

## The Effect of Using EDTA on the Uptake of Lead and Cadmium by Wheat

RASOUL MIRKHANI\*

1- Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran  
(Received: Dec. 23, 2020- Revised: Apr. 22, 2021- Accepted: Apr. 26, 2021)

### ABSTRACT

Lead (Pb) and cadmium (Cd) are among heavy metals which enter water, soil, plants and ultimately the human and animals food chain from various resources. Several methods has been suggested for remediation of contaminated soils which are mostly very expensive and therefore the use of less expensive methods to remove contaminated soils can help to purify and use these lands optimally. Phytoremedian is one of the low cost and environmentally friendly methods. Use of chelates is one of the effective approaches for increasing the bioavailability of heavy metals. Therefore, In this study, the effect of Ethylene Diamine Tetra-acetic Acid (EDTA) as a chelating agent on increasing absorption of Pb and Cd by Wheat (Bahareh) were studied. A pot experiment was conducted in the greenhouse with a factorial and completely randomized design with three replications. Factors including: 1- EDTA application in two levels (0 and 2.7 mmolkg<sup>-1</sup> soil), 2- Pb at three levels ( 0, 150 and 500 mgkg<sup>-1</sup> soil) and 3- Cd in three levels (0, 3 and 10 mgkg<sup>-1</sup> soil). Consequently, a non-contaminated soil was selected and contaminated with different amounts of Pb and Cd. Then, Wheat seeds were planted and after harvest, Pb and Cd concentration in plants (grain and straw) and soil was measured. The results showed that EDTA application was able to increase Pb and Cd solubility in soil solution, resulting an increase in absorption of Pb in straw (12.5 times) and grain (68.8 times) and Cd in straw (26 %).

**Keywords:** Ethylene Diamine Tetra-acetic Acid, Phytoremediation, Cadmium, Lead and Wheat.



## تأثیر استفاده از EDTA بر قابلیت جذب سرب و کادمیم توسط گندم

رسول میرخانی<sup>۱\*</sup>

۱. موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران  
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۲/۲ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۲/۶)

### چکیده

فلزات سنگین به ویژه سرب و کادمیم به دلیل پیامدهای ناگوار در آلودگی محیط زیست اهمیتی ویژه دارند. این آلاینده‌ها از منابع مختلف به آب، خاک، گیاه و نهایتاً به زنجیره غذایی انسان راه می‌یابند. روش‌های مختلفی برای پالایش خاک‌های آلوده وجود دارد که عمدتاً بسیار گران و پرهزینه بوده و به این دلیل استفاده از روش‌های کم هزینه‌تر برای رفع آلودگی خاک‌های آلوده می‌تواند به پالایش و استفاده بهینه از این اراضی کمک نماید. یکی از روش‌های کم هزینه و سازگار با طبیعت استفاده از گیاهان می‌باشد. استفاده از کلات‌ها از جمله شیوه‌های مؤثر در فراهمی زیستی عناصر سنگین است. در این پژوهش تأثیر اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید (EDTA) به‌عنوان یک کلات‌کننده شیمیایی در افزایش جذب سرب و کادمیم توسط گندم (رقم بهاره) بررسی گردید. این پژوهش در شرایط گلخانه‌ای به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل: ۱- کاربرد EDTA در دو سطح (صفر و ۲/۷ میلی‌مول در کیلوگرم خاک)، ۲- عنصر سرب در سه سطح (صفر، ۱۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و ۳- عنصر کادمیم در سه سطح (صفر، ۳ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. بدین‌منظور، یک نمونه خاک غیرآلوده انتخاب و با غلظت‌های مختلف سرب و کادمیم آلوده شد. سپس بذر گندم کشت گردید و در پایان دوره رشد (هفت ماه پس از کشت) غلظت سرب و کادمیم در گیاه (کاه و کلش و دانه) و خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که کاربرد EDTA حلالیت سرب و کادمیم را در محلول خاک افزوده و منجر به افزایش جذب سرب در کاه و کلش (۱۲/۵ برابر) و دانه گندم (۶۸/۸ برابر) و کادمیم در کاه و کلش (۲۶ درصد) گردید.

**واژه‌های کلیدی:** اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید، گیاه‌پالایی، کادمیم، سرب و گندم.

### مقدمه

آلودگی خاک خطرات روز افزونی برای سلامت انسان و محیط زیست دارد. عناصر سنگین از جمله مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست بوده که در چند دهه اخیر به شدت مورد توجه محققین قرار گرفته است. تجمع عناصر سنگین، می‌تواند به حدی برسد که امنیت غذایی بشر را تهدید نماید. سالانه مقادیر زیادی از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد زیست بوم می‌شوند. لذا، ضروری است روش کم هزینه‌ای برای پاکسازی مناطق آلوده یافت. در دهه‌های اخیر، پژوهشگران روش نوین استفاده از گیاهان برای زدودن آلودگی از خاک یا گیاه‌پالایی را بنیان نهاده‌اند. که فناوری استفاده از گیاهان در پالایش زیست بوم می‌باشد (Shakoor et al., 2013). روش گیاه‌پالایی در مقایسه با سایر روش‌های پالایش بسیار کم هزینه و ساده است و برای زیست بوم بسیار مناسب است. زیرا به دلیل استفاده از گیاهان بسیار مورد توجه دوست‌داران زیست بوم قرار گرفته است. با این فناوری ضمن کمک به پاک‌سازی آلاینده‌های

محیطی، به زیبا سازی منطقه نیز کمک می‌شود. به عبارت دیگر، همزمان با خارج کردن آلاینده‌ها، محیط برای اکوتوریسم نیز آماده می‌شود (Sun et al., 2011). در انتخاب گیاه برای گیاه‌پالایی بایستی به مقاومت به مقادیر بالای عنصر، تجمع مقادیر بالای فلز، سرعت رشد بالا، تولید بیوماس بالا در مزرعه و سیستم ریشه‌ای گسترده و فراوان توجه نمود (Adriano, 2004). برای مثال Alaboudi et al. (2018) در پژوهشی گلدانی، گیاه آفتابگردان را برای اصلاح خاک‌های آلوده به سرب و کادمیم پیشنهاد کردند. Xiaohai et al. (2008) طی پژوهشی به منظور ارزیابی پتانسیل ۱۹ گیاه در حال رشد در مکان‌های آلوده در منطقه معدن سرب نشان دادند که محصول *Ricinus communis* L. و دو گونه بومی (*Tephrosia candida* و *Debregesia orientalis*) دارای پتانسیل بالایی برای پالایش سرب خاک‌های آلوده به سرب بودند و ظرفیت بیش اندوز سرب در این سه گیاه به ترتیب *R. communis* بیشتر از *D. orientalis* و *T. candida* بود.

سرب و کادمیم بیشتری در گیاه شده است. ولی در جذب نیکل توسط ذرت، EDTA نتوانست حلالیت و جذب نیکل را افزایش دهد. در این مطالعه کاربرد ۳ و ۶ میلی مول در کیلوگرم EDTA مقدار سرب را در اندام هوایی به ترتیب ۵۴/۱ و ۴۳ درصد افزایش داد. در پژوهشی Adiloglu *et al.* (2016) با بررسی سطوح مختلف EDTA (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی مول در کیلوگرم خاک) بر جذب نیکل توسط کلزا نشان دادند که با افزایش EDTA عملکرد ریشه و ساقه کلزا کاهش و مقدار نیکل افزایش معنی داری (در سطح یک درصد) داشت. Mirkhani *et al.* (2018) با بررسی تأثیر EDTA بر جذب سرب و کادمیم توسط گیاه کلزا نشان دادند که کاربرد EDTA حلالیت سرب و کادمیم را در محلول خاک افزوده و منجر به افزایش جذب سرب در کاه و کلش (۲۵/۶ برابر) و دانه کلزا (۱۱/۲ برابر) و کادمیم در کاه و کلش (۱۲ درصد) شده است. Saffari and Saffari (2020) طی پژوهشی گلدانی کارایی استخراج سبز کادمیم توسط گیاه کلزا در خاک آهکی با استفاده از کلات کننده های EDTA، اسید سیتریک و اسید تارتاریک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کلات کننده ها، به ویژه EDTA، به طور قابل توجهی ضریب تحرک کادمیم را افزایش داده و کلزا هم یک گیاه بیش اندوز کادمیم می باشد. علاوه بر این با توجه به تجزیه بیولوژیکی اسید استیک و افزایش کارایی فاکتور انتقال و زیست توده گیاهان در کاربرد اسید استیک، در مقایسه با تیمارهای EDTA و اسید تارتاریک، توصیه کردند که اسید استیک به عنوان یک ماده شیمیایی برتر برای افزایش کارایی گیاه پالایی کادمیم استفاده گردد.

توانایی EDTA در افزایش غلظت فلزات در محلول خاک تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله غلظت فلزات و EDTA، حضور کاتیون های رقابتی، pH خاک، جذب فلزات آزاد یا کمپلکس شده بر روی ذرات باردار خاک و ثبات تشکیل ترکیبات فلز-لیگاند می باشد (Dushenkov *et al.* 1997). برای مثال در پژوهشی Cui *et al.* (2004) گزارش کردند که کاربرد توأم EDTA و گوگرد عنصری به طور قابل توجهی حلالیت فلزات سنگین (سرب و روی) را افزایش داد. Yang *et al.* (2006) گزارش کردند که pH خاک عامل مهمی برای کنترل جذب و دفع سطحی سرب در خاک بود به طوری که کاهش pH، دفع سطحی سرب از خاک را افزایش و به تبع آن غلظت سرب محلول خاک افزایش یافت. بنابراین کاهش pH می تواند راندمان کلات کننده ها را در حلالیت و تجمع فلزات افزایش دهد. در پژوهشی Gasemi Fasaei (2012) نشان داد که در تمام سطوح فسفر، EDTA باعث افزایش جذب و کارایی

در زمینه پالایش خاک های آلوده به ترکیبات آلی و غیر آلی با استفاده از گیاهان پژوهش های زیادی انجام شده است. برای مثال Shtangeeva *et al.* (2018) طی پژوهشی به بررسی حذف هیدروکربن های معطر چند حلقه ای<sup>۱</sup> (PAHs) و استخراج برم از خاک های آلوده با استفاده از گیاهان نخود و گندم برای اصلاح خاک آلوده پرداختند و نتایج نشان داد که در خاک کشت شده غلظت بسیاری از PAHها در مقایسه با غلظت ترکیبات موجود در خاک اولیه تا ۷ برابر کاهش یافت و غلظت برم در ریشه نخود و گندم به ترتیب ۲۱ و ۳ برابر و در کاه و کلش گندم و نخود به ترتیب ۱۰ و ۴/۵ برابر افزایش یافت لذا این گیاهان توانایی خوبی در پاک سازی خاک های آلوده به ترکیبات آلی و غیر آلی را نشان داد.

یکی از مشکلات روش گیاه پالایی، محدودیت در قابلیت استفاده عناصر مورد نظر در خاک است. بدین منظور از ترکیباتی برای افزایش حلالیت عناصر سنگین در خاک استفاده می شود. کلات ها گروهی از این ترکیبات هستند که استفاده از آنها برای افزایش قابلیت جذب عناصر سنگین مورد توجه قرار گرفته است. اغلب در آزمایش ها از کلات کننده EDTA استفاده می شوند. که یک کلات کننده مؤثر است (Gonsior *et al.*, 1997) زیرا EDTA در مقایسه با ترکیبات شیمیایی دیگر مثل اسیدهای غیر آلی، می تواند فلزات را به حالت محلول درآورد و اثرات نامطلوب کمتری بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بگذارد Steele and Pichtel (1998). Turan and Esringu (2007) با بررسی تأثیر مقادیر مختلف EDTA (صفر، ۳، ۶، ۱۲ میلی گرم در کیلوگرم) بر ظرفیت جذب سرب، کادمیم، مس و روی توسط کلزا و خردل هندی نشان دادند که کاربرد EDTA جذب عناصر سنگین را افزایش داده و کلزا بیشترین جذب را داشته و در هر دو گونه جذب عناصر سنگین در ریشه بیشتر از ساقه بود. (Zaier *et al.* 2010) نشان دادند که EDTA موجب افزایش تجمع عناصر سنگین (روی، منگنز و سرب) در ساقه کلزای کشت شده در لجن شده است. بر این اساس پیشنهاد شد که کلزا می تواند برای رفع آلودگی مورد استفاده قرار گیرد. در حالی که Ruilian *et al.* (2012) در پژوهشی نشان دادند که با افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک غلظت فلزات سنگین در دانه کلزا افزایش نداشت و فاکتور تغلیظ زیستی<sup>۲</sup> (BCFs) بسیاری از فلزات سنگین در دانه کلزا با افزایش غلظت آنها در خاک کاهش داشت. Saadat (2013) با بررسی جذب سرب، کادمیم و نیکل توسط گیاه ذرت نشان داد که کاربرد EDTA (۳ و ۶ میلی مول در کیلوگرم خاک) منجر به افزایش جذب

است منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی شود. Saifullah et al. (2009) طی پژوهشی با بررسی انحلال سرب در خاک و تجمع آن توسط گندم بهاره در پاسخ به روش کاربرد EDTA نشان دادند که استفاده از EDTA به صورت تقسیم شده در طول دوره رشد در مقایسه با کاربرد یک مرحله‌ای EDTA منجر به انحلال سرب کمتری شد و روش تقسیم EDTA، علی‌رغم تأثیر کمتر آن در محلول سازی سرب، به طور قابل توجهی غلظت و تجمع سرب در شاخسار گندم را افزایش داد، لذا انتظار می‌رود با تقسیم EDTA کاربردی، خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی کاهش یابد.

با توجه به افزایش سطح آلودگی خاک‌های کشاورزی کشور به آلاینده‌هایی همچون عناصر سنگین، پالایش خاک‌های آلوده و بررسی روش‌های مناسب برای اصلاح خاک‌های آلوده و بررسی روش‌های افزایش کارایی جذب آلاینده‌ها از محیط خاک کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این مطالعه اثر اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) به‌عنوان یک عامل کلات‌کننده مؤثر بر مقدار جذب عناصر سرب و کادمیم خاک توسط گیاه گندم و مقدار تجمع این عناصر در کاه و کلش و دانه گندم بررسی گردید.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش گلدانی با استفاده از گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل فاکتور کاربرد EDTA در دو سطح (صفر و ۲/۷ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) از منبع نمک سدیم که به عنوان کلات‌کننده شیمیایی به گلدان‌های در مرحله نزدیک گلدهی آنها افزوده شد. فاکتور عنصر سرب در سه سطح آلودگی (صفر، ۱۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و فاکتور عنصر کادمیم در سه سطح آلودگی (صفر، ۳ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) بودند. برای انجام این پژوهش ابتدا ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Or, 2002) و جرم مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه (Aria and Mirkhani, 2005) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

استخراج گیاهی سرب در ریشه و ساقه ذرت و افزایش مقدار فسفر باعث کاهش غلظت سرب در ریشه و ساقه ذرت شد. Ebrahimi and Shasavand, (2014) نشان دادند که فاکتور تغلیظ زیستی در اندام‌های زیرزمینی گیاه بوری ( *Scirpus maritimus* L.) به‌طور نسبی بالاتر بوده و غلظت سرب و کروم در ریشه بیشتر از برگ و برگ بیشتر از ساقه بود. علاوه بر این، افزایش EDTA (۱۰، ۵ و ۲/۵ میلی‌مول در کیلوگرم خاک) به‌طور معنی‌داری تحرک عناصر را افزایش داد و ضریب همبستگی مثبتی بین زمان و غلظت عناصر در اندام‌های گیاهی مشاهده شد. به طوری که مناسب‌ترین مقدار EDTA مربوط به مقدار ۵ میلی‌مول در کیلوگرم در ۶۰ روز پس از کشت گزارش شد. (Mwstefa and Ahmad 2019) در پژوهشی گلدانی با بررسی تأثیر کودهای فسفر بر کارایی گیاه-پالایی عناصر سنگین بوسیله گندم نشان دادند که بین مقدار سوپر فسفات تریپل استفاده شده و کادمیم ( $r=0/47$ ) و سرب ( $r=0/88$ ) دانه گندم همبستگی معنی‌داری وجود داشت لذا کارایی گیاه‌پالایی عناصر سنگین با کاربرد کود فسفاته بیشتر گردید

تاکنون سمیت خاصی برای EDTA به خودی خود در محیط زیست شناخته نشده است، البته قابلیت آن در جابه‌جا کردن فلزات سنگین به‌علاوه پایداری آن، چیزی است که نگرانی‌های زیست محیطی را به دنبال داشته است (Gonsior et al., 1997). (Meers et al. 2004) در مورد خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی در استخراج سبز به کمک EDTA ابراز نگرانی کرده‌اند. (Wu et al. 2004) در یک مطالعه آزمایشگاهی اثرات غلظت‌های مختلف EDTA را در آبشویی فلزات کادمیم، مس، سرب و روی بررسی و گزارش کردند 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. در پژوهشی (Meers et al. 2005) گزارش دادند که انتقال سرب با افزایش غلظت EDTA افزایش می‌یابد. بنابراین سطح بالایی از سرب موجود در محلول خاک به‌علت استفاده از EDTA ممکن

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک پیش از اعمال تیمارها

موقعیت	عمق	درصد کربن	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	ازت کل	کادمیم قابل استخراج	سرب قابل استخراج
	cm	الی	$mg.kg^{-1}$	$mg.kg^{-1}$	%	DTPA با	DTPA با
	۰-۳۰	۰/۶	۳	۱۴۰	۰/۰۵	۱۱	۷۸
کرج	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	کلاس بافت	هدایت الکتریکی	pH	
	۵۳	۳۲	۱۵	Sandy Loam	۰/۵۶	۷/۵	

با استفاده از نمک‌های نیترات سرب و سولفات کادمیم اعمال

خاک از الک ۵ میلیمتری عبور داده شد و تیمارهای آلودگی

نگهداری شدند تا گیاه بتواند دوره سرما دهی را طی کند، پس از اتمام این دوره گلدان‌ها برای ادامه رشد رویشی و زایشی به گلخانه انتقال داده شدند. به منظور اعمال تیمار کاربرد EDTA، در زمان نزدیک به گلدهی، EDTA از منبع نمک سدیم به مقدار ۲/۷ میلی مول در کیلوگرم خاک افزوده شد. پس از برداشت (هفت ماه پس از کشت)، غلظت سرب و کادمیوم در خاک به روش DTPA (Ali Ehyae and Behbahanizadeh, 1993) و در گیاه (کاه و کلش و دانه) به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید کلریدریک (Emami, 1976) اندازه‌گیری و داده‌های بدست آمده از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن با سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

مقادیر سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک و مقادیر اندازه-گیری شده پس از برقراری تعادل در خاک در جدول (۲) ارائه شده است.

سرب (Pb)		کادمیوم (Cd)		
۵۰۰	۱۵۰	۱۰	۳	اضافه شده به خاک
۳۲۵	۱۰۶	۴/۲	۱/۳	اندازه‌گیری شده در خاک

## نتایج و بحث

اساس نتایج تجزیه واریانس سطوح مختلف سرب، کادمیوم، EDTA و اثرات متقابل آن‌ها بر غلظت سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به معنی‌دار بودن اثرات متقابل از تفسیر اثرات ساده صرف‌نظر شد.

تأثیر EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک سرب و کادمیوم در خاک و گیاه در جدول (۳) ارائه شده است. بر

جدول ۳ - نتایج تجزیه واریانس تأثیر EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده بر غلظت سرب و کادمیوم در خاک و گیاه

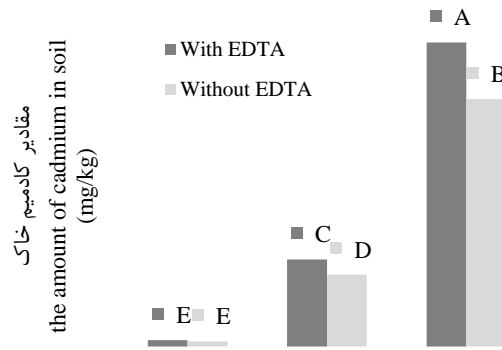
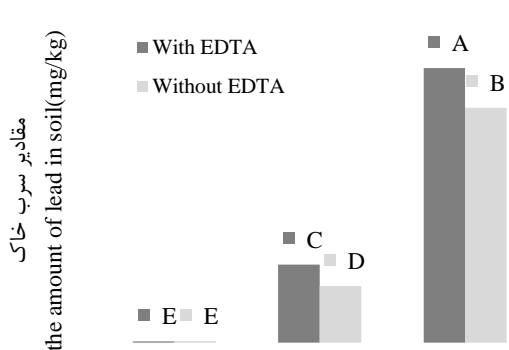
میانگین مربعات				df	منابع تغییر
کادمیوم دانه	سرب دانه	کادمیوم کاه	سرب کاه	درجه آزادی	
۹/۴۷**	۵۲/۱۷**	۲۲/۲۵ <sup>ns</sup>	۲۲۸۸۳/۸۵**	۱	کاربرد EDTA
۰/۷۶*	۱۷/۰۹**	۶/۴۵**	۱۲۷۹۹/۲۰**	۲	سرب (Pb)
۱۴/۰۹**	۳/۱۲**	۲۸/۲۵**	۸۵۱/۵۱**	۲	کادمیوم (Cd)
۰/۱۵**	۱۵/۵۹**	۲/۲۱**	۹۹۵۶/۷۵**	۲	Pb × EDTA
۲/۹۲**	۲/۵۰**	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۶۸۳/۶۲**	۲	EDTA × Cd
۰/۴۴**	۱/۱۶**	۱/۹۹**	۳۷۲/۱۳**	۴	Cd × Pb
۰/۰۶**	۰/۸۴**	۴/۶۱**	۲۹۹/۴۳**	۳	Cd × Pb × EDTA
۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۱۸	۱۱/۳۹	۳۴	خطا (Error)
۱۲/۰۱	۲۵/۰۳	۱۰/۵۶	۱۳/۹۶	-	CV

و کادمیوم اضافه شده به خاک در هر دو سطح EDTA، مقدار سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است که این افزایش در حضور EDTA به‌طور

شکل (۱) اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۱) با افزایش مقدار سرب

قابل استخراج با DTPA شده است که با نتایج Doumett *et al.* (2008) مطابقت دارد.

معنی داری نسبت به تیمارهای بدون EDTA بیشتر بوده است و نشان می‌دهد EDTA باعث افزایش قابلیت جذب سرب و کادمیم



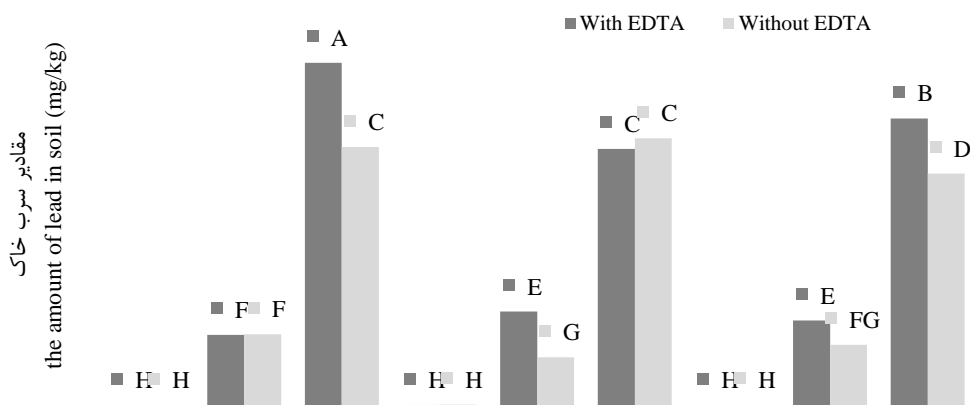
مقادیر سرب اضافه شده به خاک  
the amounts of added lead to soil (mg/kg)

مقادیر کادمیم اضافه شده به خاک  
the amounts of added cadmium to soil (mg/kg)

شکل ۱- اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیم قابل استخراج با DTPA در خاک

دلیل آن افزایش حلالیت و قابلیت دسترسی سرب توسط EDTA می‌باشد که با یافته‌های Haag – Kerwee *et al.* (1999) مطابقت داشت. همچنین Mirkhani *et al.* (2018) نیز در خصوص تأثیر EDTA بر جذب سرب و کادمیم توسط کلزا به نتایج مشابهی رسیدند.

شکل (۲) اثر متقابل EDTA، مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب قابل استخراج با DTPA در خاک را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۲)، نتایج نشان داد که در سطوح مختلف کادمیم اضافه شده به خاک، کاربرد EDTA به‌خصوص در تیمار ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب به‌طور معنی داری موجب افزایش سرب قابل استخراج با DTPA در خاک شده است که

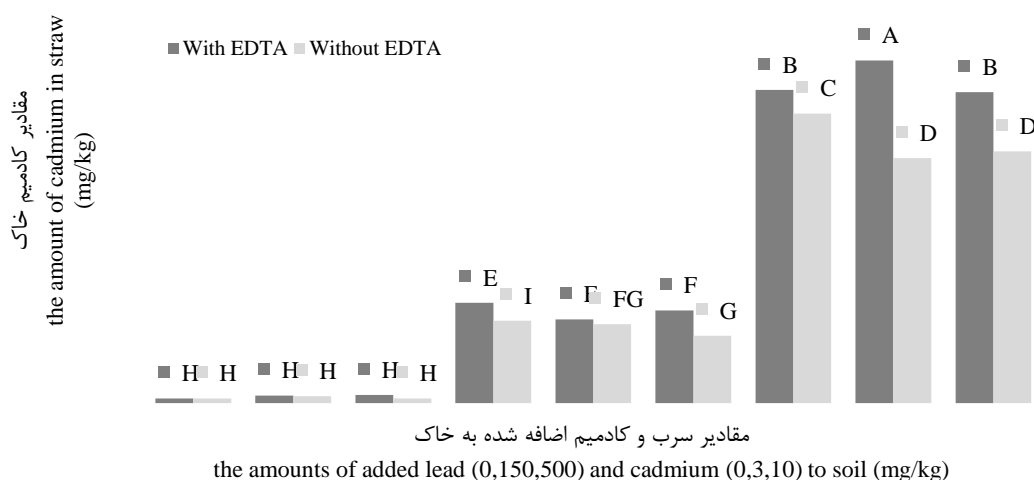


مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک  
the amounts of added lead (0,150,500) and cadmium (0,3,10) to soil (mg/kg)

شکل ۲- اثر متقابل EDTA، مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب قابل استخراج با DTPA در خاک

کادمیم قابل استخراج با DTPA در خاک به‌طور معنی داری افزایش داشت که این افزایش در تیمارهای کاربرد EDTA به‌طور معنی داری بیشتری بود که با یافته‌های Mirkhani *et al.* (2018) مطابقت داشت.

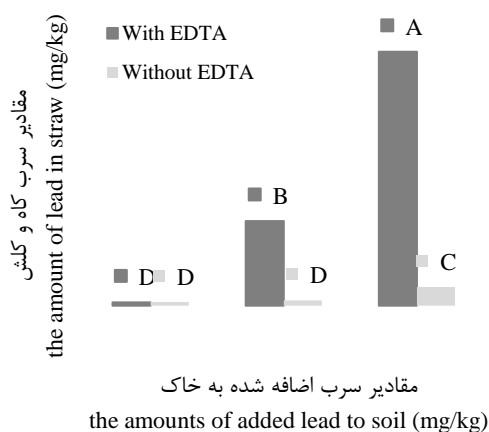
شکل (۳) اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت کادمیم قابل استخراج با DTPA در خاک را نشان می‌دهد. شکل (۳) نشان داد که در مقادیر مختلف سرب اضافه شده به خاک با افزایش کادمیم اضافه شده به خاک مقدار



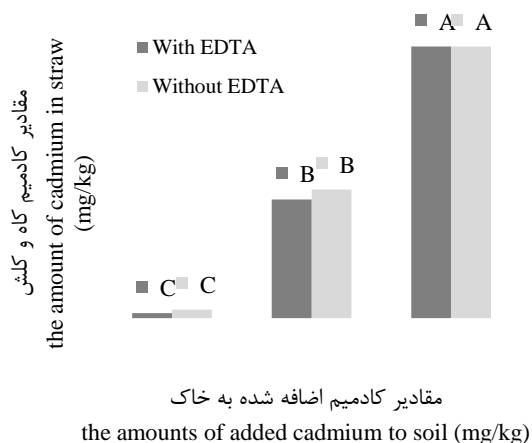
مقادیر سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک  
 the amounts of added lead (0,150,500) and cadmium (0,3,10) to soil (mg/kg)  
 شکل ۳- اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک

به خاک، سرب و کادمیوم کاه و کلش افزایش داشت. این افزایش در خصوص عنصر سرب در تیمارهای کاربرد EDTA به طور معنی داری بیشتر بود ولی کاربرد EDTA تأثیر معنی داری بر قابلیت جذب کادمیوم نداشت. این به دلیل آن است که EDTA اضافه شده قادر بود که حلالیت سرب محلول خاک را افزایش دهد. در نتیجه منجر به افزایش جذب سرب بیشتری در گیاه شده است. در پژوهشی Liu *et al.* (2007) گزارش کردند که با کاربرد EDTA جابجایی سرب از ریشه به شاخساره‌ها به طور چشمگیری افزایش داشت.

**تأثیر EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر جذب سرب و کادمیوم توسط کاه و کلش**  
 بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر سطوح مختلف EDTA، سرب، کادمیوم و اثر متقابل آنها بر غلظت سرب و کادمیوم کاه و کلش به جز اثر کاربرد EDTA و اثر متقابل کادمیوم و EDTA بر کادمیوم کاه و کلش، در سطح یک درصد معنی دار بود. با توجه به معنی دار بودن اثرات متقابل از تفسیر اثرات ساده صرف نظر شد. شکل (۴) اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیوم کاه و کلش را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۴) در هر دو سطح EDTA با افزودن سرب و کادمیوم



مقادیر سرب کاه و کلش  
 the amounts of added lead to soil (mg/kg)



مقادیر کادمیوم کاه و کلش  
 the amounts of added cadmium to soil (mg/kg)

شکل ۴- اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیوم کاه و کلش

و دانه گندم (۶۸/۸ برابر) افزایش معنی داری داشت Rasool *et al.* (2020) در پژوهشی بر روی پتانسیل گیاه‌پالایی ذرت نشان دادند که در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم سرب، کاربرد EDTA موجب افزایش معنی دار سرب نسبت به تیمار بدون EDTA شد. ولی این افزایش در مورد کادمیوم معنی دار نبود.

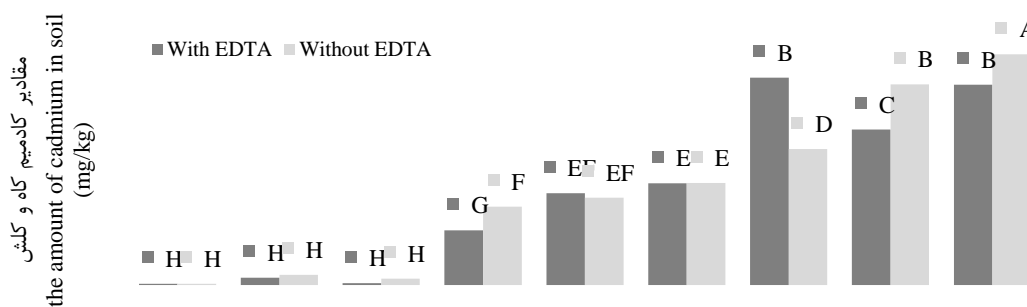
جدول (۴) میانگین مقادیر سرب و کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک و گیاه (کاه و کلش و دانه گندم) در سطوح مختلف EDTA را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج، در حضور EDTA مقدار سرب و کادمیوم محلول خاک افزایش معنی داری داشت، لذا در حضور EDTA مقدار سرب کاه و کلش (۱۲/۵ برابر)

جدول ۴- میانگین سرب و کادمیم محلول خاک و گیاه در سطوح مختلف EDTA

میانگین کادمیم (mg.kg <sup>-1</sup> )			میانگین سرب (mg.kg <sup>-1</sup> )			کاربرد EDTA
دانه	کاه و کلش	خاک	دانه	کاه و کلش	خاک	
۱/۲۱ <sup>A</sup>	۳/۹۳ <sup>A</sup>	۲/۰۰ <sup>B</sup>	۰/۰۳ <sup>B</sup>	۳/۵۸ <sup>B</sup>	۹۱/۴۷ <sup>B</sup>	بدون EDTA
۰/۳۷ <sup>B</sup>	۴/۰۶ <sup>A</sup>	۲/۴۶ <sup>A</sup>	۲/۰۰ <sup>A</sup>	۴۴/۷۵ <sup>A</sup>	۱۱۰/۵۲ <sup>A</sup>	با EDTA

افزایش داشت که با نتایج Xiaohai *et al.* (2014) مطابقت داشت. در صورتی که در تیمار کاربرد EDTA با افزایش سرب ابتدا روند کاهشی و در تیمار ۵۰۰ روند افزایشی بود Motasharezadeh and Savaghebi (2012). نیز با بررسی اثر متقابل سرب و کادمیم در آفتابگردان نشان دادند که در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیم، با افزایش سرب، مقدار جذب کادمیم ابتدا روند کاهشی سپس روند افزایشی بود در صورتی که در غلظت ۲۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم ابتدا روند افزایشی سپس کاهشی بود.

شکل (۵) اثر متقابل EDTA، مقادیر مختلف سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت کادمیم کاه و کلش را نشان می دهد. شکل (۵) نشان می دهد که در هر دو سطح EDTA و مقادیر مختلف سرب اضافه شده به خاک با افزایش کادمیم اضافه شده به خاک مقدار کادمیم کاه و کلش به طور معنی داری افزایش داشت. علاوه بر این، در تیمار ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم کادمیم اضافه شده به خاک در تیمار بدون EDTA با افزایش سرب اضافه شده به خاک مقدار کادمیم کاه و کلش نیز به طور معنی داری



مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک  
the amounts of added lead (0,150,500) and cadmium (0,3,10) to soil (mg/kg)  
شکل ۵- اثر متقابل EDTA، مقادیر مختلف سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت کادمیم کاه و کلش

توسط گیاه ذرت نشان دادند که افزایش کادمیم باعث کاهش جذب سرب توسط گیاه شد.

#### تأثیر EDTA، سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر جذب سرب و کادمیم توسط دانه

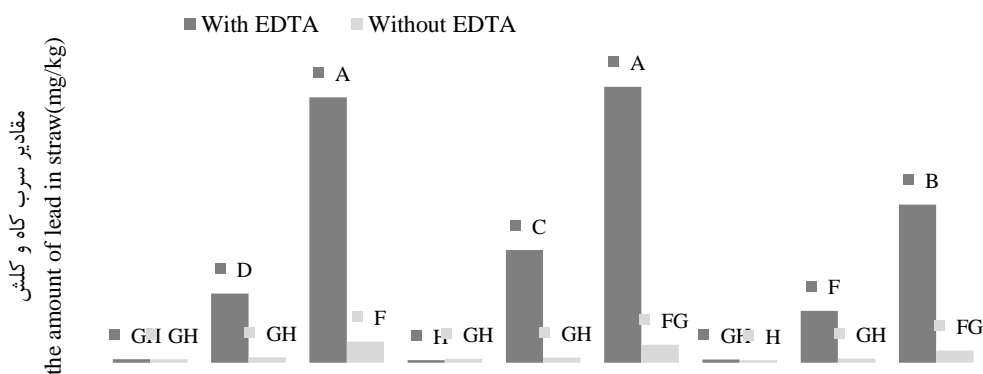
بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر سطوح مختلف EDTA، سرب، کادمیم و اثر متقابل آنها بر غلظت سرب و کادمیم دانه در سطح یک درصد معنی دار بود. شکل (۷) اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیم دانه را نشان می دهد. بر اساس شکل (۷) با افزایش مقادیر کادمیم اضافه شده به خاک، غلظت کادمیم دانه در هر دو سطح کاربرد EDTA افزایش معنی داری را نشان داد همچنین بین سطوح کاربرد EDTA در سطوح سه و ۱۰ کادمیم اضافه شده به خاک اختلاف معنی دار بود و مقدار کادمیم دانه در تیمارهای بدون EDTA بیشتر از تیمارهای کاربرد EDTA بود که دلیل آن می تواند تأثیر EDTA بر افزایش حلالیت کادمیم باشد که موجب حرکت کادمیم به قسمت پایین تر از عمق دسترس ریشه گیاه

شکل (۶) نشان می دهد که در تیمارهای کاربرد EDTA و در مقادیر مختلف کادمیم اضافه شده به خاک، با افزایش سرب به خاک، میزان سرب کاه و کلش افزایش معنی داری داشت که علت آن، EDTA اضافه شده می باشد که منجر به افزایش جذب سرب بیشتری توسط گیاه شده است که با نتایج Hong-qi *et al.* (2007) و Zaier *et al.* (2010) مطابقت داشت ولی در تیمارهای بدون EDTA بین مقادیر سرب کاه و کلش در تیمارهای مختلف سرب اضافه شده به خاک در مقادیر مختلف کادمیم اضافه شده به خاک اختلاف معنی داری مشاهده نشد. همچنین در هر دو سطح ۱۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم سرب، غلظت سرب کاه و کلش در تیمار ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم نسبت به تیمار ۳ میلی گرم در کیلوگرم روند کاهشی داشت که علت آن اثر متقابل سرب و کادمیم بر جذب سرب می باشد که با نتایج Mirkhani *et al.* (2018) در خصوص کاهش جذب سرب با افزایش کادمیم خاک در گیاه کلزا مطابقت داشت. همچنین Joseph *et al.* (1977) در پژوهشی گلدانی با بررسی جذب سرب و کادمیم

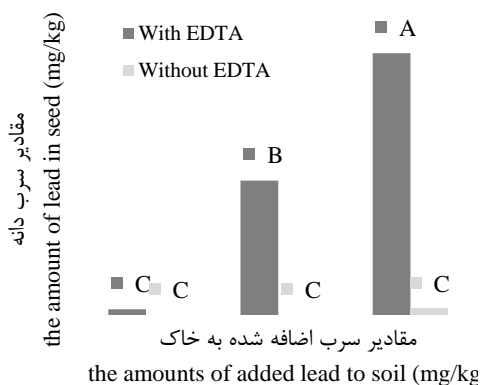


شده به خاک تفاوت معنی دار نداشت و در تیمار کاربرد EDTA با افزایش مقدار سرب اضافه شده به خاک جذب سرب توسط دانه به طور معنی داری افزایش داشت. همچنین بین سطوح کاربرد EDTA در تیمارهای ۱۵۰ و ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم اختلاف معنی دار بود.

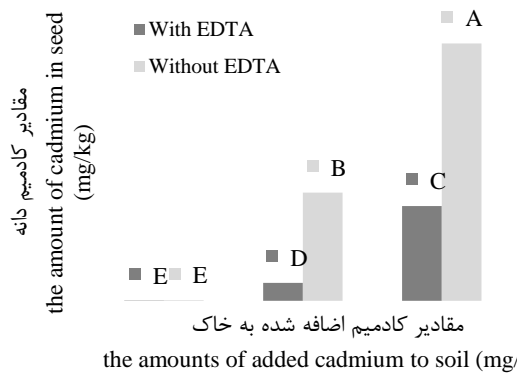
باشد لذا در تیمار کاربرد EDTA، در مرحله خوشه دهی، مقدار کادمیوم کمتری در دسترس ریشه بوده و کادمیوم کمتری جذب شده است. Saffari و Saffari (۲۰۲۰) نیز نشان داد که کلات-کننده ها، به ویژه EDTA، به طور قابل توجهی ضریب تحرک کادمیوم را افزایش دادند. بر اساس نتایج شکل (۷) مقدار سرب دانه در تیمارهای بدون EDTA در سطوح مختلف سرب اضافه



شکل ۶- اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب کاه و کلش  
the amounts of added lead (0,150,500) and cadmium (0,3,10) to soil (mg/kg)  
مقادیر سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک

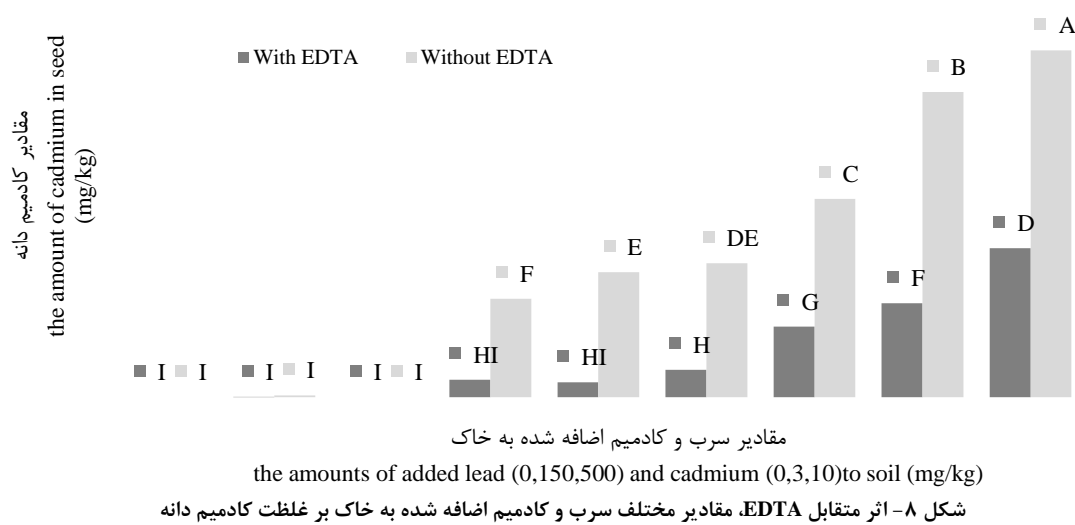


شکل ۷- اثر متقابل EDTA، سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب و کادمیوم دانه  
مقادیر سرب دانه



شکل (۸) اثر متقابل EDTA، مقادیر مختلف سرب و کادمیوم اضافه شده به خاک بر غلظت کادمیوم دانه را نشان می دهد. بر اساس شکل (۸) در هر دو سطح EDTA در مقادیر مختلف سرب اضافه شده به خاک با افزایش کادمیوم اضافه شده به خاک مقدار کادمیوم دانه افزایش معنی داری داشت و این افزایش در تیمار بدون EDTA به طور معنی داری بیشتر از تیمار کاربرد EDTA بود همچنین افزایش مقدار سرب اضافه شده به خاک به خصوص در تیمار ۵۰۰ میلی گرم در کیلوگرم تأثیر معنی داری بر جذب کادمیوم توسط دانه داشت و این افزایش در تیمار بدون

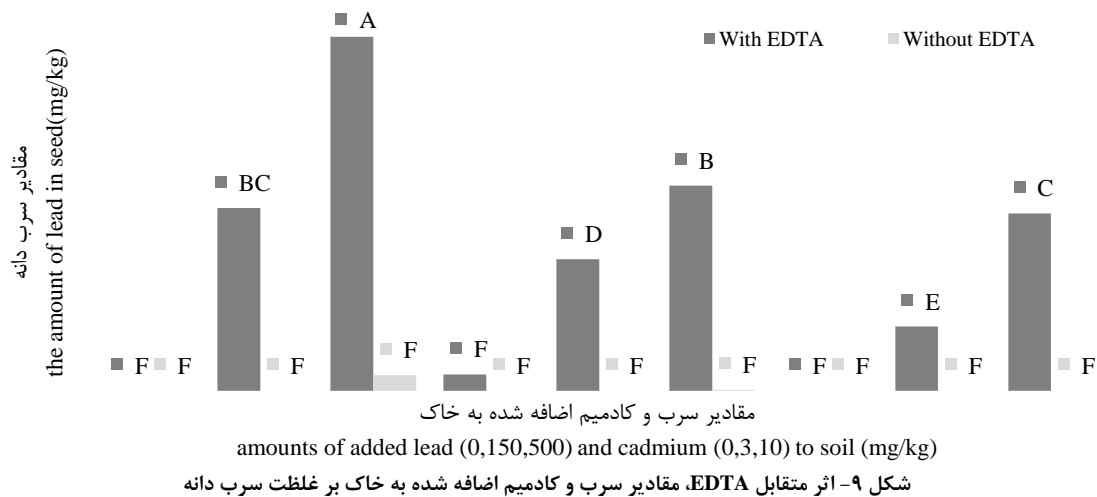
EDTA بیشتر از تیمار کاربرد EDTA بود که دلیل آن می تواند تأثیر EDTA بر افزایش حلالیت کادمیوم و انتقال آن به قسمت پایین تر از عمق دسترس ریشه گیاه باشد. Mirkhani et al. (2018) نیز نشان دادند که غلظت کادمیوم کاه و کلش و دانه کلزا در تیمار بدون EDTA به طور معنی داری بیشتر از تیمار کاربرد EDTA بود. همچنین Saadat (2013) نشان داد که غلظت کادمیوم قابل استخراج با DTPA در خاک در تیمار کاربرد EDTA کاهش معنی داری نسبت به تیمار بدون EDTA داشت.



شکل ۸- اثر متقابل EDTA، مقادیر مختلف سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت کادمیم دانه

افزایش کادمیم در خاک به کاهش معنی‌داری داشت که علت آن اثر متقابل سرب و کادمیم بر جذب سرب می‌باشد که با نتایج Mirkhani *et al.* (2018) در خصوص کاهش جذب سرب با افزایش کادمیم خاک در گیاه کلزا مطابقت داشت. همچنین Hatamian *et al.* (2020) نیز با بررسی اثر متقابل سرب و کادمیم بر رشد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی برگ درخت داغ‌داغان نشان دادند که کاربرد کادمیم موجب کاهش جذب سرب و غلظت سرب در برگ گیاه شد.

شکل (۹) اثر متقابل EDTA، مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب دانه را نشان می‌دهد. بر اساس شکل (۹) در تیمار بدون EDTA مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک تأثیر معنی‌داری بر جذب سرب توسط دانه نداشت ولی در تیمارهای کاربرد EDTA در مقادیر مختلف کادمیم اضافه شده به خاک با افزایش مقدار سرب اضافه شده به خاک، مقدار سرب دانه افزایش معنی‌داری داشت. همچنین در تیمارهای کاربرد EDTA با افزایش کادمیم به خاک مقدار سرب دانه در تمام سطوح سرب



شکل ۹- اثر متقابل EDTA، مقادیر سرب و کادمیم اضافه شده به خاک بر غلظت سرب دانه

دلیل افزایش حلالیت کادمیم در حضور EDTA و خارج شدن کادمیم از منطقه جذب ریشه در مرحله خوشه‌دهی، مقدار میزان کادمیم دانه گندم در تیمار بدون EDTA به‌طور معنی‌داری بالاتر از تیمار کاربرد EDTA بود. لذا، با توجه به نتایج، با کاربرد EDTA حلالیت سرب در محلول خاک افزایش و منجر به افزایش جذب ۱۲/۵ برابری سرب در کاه و کلش و ۶۸/۸ برابری سرب در دانه گندم نسبت به تیمار بدون کاربرد EDTA شد و نشان داد که در

## نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد با افزایش مقدار سرب و کادمیم به خاک، مقدار سرب و کادمیم قابل استخراج با DTPA در خاک به‌خصوص در تیمار کاربرد EDTA به‌طور معنی‌داری افزایش داشته و در نتیجه منجر به افزایش معنی‌دار جذب سرب در کاه و کلش و دانه گندم شد در خصوص مقادیر کادمیم کاه و کلش اختلاف معنی‌داری بین دو سطح کاربرد EDTA وجود نداشت ولی در دانه گندم به

استفاده از EDTA به صورت تقسیط، تحقیقات تکمیلی و بیشتری صورت گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

## REFERENCES

- Adriano, D. C. (2004). Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York; . 533p.
- Adiloglu, S., Turgut Saglam, M., Adiloglu, A., and Sume, A. (2016). Phytoremediation of nickel (Ni) from agricultural soils using canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Desalination and Water Treatment*. 57(6): 2383-2388.
- Alaboudi, K.A., Ahmed, B., and Brodie, G. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of agricultural sciences*, 63(1), 123-127.
- Ali Ehyae, M., and Behbahanizadeh, A. A. (1993). Methods of Soil Chemical Analysis, *Technical Bulletin*, Soil and Water Research Institute, Iran., No:983. (In Farsi)
- Aria, P., and Mirkhani, R. (2005). Methods of Soil Physical Analysis, *Technical Bulletin*, Soil and Water Research Institute. Iran. No:479. (In Farsi)
- Cui, Y., Wang, Q., Dong, Y., Li, H., and Christie, P. (2004). Enhanced uptake of soil Pb and Zn by Indian mustard and winter wheat following combined soil application of elemental sulphur and EDTA. *Plant and Soil*. 261: 181-188.
- Doumett, S., Lamperi, L., checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli, G., and Bubba, M.D. (2008). Heavy metal distribution between contaminated soil and paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. *Chemosphere*. 72: 1481-1490.
- 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*. 563-572.
- Ebrahimi, M., and Shamsavand, 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): 379-388.
- Emami, A. (1976). Methods of Plant Analysis, *Technical Bulletin*, Soil and Water Research Institute, Iran. No:982. (In Persian)
- Gee, G.W., and Or, D. (2002). Particle-size analysis. In: Methods of Soil Analysis. Part 4 Physical Methods. SSSA Book Series, Madison, USA.
- Ghasemi-Fasaei, R. (2012). Effects of EDTA and Phosphorus Levels on Lead Phytoremediation by Maize. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 4-23: 1786-1790.
- Gonsior, S.J., Sorci, J.J., Zoellner, M.J., and Landenberger, B.D. (1997). The effects of EDTA on metal solubilization in river sediment/water systems. *Journal of Environmental Quality*. 26: 957-966.
- Haag - Kerwer, A., Schafer, H.J., Heiss, S., Walter, C., and Rausch, T. (1999). Cadmium exposure in *Brassica juncea* causes a decline in transpiration rate and leaf expansion without effect on photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 50(341): 1827-1835.
- Hatamian, M., Rezaei Nejad, A., Kafi, M., Souri, M.K., and Shahbazi, K. (2020). Interaction of lead and cadmium on growth and leaf morphophysiological characteristics of European hackberry (*Celtis australis*) seedlings. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 7, 1-8.
- Hong-qi, W., Si-jin, L., Hua, L., and Zhi-hua, Y. (2007). EDTA-enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by *Bidens maximowicziana*. *Journal of Environmental sciences*, 19, 1496-1499.
- Liu, D., Yang, T., Li, X., Islam, E., Jin, X., and Mahmood, Q. (2007). Enhancement of lead uptake by hyperaccumulator plant species *Sedum alfredii* Hance using EDTA and IAA. *Bulletin of Environmental Contamination Toxicology*. 78(3-4): 280-283.
- Meers, E., Hopgood, M., Lesage, E., Vervaeke, P., Tack, F.M.G., and Verloo, M.G. (2004). Enhanced phytoextraction: in search of EDTA alternatives. *International Journal Phytoremediation*. 6(2): 95-109.
- Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M.J., Samson, D., and Tack, F.M.G. (2005). Comparison of EDTA and EDOS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. *Chemosphere*. 58: 1011-1022.
- Mirkhani, R., Saadat, S., Rezaei, H., Bagheri, Y.R. (2018). Effect of EDTA on Uptake of Lead and Cadmium by Canola. *Applied Soil Research*. 5(2): 52-65.
- Motesharezadeh, B., and Savaghebi, G.H. (2012). Interaction between cadmium and lead and the effects of these on the concentration of zinc and manganese in sunflower. *International Journal of Environmental Research*, 6(3), 793-800.
- Mwstefa, S.B. and Ahmed, I.T. (2019). Effect of Phosphorus Fertilization on Phytoremediation efficacy of Heavy Metals by Wheat and Bean Plants. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*, 31(5), 18-27.
- Rasool, M., Anwar-ul-Haq, M., Jan, M., Akhtar, J., Ibrahim, M., and Iqbal, J. (2020). 27. Phytoremediation potential of maize (*Zea mays* L.) hybrids against cadmium (Cd) and lead (Pb)

- toxicity. *Pure and Applied Biology (PAB)*, 9(3), 1932-1945.
- Ruilian, Y., Junfeng, J., Xuyin, Y., Yinxian, S., and Cheng W. (2012). Accumulation and translocation of heavy metals in the canola (*Brassica napus* L.)-soil system in Yangtze River Delta, China. *Plant Soil*. 353:33-45.
- Saadat, S. (2013). Comparison of Natural Phytoremediation and Chemical Phytoextraction Methods for Polluted Soil Reclamation. Final Report of Research. Soil and Water Research Institute, Iran., No: 42765. (In Farsi)
- Saffari, V.R., and Saffari, M. (2020). Effects of EDTA, citric acid, and tartaric acid application on growth, phytoremediation potential, and antioxidant response of *Calendula officinalis* L. in a cadmium-spiked calcareous soil. *International journal of phytoremediation*, 22(11), 1204-1214.
- Saifullah, Ghafoor, A., and Qadir, M. (2009). Lead phytoextraction by wheat in response to the EDTA application method. *International Journal of Phytoremediation*, 11(3), 268-282.
- Shakoor, M.B., Ali, S., Farid, M., Farooq M.A., Tauqeer H.M., Iftikhar U., Hannan F., and Bharwana S.A. (2013). Heavy metal pollution, a global problem and its remediation by chemically enhanced phytoremediation: A Review, *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 3(3): 12-20.
- Shtangeeva, I., Peramaki, P., Niemela, M., Kurashov, E., and Krylova, Y. (2018). Potential of wheat (*Triticum aestivum* L.) and pea (*Pisum sativum*) for remediation of soils contaminated with bromides and PAHs. *International journal of phytoremediation*, 20(6), 560-566.
- Steele, M.C., and Pichtel, J. (1998). Ex- situ remediation of a metals contaminated superfund soil using selective extractants. *Journal of Environmental Engineering*. 124(7): 639-64.
- Sun, Y., Zhou, Q., Xu, Y., Wang, L., and Liang, X. (2011). The role of EDTA on cadmium phytoextraction in a cadmium hyperaccumulator *Rorippa globosa*. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. 3(3): 45-51.
- Turan, M., and Estringu, A. (2007). Phytoremediation based on canola (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) planted on spiked soil by aliquot amount of Cd, Cu, Pb, and Zn. *Plant Soil Environment*. 53: 7-15.
- 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, Environment*. 102: 307-318.
- Xiaohai, L., Yuntao, G., Khan, S., Gany, D., Aikui, C., Li, L., Lei, Z., Zhonghan, L., and Xuecan, W. (2008). Accumulation of pb, cu, and zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. *Journal of Environmental sciences*. 20: 1469-1474.
- Yang, J.Y., Yang, X.E., He, Z.L., Li, T.Q., Shentu, J.L., and Stoffella, P.J. (2006). Effects of pH, organic acids, and inorganic ions on lead desorption from soils. *Environmental Pollution*. 143(1): 9-15.
- Zaier, H., Ghnaya, T., Ben, R.K., Lakhdar, A., Rejeb, S., and Jemal, F. (2010). Effects of EDTA on phytoextraction of heavy metals (Zn, Mn and Pb) from sludge-amended soil with *Brassica napus*. *Bioresource Technology*. 101: 3978-3983.