست آمده از تجزیه نمونه خاک در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

نمونه خاک جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل، نمونه در مجاورت هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده و میزان سنگریزه نیز همزمان با کوبیدن و عبور از الک تعیین گردید. آزمایشات شیمیایی و فیزیکی مورد نیاز روی نمونه انجام شد. تعیین درصد اجزاء رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، اسیدیته خاک در عصاره ۱:۱ خاک-آب مقطر توسط pH متر (Mclean, 1982)، هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع توسط هدایت‌سنج (Miller *et al.*, 2006) تعیین شد. اندازه‌گیری گچ به روش استون، کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون (Allison and Moodie, 1965)، کربن آلی با روش والکلی و بلاک اصلاح شده (Nelson and Sommers, 1996) تعیین شد. هم‌چنین اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم محلول به روش کمپلکسومتری و تیتراسیون با EDTA، سدیم و پتاسیم محلول با استفاده از استات آمونیوم یک نرمال (Knudson and Peterson, 1982) با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (CEC) به روش باور (Rhoades, 1982)، فسفر قابل استفاده با بی‌کربنات

سدیم ۰/۵ مولار به روش اولسن و همکاران (Olsen *et al.*, 1954) و با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد. تعیین میزان نیتروژن کل به روش کجلدال (Page *et al.*, 1982) صورت گرفت. هم‌چنین اندازه‌گیری غلظت کل کادمیم در نمونه با روش هضم با اسید فلوئوریک و تیزاب سلطانی (محلول اسید نیتریک و اسید کلریدریک با نسبت یک به سه) (Hossner, 1996) با استفاده از دستگاه جذب اتمی اسپکترومتری تعیین شد.

**جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک**

**Table 1- Physical and chemical properties of soil**

| بافت Texture | رس Clay (%) | شن Sand (%) | سیلت Silt (%) | عمق Depth (cm) | هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$) | اسیدیته pH | نیتروژن تبادلی T.N.V (%) | نیتروژن کل Total N (%) | فسفر قابل دسترس Pava (ppm) | پتاسیم قابل دسترس Kava (ppm) | ماده آلی O.C (%) | آهن Fe (ppm) | روی Zn (ppm) | مس Cu (ppm) | منگنز Mn (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| لوم شنی Sandy loam | 23 | 55 | 22 | 0-30 | 2.1 | 7.6 | 12.5 | 0.03 | 12 | 170 | 0.32 | 4.08 | 0.42 | 0.59 | 3.83 |

**جدول ۲- آنیون‌ها و کاتیون‌ها در نمونه خاک ($meq.L^{-1}$)**

**Table 2- Anions and cations in soil sample ($meq.L^{-1}$)**

| مشخصات Properties | کلسیم Ca | منزیم Mg | سدیم Na | نسبت جذب سدیم SAR | درصد سدیم تبادلی ESP | پتاسیم K ($meq.l^{-1}$) | ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($Cmol.kg^{-1}$) | چگالی ظاهری Bd ($g.cm^{-3}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - | 8 | 4 | 7.5 | 3.06 | 3.1 | 1.5 | 5.7 | 1.71 |

پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایش شامل کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA در چهار سطح (صفر، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به ترتیب به عنوان عامل اول و دوم و کادمیوم در سه سطح (صفر، ۱۵ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک زراعی) از منبع نیترات کادمیوم به عنوان عامل سوم بودند.

این تحقیق به منظور بررسی توانایی گیاه‌پالایی مورواله (*Chenopodium album* L.) در حضور کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA در یک خاک منتخب از منطقه زهک سیستان به صورت آزمایش گلدانی روی یک خاک آلوده شده به کادمیم، در گلخانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد. نمونه خاک تهیه شده از مزارع کشاورزی شهرستان زهک و در مجموع با ۱۴۴ گلدان مورد بررسی قرار گرفت.

ابتدا با یک پیش آزمایش سطوح غلظتی کادمیم در حجم کمتری از خاک مشخص گردید. به این منظور برای ایجاد شرایط واقعی و رسیدن به زمان تعادل (نحوه هموژن) ۳ یا ۴ هفته کادمیم در خاک باقی ملند. با توجه به عدم وجود کادمیم در خاک مورد آزمایش و برای افزایش غلظت کادمیم در خاک با استفاده از نمک کلرور کادمیم اقدام به آلوده کردن مصنوعی خاک شد؛ بنابراین غلظت کادمیم کل خاک به ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم رسانیده شد و به صورت محلول به خاک اضافه و کاملاً مخلوط گردید.

برای اجرای آزمایش گلخانه‌ای تحت شرایط کنترل شده با ۱۲ ساعت روشنایی، متوسط رطوبت نسبی ۷۰ درصد، دمای ۲۵ الی ۳۰ درجه سانتی‌گراد (در فصل زمستان) گلدان‌های ۵ کیلوگرمی (ارتفاع و عرض گلدان به ترتیب ۳۰ و ۲۵ سانتی‌متر) با خاک (گذرانیده شده از الک ۲ میلی‌متری) پر شد. سپس سایر عناصر غذایی نیز با توجه به آزمون خاک اضافه گردید. هم‌چنین به منظور بررسی تغییرات غلظت کادمیم، در انتهای آزمایش میزان کادمیم در خاک و گیاه اندازه‌گیری شد.

در هر گلدان ۴ نشاء مورواله تهیه شده از خزانه پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل در عمق ۱۰ سانتی‌متری کشت شد. در طول دوره رشد، آبیاری با آب مقطر جهت نگهداری رطوبت در حد ۸۰ درصد ظرفیت زراعی به روش توزین انجام شد. حد ظرفیت زراعی نمونه خاک قبل از شروع آزمایش با استفاده از دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری شد.

گیاهان قبل از رسیدن به رشد زایشی برداشت شدند. سپس

ریشه‌ها در چندین مرحله قرار دادن در آب و شستشو (خارج کردن آب روی ریشه‌ها) به آرامی از خاک آن جدا شده و تمیز گردید. تعیین غلظت کادمیوم با استفاده از روش ویلسون (Wilson, 1983) انجام پذیرفت. به این منظور پس از خشک کردن نمونه‌های گیاهی داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت، جهت انجام تجزیه گیاه، نمونه‌ها آسیاب شده و خاکستر گردیدند. عصاره گیاه به روش خاکسترسازی (خشک سوزانی) (روش اسید نیتریک- پرکلرید) (روش هضم خشک) آماده گردیدند (Benton Jones and Case, 1990). غلظت کادمیم در عصاره حاصل از هضم با دستگاه جذب اتمی (مدل Konikwov M300 ساخت کشور استرالیا) تعیین شد.

به منظور اندازه‌گیری کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئیدها، مقدار ۰/۲ گرم بافت تازه گیاهی در هاون چینی ساییده شد و پس از افزودن ۲۰ میلی‌متر استون ۸۰ درصد به آن، به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه، سانترفیوژ گردید و جذب محلول بالایی در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتوفتومتر معین شد. سپس با استفاده از روابط ۱، ۲ و ۳ کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئیدها بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر نمونه بدست آمد (Arnon, 1965).

$$\text{Chlorophyll a} = (۱۱/۷۵ \times A۶۶۴ - ۲/۳۵۰ \times A۶۴۵) \quad (۱)$$

$$\text{Chlorophyll b} = (۱۸/۶۱ \times A۶۴۵ - ۳/۹۶۰ \times A۶۶۴) \quad (۲)$$

$$\text{Carotenoids} = ۱۰۰۰(A۴۷۰) - ۲/۲۷۰ (\text{mg chl. a}) - ۸۱/۴ (\text{mg chl. b})/۲۲۷ \quad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت.

## نتایج و بحث

### کلروفیل a و b

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که میزان کلروفیل a تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۳). کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کلروفیل a در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان کلروفیل a (۸۷۸/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA و خاک فاقد کادمیوم بود که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۳/۷۵ درصد افزایش نشان داد. کمترین میزان کلروفیل a (۱۸۵/۳۳ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و فاقد PIOA بود (جدول ۴). نتایج نشان داد کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کلروفیل a در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید. در آزمایش دیگری محققان گزارش کردند که با افزایش غلظت EDTA غلظت سرب در خردل هندی (*Brassica Juncea* L.) افزایش و بیشترین انباشتگی در غلظت ۵ میلی‌مول در کیلوگرم EDTA مشاهده شد و غلظت‌های بیشتر سرب موجب نکروز و ریزش برگ‌ها گردید (Sarsar *et al.*, 2012).

میزان کلروفیل b به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل b (۷۵۲ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم PIOA و خاک فاقد کادمیوم و کمترین میزان کلروفیل b (۲۰۵/۳ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و فاقد PIOA بود. به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۱۳/۵۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

می‌توان گفت آلودگی با فلزات سنگین روی کمپلکس جذب‌کننده نور، کمپلکس و ساختمان سیتوکروم کلروپلاست برگ تأثیر می‌گذارند و بازده فتوسنتز کل را کاهش می‌دهند (Prasad and Strzalka, 1999). در پژوهشی که بر گیاه *Matthiola flavida* که از خانواده شب بو می‌باشد انجام گرفت نتایج نشان داد که با افزایش غلظت کادمیوم و روی غلظت کلروفیل a و b نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری پیدا می‌کند (Mohtadi and Hooshyari, 2016). هم‌چنین در تحقیقی روی دو علف هرز *Cyperus* و *Digitaria* انجام گرفت کاهش معنی‌داری در میزان کلروفیل در اثر اعمال ۲۰ میلی‌گرم در

کیلوگرم کادمیم دیده شد اما افزایش درصد کلات کننده‌ها موجب افزایش کلروفیل b در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید (Ewaise, 1997). در پژوهش دیگری کاربرد کلات‌کننده EDTA در گیاه ذرت موجب افزایش میزان کلروفیل در گیاهان تحت تأثیر آلودگی سرب گردید (Mojahedi *et al.*, 2012).

## کاروتنوئید

میزان کارتنوئید به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین میزان کارتنوئید (۶۵۵/۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده EDTA و خاک فاقد کادمیوم بود که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۱۰/۱۵ درصد افزایش نشان داد. کمترین میزان کاروتنوئید (۲۱۳/۶ میلی‌گرم بر گرم) مربوط به تیمار فاقد کلات‌کننده و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم بود (جدول ۴). لذا می‌توان گفت کاهش کارتنوئید به دلیل فرونشانی غیرفتوشیمیایی کلروفیل‌های برانگیخته است که توسط کاروتنوئیدها انجام و موجب بر هم‌ریختن ساختارشان می‌گردد. کاروتنوئیدها در سمیت‌زدایی کلروفیل برانگیخته سه‌تایی نقش دارند. کاروتنوئیدها در چند سطح باعث کاهش اثرات سمی رادیکال‌های آزاد می‌شوند که از آن جمله واکنش با کلروفیل برانگیخته برای ممانعت از تشکیل رادیکال‌هال فعال اکسیژن است. کاروتنوئیدها به‌عنوان یک سیستم حفاظتی در برابر تنش اکسیداتیو القاء شده از بین می‌روند (Sanita *et al.*, 1999). در مقابل کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کارتنوئید در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، در همین راستا (Mohsenian and Roosta, 2012) نشان دادند که محلول-پاشی منابع مختلف کلات‌کننده روی گیاه فلفل سبب افزایش رشد رویشی، عملکرد و رنگ‌گیری بهتر میوه در سیستم آکواپونیک و هیدروپونیک گردید و هم‌چنین باعث افزایش مقدار کلروفیل a، کلروفیل کل، کاروتنوئیدها و قندهای محلول شد.

**جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کیفی و کادمیوم در خاک، ریشه و اندام هوایی**

**Table 3- Analysis of variance of qualitative traits and cadmium in soil, root and shoots**

| منابع تغییر S.O.V | درجه آزادی d.f | کلروفیل a Chlorophyll a | کلروفیل b Chlorophyll b | کارتنوئید Carotenoid | کادمیوم اندام هوایی Shoots cadmium | کادمیوم ریشه Root cadmium | کادمیوم خاک Soil cadmium |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| نوع کلات‌کننده Chelator types | 1 | 125.72$^{**}$ | 0.18$^{ns}$ | 5000.36$^{**}$ | 8.688$^{**}$ | 260.33$^{**}$ | 0.0854$^{*}$ |
| سطوح کلات‌کننده Chelator levels | 3 | 755.49$^{**}$ | 981.20$^{**}$ | 222.26$^{**}$ | 20.76$^{**}$ | 770.58$^{**}$ | 0.512$^{**}$ |
| سطوح کادمیوم Cadmium levels | 2 | 1389.121$^{**}$ | 167.63$^{**}$ | 722.35$^{**}$ | 130.69$^{**}$ | 4106.44$^{**}$ | 2.086$^{**}$ |
| نوع کلات‌کننده× سطوح کلات‌کننده Chelator types× Chelator levels | 3 | 287.05$^{**}$ | 407.33$^{**}$ | 2037.32$^{**}$ | 0.325$^{ns}$ | 1.993$^{ns}$ | 0.295$^{**}$ |
| نوع کلات‌کننده× کادمیوم Cadmium× Chelator types | 2 | 167.24$^{**}$ | 167.17$^{**}$ | 6667.12$^{**}$ | 2.146$^{**}$ | 97.65$^{**}$ | 0.154$^{**}$ |
| سطوح کلات‌کننده× کادمیوم Cadmium× Chelator levels | 6 | 463.20$^{**}$ | 870.11$^{**}$ | 418.00$^{**}$ | 6.578$^{**}$ | 207.47$^{**}$ | 0.167$^{**}$ |
| نوع کلات‌کننده× سطوح کلات‌کننده ×کادمیوم Cadmium× Chelator types × Chelator levels | 6 | 759.20$^{**}$ | 352.18$^{**}$ | 2037.22$^{**}$ | 0.250$^{**}$ | 2.563$^{**}$ | 0.1906$^{**}$ |
| خطای آزمایش Error | 48 | 5142.43 | 44.611 | 628.44 | 0.1713 | 1.34 | 0.0168 |
| ضریب تغییرات Coefficient of Variance (%) | - | 4.12 | 1.66 | 5.17 | 0.414 | 1.16 | 0.129 |

ns: غیر معنی‌دار؛ *و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: not significant; * and **: significant at five and one percent probability levels, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات کیفی و کادمیوم در خاک، ریشه و اندام هوایی

Table 4- Means comparison of qualitative traits and cadmium in soil, root and shoots

| نوع کلات‌کننده Chelator types | سطوح کلات‌کننده Chelator levels (mg.kg$^{-1}$) | سطوح کادمیوم Cadmium levels (mg.kg$^{-1}$) | کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g$^{-1}$) | کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g$^{-1}$) | کارتنوئید Carotenoid (mg.g$^{-1}$) | کادمیوم اندام هوایی Shoots cadmium (mg.kg$^{-1}$) | کادمیوم ریشه Root cadmium (mg.kg$^{-1}$) | کادمیوم خاک Soil cadmium (mg.kg$^{-1}$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EDTA | 0 | 0 | 845.33 a | 416.66 de | 589 bc | 0.523 k | 2.23 k | 0.197 f |
| | | 15 | 490 def | 364 efg | 270.3 fg | 2.227 hi | 6.10 k | 0.367 ef |
| | | 30 | 255 hi | 302.33 ghi | 349.3 ef | 3.123 ef | 17.18 h | 1.137 ab |
| | 0.5 | 0 | 852.66 a | 520.33 c | 640.6 b | 0.593 j | 2.23 l | 0.197 f |
| | | 15 | 760 ab | 390 def | 648 ab | 2.267 gh | 17.97 h | 1.017 b |
| | | 30 | 312.33 ghi | 315 ghi | 447.6 ef | 5.100 d | 33.70 c | 1.190 a |
| | 1 | 0 | 843.66 a | 586.33 b | 623.3 ab | 0.697 j | 2.50 l | 0.220 f |
| | | 15 | 418.33 efg | 391 def | 393 ef | 3.467 e | 23.77 f | 0.930 cd |
| | | 30 | 360.33 ghi | 343.6 fgh | 488.3 ef | 6.833 b | 37.98 b | 0.793 cd |
| | 1.5 | 0 | 878.33 a | 426.3 d | 655.6 a | 0.767 j | 2.00 l | 0.267 ef |
| | | 15 | 810 a | 414.3 d | 425.6 ef | 4.560 d | 29.53 d | 0.263 ef |
| | | 30 | 467.33 ef | 318 ghi | 553.3 de | 8.57 a | 40.03 a | 0.123 f |
| PIOA | 0 | 0 | 519 de | 650.3 b | 575 d | 0.427 l | 1.97 l | 0.263 ef |
| | | 15 | 396.66 efg | 222.6 kl | 594 bc | 1.837 i | 5.10 l | 0.320 ef |
| | | 30 | 185.33 j | 205.3 l | 213.6 g | 2.707 g | 7.84 l | 0.950 c |
| | 0.5 | 0 | 669.66 bc | 752 a | 564.6 d | 0.457 kl | 2.14 l | 0.300 ef |
| | | 15 | 359.66 ghi | 357 ghi | 586 d | 1.860 i | 14.97 g | 0.753 d |
| | | 30 | 219.6 j | 236 jkl | 245.3 f | 3.107 f | 27.53 e | 1.090 ab |
| | 1 | 0 | 680.66 bc | 737.3 a | 595.6 bc | 0.580 jk | 2.47 l | 0.277 ef |
| | | 15 | 368 fgh | 249.6 jkl | 629.6 ab | 2.597 g | 20.23 g | 0.170 f |
| | | 30 | 231 ij | 250.6 jkl | 253.3 ef | 5.583 c | 29.77 d | 0.763 d |
| | 1.5 | 0 | 596.33 cd | 594.6 bc | 623.3 c | 0.697 j | 1.86 l | 0.267 ef |
| | | 15 | 413 efg | 286.3 ijk | 264.6 f | 3.513 e | 24.47 f | 0.200 f |
| | | 30 | 249.33 hi | 264.3 jkl | 371 ef | 7.03 b | 31.27 d | 0.503 e |

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column, the means with similar letters, according to Duncan's Multiple Range Test, did not differ significantly at the five percent probability level.

## کادمیوم اندام هوایی

میزان کادمیوم اندام هوایی به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین کادمیوم اندام هوایی (۸/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده EDTA و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان کادمیوم اندام هوایی (۰/۴۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) بود (جدول ۴). می‌توان اذعان داشت که کادمیوم به علت قابلیت تحرک بیشتر شاخص انتقال بالایی به گیاه دارد (Wang *et al.*, 2016). در همین راستا محققان دیگر بیان داشتند که بین مقدار عناصر سنگین در آب آبیاری، تجمع این عناصر در خاک و مقدار این عناصر در گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد (Sillanppa and Jansson, 1992). در مطالعه‌ای که روی آبیاری گیاه برنج با پساب حاوی عناصر سنگین انجام شده، نشان داده شد که اندام‌های مختلف گیاه آبیاری شده با پساب مقدار قابل توجهی از عناصر نیکل، سرب و کادمیوم را جذب نمودند (Mireles *et al.*, 2004). در مطالعه دیگری غلظت عناصر سنگین در گیاه رازیانه در اثر آبیاری با آب آلوده به سرب و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش غلظت کادمیوم در آب آبیاری، غلظت کادمیوم در خاک‌های تحت کشت و به دنبال آن در

گیاهان کشت‌شده در گلدان‌ها افزایش داشته است (Merikhi'pour and Izadi'far, 2016)، که نتایج پژوهش حاضر را مورد تائید قرار می‌دهد.

کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کادمیوم اندام هوایی در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید که به دلیل بالا بودن تمایل پیوند EDTA به فلزات است. وقتی EDTA در غلظت‌های بالایی استفاده می‌شود، تأثیر بالقوه‌ای بر آزاد شدن فلزات از فاز جامد با تشکیل کمپلکس‌های محلول دارد و تشکیل کمپلکس‌های EDTA با فلزات در محلول خاک ممکن است تعادل رسوب و جذب را به سمت حل شدن فلزات پیش ببرد (Dushenkov *et al.*, 1997). محققان با ارزیابی پالایش سبز توسط پیاز سبز و سرخس گزارش کردند که EDTA به مقدار قابل‌توجهی غلظت سرب را در ساقه پیاز سبز افزایش داده است (Cho *et al.*, 2009). میزان کادمیوم ریشه نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده قرار گرفت، کادمیوم به علت قابلیت تحرک بیشتر شاخص انتقال بالایی به گیاه دارد (Wang *et al.*, 2016).

## کادمیوم ریشه

میزان کادمیوم ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده، درصد کلات‌کننده قرار گرفت ولی برهمکنش نوع کلات‌کننده و درصد آن‌ها معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین کادمیوم ریشه (۴۰/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک زراعی) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده EDTA و خاک دارای ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان کادمیوم ریشه (۱/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار حاوی ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کلات‌کننده PIOA و خاک فاقد کادمیوم بود. کاربرد کلات‌کننده موجب افزایش کادمیوم ریشه در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۹۴/۴۲ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). در آزمایشی که بر گیاه چغندر انجام شد، نتایج نشان داد که تجمع کادمیوم در ریشه‌های چغندرقند ۵ تا ۱۰ برابر بیش از اندام هوایی آن بوده است، افزودن کلات‌کننده به خاک موجب افزایش کادمیوم ریشه در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید (Larsson *et al.*, 1998). هم‌چنین در پژوهش دیگری به‌منظور پالایش سبز خاک‌های آلوده به سرب توسط گونه *Maximowiczi anabidens* گزارش گردید که توزیع سرب در گیاه به ترتیب: ریشه > ساقه > برگ بوده و تحرک سرب خاک و غلظت سرب در گیاهان، هر دو با استفاده از EDTA افزایش یافتند (Hong *et al.*, 2007).

## کادمیوم خاک

میزان کادمیوم خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر سطوح کادمیوم، نوع کلات‌کننده و درصد کلات‌کننده و برهمکنش آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین کادمیوم خاک (۱/۱۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA با سطح ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم و کمترین میزان کادمیوم خاک (۰/۱۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) مربوط به تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم EDTA با سطح ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کادمیوم بود (جدول ۴). کاربرد کلات‌کننده موجب کاهش کادمیوم خاک در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، به‌گونه‌ای که نسبت به شاهد (فاقد کلات‌کننده و فاقد کادمیوم) حدود ۸۳/۴۴ درصد کاهش نشان می‌دهد، این به دلیل آن است که EDTA اضافه شده قادر بوده که حلالیت کادمیوم محلول خاک را افزایش دهد. در نتیجه منجر به افزایش جذب کادمیوم بیشتری در گیاه شده است.

توانایی EDTA در افزایش غلظت فلزات در محلول خاک تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله غلظت فلزات و EDTA، حضور کاتیون‌های رقابتی، گونه‌های فلزی و توزیع آن‌ها در بین بخش‌های خاک، pH خاک، جذب فلزات آزاد یا کمپلکس شده روی ذرات باردار خاک و ثبات تشکیل ترکیبات فلز-لیگاند می‌باشد (Dushenkov *et al.*, 1997). در پژوهش دیگری نیز مشاهده گردید که فاکتور تغلیظ زیستی در اندام‌های زیرزمینی گیاه بوریا (*Scirpusmaritimus* L.) به طور نسبی بالاتر بوده و غلظت سرب و کروم در ریشه< ریزوبیوم< برگ< ساقه بود (Ebrahimi and Shahsavand, 2014).

در یک مطالعه آزمایشگاهی اثر غلظت‌های مختلف EDTA در آبشویی فلزات کادمیم، مس، سرب و روی بررسی و گزارش گردید که آبشویی این فلزات با افزایش غلظت EDTA افزایش یافته و ۴ تا ۷۸ درصد از کل سرب موجود در خاک پس از استفاده از EDTA حذف شده است. از طرفی کاربرد

کلات‌کننده موجب کاهش کادمیوم خاک در کلیه تیمارهای تحت تأثیر کادمیوم گردید، این به دلیل آن است که EDTA اضافه شده قادر بوده که حلالیت کادمیوم محلول خاک را افزایش دهد. در نتیجه منجر به افزایش جذب کادمیوم بیشتری در گیاه شده است (Wu *et al.*, 2004). در پژوهش دیگری گزارش گردید که جابجایی سرب از ریشه به شاخساره‌ها می‌توانند به طور چشم‌گیری با کاربرد ترکیبات EDTA افزایش یابد (Liu *et al.*, 2007) که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

## نتیجه‌گیری کلی

می‌توان بیان کرد که با کاربرد کلات‌کننده EDTA در خاک، گیاه قادر بوده که حلالیت کادمیوم را در محلول خاک افزایش دهد، در نتیجه منجر به افزایش جذب کادمیوم در گیاه موراله شده است. نتایج بررسی خاک حاکی از آن بود که در خاک‌های حاوی کلات‌کننده‌های EDTA و PIOA به صورت قابل توجهی میزان کادمیوم خاک کاهش داشته و به همان میزان کادمیوم در اندام‌های مختلف گیاه بخصوص ریشه که مستقیماً با آلودگی مواجه بود افزایش داشت. کلات‌کننده EDTA بطور معنی‌داری نسبت به PIOA قابلیت حل کادمیوم بیشتری توسط گیاه از خاک را داشت.

در مجموع نتایج این تحقیق گویای آن است که گیاه موراله یک گیاه مقاوم به آلودگی‌های خاک است و می‌تواند سطوح آلودگی را تا میزان مشخصی تحمل نماید که با حضور کلات‌کننده این گیاه سطوح بالاتری از عنصر کادمیوم را جذب نموده بود و به عبارتی گیاه‌پالایی و جدا کردن فلز کادمیوم از خاک توسط گیاه بهتر انجام پذیرفت. به دلیل بالا بودن تمایل پیوند EDTA به فلزات، وقتی EDTA در غلظت‌های بالایی استفاده شود. تأثیر بالقوه‌ای بر آزاد شدن فلزات از فاز جامد با تشکیل کمپلکس‌های محلول دارد و تشکیل کمپلکس‌های EDTA با فلزات در محلول خاک ممکن است تعادل رسوب و جذب را به سمت حل شدن فلزات پیش ببرد.

## سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از همکاری ریاست محترم و کارکنان زحمت‌کش پژوهشکده کشاورزی بقیه‌الله الاعظم دانشگاه زابل که ما را در اجرای این پژوهش یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌شود.

**References**

Alipour, N., Homayi, V., Asadi Kapoorchal, S. and Mazhari, M. 2015. Evaluation of resistance and excess of lead by (*Chenopodium album* L.) leek in heavy metal contaminated hub soil. *Environmental Sciences*, *13*(1), pp.105-112. [In Persian].

Allison, L.E. and Moodie, C.D. 1965. Carbonate. p. 1379-1400. In C.A. Black et al. (ed). Methods of Soil Analysis. Part 2. 1st ed. Soil Science Society of America, Madison, WI. Alloway, B.J. 1990. *Heavy metals in soils*. John Wiley and Sons Inc., New York, ISBN 0470215984.

Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*(2), pp.112-121.

Benavides, M.P., Gallego, S.M. and Tomaro, M.L. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, *17*, pp.21-34.

Borghei, S., Arjmandi, R. and Moogouei, R. 2013. Potential of *Chenopodium album* for uptaking and accumulation of stable cesium. *Journal of Environmental Science and Technology*, *15*(3), pp.1-11. [In Persian].

Canbay, M., Aydin, A. and Kurtulus, C. 2010. Susceptibility and heavy-metal contamination in top soils along the Izmit Gulf coastal area and IZAYTAS (Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, *70*, pp.46-57. **doi: 10.1016/j.jappgeo.2009.11.002**

Cho, Y., Bolick, G.A. and Butcher, D.J. 2009. Phytoremediation of lead with green onions (*Allium fistulosum*) and

uptake of arsenic compounds by moonlight ferns (*Pteris cretica* cv. Maji). *Microchemical Journal*, *91*(1), pp.6-8. **doi:10.1016/j.microc.2008.05.008**

Dushenkov, S., Kapulnik, Y., Blaylock, M., Sorochinsky, B., Raskin, I. and Ensley, B. 1997. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. *Global Environmental Biotechnology*, pp.563-572.

Ebrahimi, M. and Shahsavand, F. 2014. EDTA enhanced phytoextraction capacity of *Scirpus maritimus* L. grown on Pb-Cr contaminated soil and associated potential leaching risks. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, *2*(10), pp.379-388.

Evangelou, M.W.H., Ebel, M. and Schaeffer, A. 2007. Chelate assisted phytoextraction of heavy metals from soil effect, mechanism, toxicity, and fate of chelating agents. *Chemosphere, 68,* pp.989-1003. **doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.01.062**

Ewaise E.A. 1997. Effects of cadmium nickel and lead on growth, chlorophyll content and proteins of weed. *Biologia Plantarum*, *39*, pp.403-410.

Gee, G.W. and Bauder, T.W. 1986. Particle-size analysis. Methods of soil analysis, part 1: Physical and mineralogical methods 2nd ed. *Agronomy Journal, 9(1) ASA. SSSA.* Madison Publisher, Wisconsin, USA. **doi: 10.2136/sssabookser5.1.2ed.c15**

Ghorbanpoor, Z., Gholamalizadeh, A., Lakzian, A. and Abbaspoor, A. 2019. The Effect of potassium source on reducing cadmium stress and cadmium uptake by canola (*Brassica napus*L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(1), pp.307-317. [In Persian]. **doi: 10.22077/escs.2018.1033.1203**

Hong-qi, W., Si-jin, L., Hu, A. and Zhi-hua, Y. 2007. EDTA-enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by Bidensmaximowicziana. *Journal of Environmental Sciences*, *19*, pp.1496-1499. **doi: 10.1016/S1001-0742(07)60243-5**

Hossner, L.R. 1996. Dissolution for total elemental analysis. P 49-64. In: Methods of soil analysis. (Ed. D.L. Sparks). ASA and SSSA. Madison, WI.

Knudson, D. and Peterson, G.A. 1982. Lithium, Sodium and Potassium, P 225-246. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Argon. Monogr. 9. ASA. Madison, WI.

Larsson, E.H., Bornman, F.J. and Asp, H. 1998. Influence of UV-B radiation and $Cd^{2+}$ on chlorophyll fluorescence, growth and nutrient content in *Brassica napus*. *Experimental Botany*, *49*, pp.1031-1039. **doi. 10.1093/jxb/49.323.1031**

Liu, D., Yang, T., Li X., Islam, E., Jin, X. and Mahmood, Q. 2007. Enhancement of lead uptake by hyperaccumulator plant species Sedum alfrediiHance using EDTA and IAA. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*, *78*(4), pp.280-283.

Mclean, E.D. 1982. Soil pH and lime measurement. Methods of soil analysis part 2: Chemical and microbial properties. 2nd ed. *Agronomy Journal, 9(1). ASA. SSSA.* Madison Publisher. Wisconsin. USA.

Merikhi'pour, H. and Izadi'far, Sh. 2016. Investigation of concentrations of heavy elements in fennel plant due to irrigation with water contaminated with lead and cadmium. 1St National Conference on Aromatic and Medicinal Plants. Gonbad Kavous University, 2016.

Mico, C., Recatala, L., Peris, M. and Sa´nchez, J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere, 65*, pp.863-872. **doi. 10.1016/j.chemosphere.2006.03.016**

Miller, P.R., Gan, Y., McConkey, B.G. and McDonald, C.L. 2006. Pulsecrops for the northern Great Plains: I. Grain productivity and residual effects on soil water and nitrogen. *Agronomy Journal, 95*(4), pp.972-979. **doi. 10.2134/agronj2003.9720**

Mireles, A., Solísa, C., Andrade, E., Lagunas Solar, M. and Flocchinib, R.G. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: *Beam Interactions with Materials and Atoms, 12*, pp.187-190. **doi: 10.1016/j.nimb.2004.01.051**

Mirkhani, R., Saadat, S., Rezaei, H. and Rezabagheri, Y. 2018. Effect of EDTA on uptake of Lead and Cadmium by Canola. *Applied Soil Research, 5*(2), pp.52-65. [In Persian].

Mohammadi, M., Shirvani Mahani, S. and Fotovat, A. 2007. Comparison of zinc and cadmium uptake in radishes and watercress and study of their interactions, *Soil, Environment and Sustainable Development.* Conference, Karaj, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. [In Persian].

Mohsenian, H.R. and Roosta, Y. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae,* 146, pp.182-191. **doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.018**

Mohtadi, A. and Hooshyari, S. 2016. Study of cadmium and zinc interaction in *Matthiola flavida Boiss. Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, *29*(1), pp.210-220. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.23832592.1395.29.1.18.0**

Mojahedi, H., Amerian, M.R., Victim, H. and Rahimi, M. 2012. The effect of application of mycorrhiza and EDAT chelates on some vegetative traits of maize plants at different levels of lead pollution, *6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering*, Tehran. [In Persian].

Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis. D. L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. *American Society of Agronomy,* Inc., Madison, WI. pp.961-1010.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S. and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA Circ.,* No. 939.

Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. *American Society of Agronomy, Soil Science Society of America,* pp: 1159-1982.

Prasad, M.N. 1995. Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environment and Experimental Botany, 35*, pp.525-545. **doi: 10.1016/0098-8472(95)00024-**0

Prasad, M.N.V. and Strzalka, K. 1999. Impact of heavy metals on photosynthesis. In: Heavy metal stress in plants (Eds. Prasad, M. N. V. and Hagemeyer, J.) 117-138. Springer Verlag, Berlin.

Pulford, I.D. and Watson, C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees- a review. *Environment International, 29*(4), pp.529-540**. doi: 10.1016/S0160-4120(02)00152-6**

Rhoades, J.D. 1982. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of Soil Analysis. D.L. Sparks et al. (eds) part III, 3rd ed. *American Society of Agronomy*, Inc., Madison, WI. pp.417-436.

Sanita di Toppi, L. and Gabbrielli, R. 1999. Response to cadmium in higher plants. *Environmental and Experimental Botany*, *41*, pp.105-130. **doi: 10.1016/S0098-8472(98)00058-6**

Sarsar, V., Hardeep, H., Selwal, K.K., Tanwar, R.S., Pankaj, K., Tyagi, P.K. and Anami Ahuja, A. 2012. Indian Mustard *Brassica juncea* L. Mediated Phytoremediation of Lead. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, *3*(4), pp.1-5.

Sillanppa, M. and Jansson, H. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt, and selenium in soils and plant of thirty countries. FAO soils Bulletin Rome. Italy. 65p.

Sillen, W., Rineau, F., Weyens, N. and Vangronsveld, J. 2016. Towards an enhanced understanding of plant-microbiome interactions to improve phytoremediation: engineering the Meta organism. *Frontiers in Plant Science, 7*, pp.341-349. **doi: 10.3389/fmicb.2016.00341**

Wang, X., Chen, C. and Wang, J.L. 2016. Bioremediation of cesium-contaminated soil by Sorghum Bicolor and soil microbial community analysis. *Geo microbiology Journal*, *33*, pp.216-221. **doi: 10.1080/01490451.2015.1067655**

Wilson, J. 1983. Effects of water stress on in vitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. *Crop & Pasture Science, 34*(4), pp.377-390. **doi: 10.1071/AR9830377**

Wu, L.H., Luo, Y.M., Xing, X.R. and Christie, P. 2004. EDTA-enhanced phytoremediation of heavy metal contaminated soil with Indian mustard and associated potential leaching risk. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 102*(3), pp.307-318. **doi: 10.1016/j.agee.2003.09.002**

**Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 3, Winter 2023, P. 605-617**

# Evaluation of EDTA and PIOA chelates for phytoremediation of cadmium contaminated soils by Morale (*Chenopodium album* L.)

**Mohadeseh Jahantigh[1], Mehdi Dahmardeh[2*], Ahmad Gholamalizadeh Ahangar[3], Somayeh Shahraki[4], Issa Khammari[2]**

[1] Ms.c Student of Agro Technology, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran
[3] Department of Soil Science, University of Zabol, Zabol, Iran
[4] Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran
[*]Corresponding Author: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir

Received: 30 June 2021 Accepted: 31 December 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2022.292953.1100**

## Abstract

**Introduction:** Today, soil pollution is one of the important environmental issues that must be taken into consideration. Industrial activities cause pollution and accumulation of heavy metals in the soil. The rate of absorption of pollutants, especially heavy metals, by different plants is different. If resistant plants can be found that are able to reduce some of the pollution in water or soil, they can be used to remove pollution from polluted sources. Heavy metals are considered as an important environmental problem due to their toxicity, cumulative effects, long persistence time in the environment, carcinogenicity and non-degradability. Chemical phytoremediation is a method in which different chelating agents are used to increase the absorption of metals by the plant. The purpose of this research is to investigate the ability of morale as a weed with a wide geographical spread in the country, to absorb cadmium metal pollution.

**Material and Methods:** This research was carried out in the agricultural year of 2018-2019 in the greenhouse of agricultural Research Institute of Zabul University, located in Zahak city, with a geographic location of 61˚ 41' east longitude and 30˚ and 54' north latitude and an altitude of 483 meters above sea level. The research was carried out as a factorial experiment in the form of a completely randomized design with three replications. The experimental treatments include EDTA and PIOA chelate at four levels (0, 0.5, 1 and 1.5 mg/kg of soil) as the first and second factors, respectively, and cadmium at three levels (0, 15 and 30 mg/kg of soil) from the source of cadmium nitrate as the third factor. This research aims to investigate the phytoremediation ability of Morale in the presence of EDTA and PIOA chelating agents in a selected soil from the drainage area of zabol in the form of a pot test on a soil contaminated with cadmium, in the greenhouse of the agricultural research institute was done of the zabol university. In each pot, 4 morale seedlings prepared from the treasury of Zabol University Agricultural Research Institute were planted at a depth of 10 cm. Analysis of data was done using SAS software version 9.1. The mean comparison of the treatments was analyzed using Duncan's multiple range test at the 5% level.

**Results and Discussion:** The application of chelating agent increased chlorophyll a in all treatments affected by cadmium, so that the highest amount of chlorophyll a (878.33 mg/g) was in the treatment of 1.5 mg/kg EDTA and soil without cadmium, which ratio It showed an increase of about 3.75% compared to the control (without chelating agent and without cadmium). The highest amount of cadmium in aerial parts (8.57 mg/kg) corresponds to the treatment containing 1.5 mg/kg of EDTA chelated and soil with 30 mg/kg of cadmium and the lowest amount of cadmium in aerial parts (0.427 mg/kg) was related to the control treatment (without chelating agent and without cadmium). The application of chelating agent increased root cadmium in all treatments under the influence of cadmium, in a way that showed an increase of about 94.42% compared to the control (without chelating agent and without cadmium).

**Conclusion:** In sum, the results of this research show that the Morale plant is a plant resistant to soil pollution and can tolerate the levels of pollution to a certain extent. Refinement and separation of

cadmium metal from the soil was done better by the plant. Due to the high tendency of EDTA to bind to metals, when EDTA is used in high concentrations. It has a potential effect on the release of metals from the solid phase by forming soluble complexes, and the formation of EDTA complexes with metals in the soil solution may advance the balance of precipitation and absorption towards the dissolution of metals.

**Keywords:** Chlorophyll, Heavy metals, Root cadmium, Shoots