# پیامد کاتدی کردن گیاه آفتابگردان و کاربرد اتیلن دی آمین تترااستیک اسید بر گیاه‌بهسازی یک خاک آلوده به سرب

نوشین کریمی مطلق*، علی اکبر صفری سنجانی

کارشناس ارشد و استاد گروه خاکشناسی، دانشگاه بوعلی سینا- همدان

**چکیده**

یکی از روش های درمان آلودگی خاک ها بهره گیری از روش گیاه بهسازی همراه با الکتروکنتیک است. این پژوهش با هدف بررسی توان گیاه آفتابگردان بر گیاه بهسازی سرب یک خاک معدن تیمار شده با میدان الکتریکی و اتیلن دی آمین تترااستیک اسید (EDTA) انجام شد. گیاه آفتابگردان در کشت گلدانی کاشته و یک ماه پس از رشد EDTA (۲ گرم بر کیلوگرم) به خاک‌ها افزوده شد، دو هفته پس از کاربرد EDTA، تیمارهای میدان الکتریکی (۰، ۱۰ و ۳۰ ولت) با کاتدی کردن گیاه و آندی کردن خاک گلدان، بکار رفت. کاربرد EDTA توانست همراه با میدان الکتریکی غلظت سرب را در اندام هوایی افزایش دهد. کاربرد الکتریسیته در گیاهان در تیمار ماده بهساز مایه کاهش غلظت سرب در ریشه شد ولی در تیمار بدون ماده بهساز بیشترین غلظت سرب در ریشه در تیمار ۳۰ ولت اندازه گیری شد. کاربرد ماده بهساز EDTA فاکتور ترابری سرب در گیاه و شناسه برداشت آن را در هریک از تیمارهای الکتریسته افزایش داد. روهمرفته این پژوهش نشان داد که کاربرد همزمان ماده بهساز و الکتریسیته مایه افزایش شناسه برداشت و زیست بهسازی سرب خاک شد.

واژه های کلیدی: گیاه بهسازی، آفتابگردان، الکتروکنتیک، کاتدی کردن گیاه

**مقدمه**

با افزایش کارکردهای صنعتی مردم در سده بیستم به ویژه در کشورهای روبه پیشرفت، آلودگی‌های زیست محیطی نیز افزایش چشم‌گیری داشته است (گاربیسو و آلکارتو، ۲۰۰۱). کارهای کشاورزی بویژه بهره‌گیری از کودهای شیمیایی و همچنین کارکردهای صنعتی (معادن و صنایع ذوب فلزها) خاستگاه آلودگی مردمزاد[1] است (شوارتز و همکاران،۱۹۹۹). از میان فلزهای سنگین، سرب یکی از فراوان‌ترین آلاینده های زیستگاه‌های آبی و خاکی است. چندین روش برای زدایش آلودگی فلزهای سنگین و بهسازی آنها پیشنهاد شده است که می‌توان جامدسازی یا تثبیت، شیشه‌ای کردن، برداشتن و زدودن لایه‌های آلوده خاک و شستشوی خاک‌ها آلوده با بهره‌گیری از اسیدهای نیرومند یا کلات کننده ها را نام برد. همچنین از روش‌های گوناگونی مانند تثبیت شیمیایی (بی‌جنبش کردن فلز با بهسازهای گوناگون) نیز بهره‌گیری می‌شود (ادی و همکاران، ۲۰۱۲؛ بهارگاوا و همکاران، ۲۰۱۲). شستن خاک، کاهش حلالیت فلزها در خاک و جایگزین کردن خاک‌های ناآلوده به جای خاک‌ها آلوده از راه های آزمون شده است که بیشتر این روش‌ها پرهزینه بوده و در برخی آنها آسیب به زیستگاه‌ها نیز می تواند رخ دهد (وربروگن و همکاران،۲۰۰۹). آنها پیامدهای زیانباری بر روی کارکردهای زیستی خاک، ساختمان و چگونگی خاک و درپی آن توان بارآوری خاک دارند (پالفورد و واتسون، ۲۰۰۳). در میان روش های گوناگون، درمان آلودگی خاک به روش گیاه بهسازی همراه با الکتروکنتیک یک روش خوبی می تواند باشد.

[1] - Man-made pollutions

الکتروکنتیک بدلیل اینکه توانایی بالایی در پالایش خاک‌های بانفوذپذیری کم دارد، یک روش ویژه به شمار می‌رود (ورکوتیت و همکاران،۲۰۰۲). این روش برای درمان درجای خاک بکاربرده می‌شود (ردی و کامسل ،۲۰۰۹). با آمیختن روش گیاه بهسازی و الکتروکنتیک می‌توان به روشی با کارایی بالاتر برای جداسازی آلاینده ها از خاک دست یافت (طهماسبیان و صفری سنجانی، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴) که در آن الکتریسیته توان جابجای فلزها و ویژگی های خاک را بگونه ای دگرگون می سازد که فلز بیشتری جذب گیاه شده و برداشت شود. به هر گونه کاندی کردن خاک پیرامون ریشه پیامد زیانباری بر ریخت فراهم فلزها از راه افرایش پی اچ می توان داشته باشد (طهماسبیان و صفری سنجانی ۲۰۱۶). از اینرو این پژوهش با کاتدی کردن خود گیاه آفتابگردان و با کاربرد ماده کلات کننده EDTA با هدف افزایش توان جذب سرب گیاه در یک خاک معدن انجام شد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش از خاک آلوده به عناصرسنگین معدن سرب آهنگران بهره گیری شد. این معدن در جاده اراک –ملایر و ۱۱۰کیلومتری شهرستان همدان و ۲۶ کیلومتری شهرستان ملایر جای دارد. برای آماده کردن گلدان ها و کشت گلدانی آفتابگردان، پس از آزمون نخستین خاک و اندازه گیری اندازه فلزهای سنگین آن، در میانه هر گلدان یک توری از جنس آهن گلوانیزه با سوراخ های ۴۰ میکرومتری گذاشته شد، به گونه ای که خاک گلدان به دو بخش، جدا شود. پس از آماده سازی گلدان ها، چند دانه‌ی آفتابگردان، رقم یوروفلور (باتیپ هیبرید سینگل کراس) در یک بخش از هر گلدان کاشته شد. دراین آزمایش برای کشیدن آلاینده های فلزی در نزدیکی ریشه‌ها و برای جذب بیشتر آنها، یک چیدمان ویژه برای الکترودها به کار گرفته شد. به گونه ای که ۲ الکترود در بخش بدون گیاه که آندی و با بار مثبت باشد، در خاک فروشد.

پس از ۳۰ روز از کاشت گیاه، تیمار EDTA (از نمک $Na_2EDTA$) به اندازه ۲ گرم بر کیلوگرم خاک به گلدان ها افزوده شدند. پس از ۱۵ روز (۴۵ روز پس از کاشت گیاه)، میدان الکتریکی درست ۲ هفته پیش از برداشت گیاه به گونه زیر بکار رفت. پس از رشد گیاه (۴۵ روز) یک الکترود سوزنی که به کاتد دستگاه سازنده میدان الکتریکی بسته شده است و بار منفی دارد، به پایه گیاه فروشد. تیمار میدان های الکتریکی (صفرولت، ۱۰ولت و ۳۰ولت) روزانه ۱ ساعت با روشن کردن دستگاه بکار برده شدند (طهماسبیان و صفری سنجانی ۲۰۱۳). پس از ۶۰ روز به هنگام آغاز گلدهی اندام های هوایی و ریشه گیاهان درون گلدان ها برداشت و وزن خشک آنها و غلظت فلز سرب در آنها با گوارش اسیدی و به کمک دستگاه جذب اتمی واریان ۲۲۰ اندازه گیری شد. برای شناخت توان گیاه بهسازی خاک با گیاه آفتابگردان در تیمارهای یاد شده افزون بر غلظت سرب در اندام های هوایی و ریشه، فاکتور ترابری و شناسه برداشت سرب در گیاه نیز برآورد و آزمون شد (صفری سنجانی و همکاران، ۲۰۱۵).

این پژوهش آزمایشی دو فاکتوره (کاربرد ماده بهساز EDTA و الکتریسیته) و در سه تکرار بود که داده های آن به روش طرح کاملا تصادفی به کمک نرم افزار EXCEL پردازش و آزمون های آماری آن ها با نرم افزار SAS انجام گرفت. برای آزمون میانگین ها در این آزمایش از آزمون چند دامنه ای دانکن در پایه آماری ۵ درصد بهره گیری شد.

## یافته‌ها و بحث

تجزیه واریانس داده ها (جدول ۱) نشان داد که هم در اندام هوایی و هم در ریشه ها، کاربرد تیمارهای میدان الکتریکی، ماده بهساز و نیز برهم کنش آنها بر غلظت سرب در پایه آماری ۱ درصد پیامد چشمگیر داشته است.

**جدول۱- پیامد کاربرد میدان الکتریکی و ماده بهساز بر غلظت سرب اندام گیاهی، فاکتور ترابری و شناسه برداشت سرب گیاهان کاتدی شده (میانگین مربعات)**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | غلظت هوایی | اندام | غلظت ریشه ها | فاکتور ترابری | شناسه برداشت |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ماده بهساز | ۱ | ۱۲۰۳۴۲/۵۴** | | ۳۵۰/۷۷** | ۵/۴۳** | ۴۷/۳۷** |
| الکتریسیته | ۲ | ۲۱۷۲۹/۰۴** | | ۱۵۵۱/۳۱** | ۱/۲۸** | ۱۷/۷۲** |
| ماده بهساز*الکتریسیته | ۲ | ۷۵۴۸/۹۴** | | ۷۶۷۳/۰۵** | ۰/۸۹** | ۳/۷۳* |
| خطا | ۱۲ | ۱۰/۹۲ | | ۱۲/۴۲ | ۰/۰۰۱ | ۰/۸۹ |

**، * نشانگرپیامد چشمگیر در پایه آماری ۱ و ۵ درصد است و ns نشانگرچمشمگیر نبودن در پایه آماری ۵ درصد است.

همانگونه که در جدول ۲ دیده می‌شود تیمار EDTA توانسته است همراه با میدان الکتریکی غلظت سرب را در اندام هوایی گیاه آفتابگردان به گونه چشمگیری افزایش دهد که بیشترین آن در تیمار ۱۰ولت- EDTA (۲۹۷/۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) و پس از آن در تیمار۳۰ ولت- EDTA (۲۷۷/۷۸ میلی گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در تیمار صفر ولت- بدون EDTA (۴۳/۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم) دیده شد. لیم و همکاران (۲۰۰۴) پیامد ولتاژ و کلات کننده‌ها را بر جذب سرب با بهره‌گیری از خردل هندی بررسی کردند و نشان دادند که کاربرد همزمان میدان الکتریکی و EDTA جذب سرب با خردل هندی را در برابر شاهد افزایش داد.

**جدول ۲- آزمون میانگین غلظت سرب اندام هوایی و ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم) در تیمارهای میدان الکتریکی و ماده بهساز در گیاهان کاتدی شده**

| | | بدون ولتاژ | ۱۰ولت | ۳۰ولت |
|---|---|---|---|---|
| اندام هوایی | EDTA | ۱۲۵/۳۰$^{c}$(±۲/۳۰) | ۲۹۷/۵۰$^{a}$(±۴/۳۸) | ۲۷۷/۷۸$^{b}$(±۲/۲۷) |
| | بدون EDTA | ۴۳/۱۰$^{f}$(±۲/۴۵) | ۱۰۱/۷۵$^{d}$(±۳/۷۵) | ۶۵/۱۳$^{e}$(±۳/۹۷) |
| ریشه | EDTA | ۲۲۵/۳۴$^{a}$(±۱/۷۸) | ۱۶۸/۲$^{c}$(±۲/۷۷) | ۱۲۹/۶۷$^{d}$(±۳/۵۳) |
| | بدون EDTA | ۱۶۸/۹۲$^{c}$(±۵/۹۳) | ۱۶۵/۸۲$^{c}$(±۳/۲۴) | ۲۱۴/۹۶$^{b}$(±۲/۴۹) |

x در هر بخش میانگین‌های با دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشمگیر ندارند.

کاربرد الکتریسیته در گیاهان در تیمار ماده بهساز مایه کاهش غلظت سرب در ریشه شده است ولی در تیمار بدون ماده بهساز بیشترین غلظت سرب در ریشه در تیمار ۳۰ ولت اندازه گیری شد. از آنجایی که در تیمار بدون ولتاژ افزودن EDTA مایه افزایش چشم گیر غلظت سرب در ریشه شده و در تیمار میدان الکتریکی این پیامد دیده نشد شاید سرب جذب شده در تیمار EDTA بهتر توانسته است با ولتاژ بکار رفته در آزمایش کاتدی کردن گیاه به اندام های هوایی گیاه برسد. تیمار EDTA با توانایی ویژه در همتافته یا کمپلکس‌کردن فلزهای سنگین و همچنین رهاسازی آسان فلزهای سنگین بدون اسیدی نمودن خاک یک تیمار شایسته در بهسازی الکتروکینتیکی فلزهای سنگین به شمار می‌آید (صفری سنجانی و خلیلی خواه، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰؛ طهماسبیان و صفری سنجانی، ۲۰۱۴، ۲۰۱۶ ). به هر گونه در خاک بدون ماده بهساز افزایش ولتاژ به‌خوبی نتوانسته بر افزایش غلظت سرب پیامد داشته باشد.

فاکتور ترابری سرب

جدول تجزیه واریانس پیامد چشم‌گیر تیمارهای بکاررفته و برهم کنش آنها بر فاکتور ترابری سرب را نشان میدهد (جدول ۱). این فاکتور از بخش کردن غلظت فلز در اندام هوایی به آن در ریشه گیاه بدست می‌آید (صفری سنجانی و همکاران، ۲۰۱۵). تیمار

میدان الکتریکی، ماده بهساز و برهمکنش این دو تیمار بر فاکتور ترابری سرب پیامد چشمگیر ($p<0.01$) داشته است و میانگین فاکتور ترابری سرب با کاربرد ماده بهساز و الکتریسیته (کاتدی کردن گیاه) به اندازه چشم گیری افزایش داشته است (جدول ۳). جنبش سرب در خاک و گیاه کم است. سرب وابستگی فراوانی برای انباشتگی در ریشه دارد و ترابری این عنصر از ریشه به اندام‌های هوایی بسیار کم است (صفری سنجانی و خلیلی خواه، ۲۰۰۸). روهمرفته جذب سرب با ریشه به گونه نازیستی انجام می‌گیرد، ولی ریشه‌های موئین می‌توانند اندازه هایی از آن را جذب و در یاخته های دیواره ریشه نگهداری نمایند (صلحی،۱۳۸۴). آنچه در جدول ۳ دیده می‌شود گویای آن است که بیشترین اندازه ترابری سرب از ریشه به اندام هوایی آفتابگردان (۲/۱۴) در تیمار ۳۰ ولت- EDTA و کمترین آن (۰/۲۵) در تیمار صفر ولت-بدون EDTA دیده می‌شود. این یافته همسو با گزارش صفری سنجانی و خلیلی خواه (۲۰۰۸) نشانگر آن است که سرب کلاته شده با EDTA توانایی جابجایی بیشتری از ریشه به اندام هوایی را داشته است. از سوی دیگر کاربرد الکتریسیته و کاتدی کردن گیاه ترابری آن را از ریشه به اندام های هوایی افزایش داده است و این افزایش در گیاهان تیمار شده با ماده بهساز به اندازه چشم‌گیری بیشتر است. این شاید به جنبش پذیری سرب در تیمار ماده بهساز وابسته باشد.

**جدول ۳- آزمون میانگین فاکتور ترابری سرب در تیمار میدان الکتریکی و ماده بهساز گیاهان کاتدی شده**

| | بدون ولتاژ | ۱۰ولت | ۳۰ولت |
|---|---|---|---|
| EDTA | ۰/۵۵$^{c}$(±۰/۰۱) | ۱/۷۶$^{b}$(±۰/۰۴) | ۲/۱۴$^{a}$(±۰/۰۵) |
| بدون EDTA | ۰/۲۵$^{d}$(±۰/۰۰۵) | ۰/۶۱$^{c}$(±۰/۰۲) | ۰/۳۰$^{d}$(±۰/۰۱) |

xمیانگین‌های با دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشمگیر ندارند.

شناسه برداشت سرب

شناسه برداشت فلز از حاصل ضرب غلظت فلز در اندام هوایی در وزن خشک اندام هوایی گیاه بدست می‌آید که برداشت شدنی است (صفری سنجانی و همکاران، ۲۰۱۵). جدول ۱ یا تجزیه واریانس شناسه برداشت سرب نشان داد که میدان الکتریکی، ماده بهساز در پایه آماری ۱ درصد و برهمکنش میدان الکتریکی و ماده بهساز در پایه آماری ۵ درصد بر شناسه برداشت سرب پیامد داشته اند. از سوی دیگر آزمون میانگین ها نشان داد که کاربرد ماده بهساز، شناسه برداشت سرب را در هریک از تیمارهای الکتریسته به اندازه چشم گیری افزایش داده است. اگر چه کاربرد الکتریسته و کاتدی کردن گیاه شناسه برداشت سرب را افرایش داده است ولی میان تیمارهای ۱۰ و ۳۰ ولت ناهمانندی چشم گیری دیده نشد. به هر گونه در این پژوهش بیشترین برداشت سرب از خاک با گیاه آفتابگردان در تیمار ۱۰ ولت-EDTA (۷/۱۳ میلی گرم در گلدان) و کمترین آن در تیمار بدون ولتاژ-بدون EDTA (۱/۳۶ میلی گرم در گلدان) دیده شد (جدول ۴ ).

**جدول ۴- آزمون میانگین برداشت سرب (میلی گرم درگلدان) در تیمار میدان الکتریکی و ماده بهساز گیاهان کاتدی شده**

| | بدون ولتاژ | ۱۰ولت | ۳۰ولت |
|---|---|---|---|
| EDTA | ۲/۹۳$^{bc}$(±۰/۳۴) | ۷/۱۳$^{a}$(±۱/۳۵) | ۷/۰۷$^{a}$(±۱/۴۵) |
| بدون EDTA | ۱/۳۶$^{c}$(±۰/۲۵) | ۳/۶۷$^{b}$(±۰/۹۰) | ۲/۳۷$^{bc}$(±۰/۶۶) |

xمیانگین‌های با دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵٪ ناهمانندی چشمگیر ندارند.

این پژوهش نشان داد که کاربرد همزمان EDTA و میدان الکتریکی، برداشت سرب را در گیاه آفتابگردان کاتدی شده افزایش داد. بویژه اینکه افزایش جنبش و ترابری آن در گیاه با این تیمارها نمایان‌تر بود. هر چند کاربرد EDTA پیامد بدی بر وزن خشک

اندام های هوایی گیاه می تواند داشته باشد ولی پیامد آن بر افزایش غلظت سرب در اندام های هوایی به گونه ای بوده است که توانسته است مایه افزایش شناسه برداشت و زیست بهسازی سرب خاک شود که کاربرد الکتریسته به آن کمک چشم گیری نموده است. اگر چه در کاربرد EDTA ترابری سرب در گیاه آفتابگردان در تیمار ۳۰ ولت به اندازه چشم گیری بیش از ۱۰ ولت آن است ولی میان شناسه برداشت سرب در تیمارهای ۱۰ و ۳۰ الکتریسیته ناهمانندی چشم گیری دیده نمی شود.

## منابع

صلحی ، م . ۱۳۸۴ . گیاه پالایی خاکهای آلوده به عناصر سرب و روی و استفاده از ر ادیو ایزوتوپ روی جهت مطالعه رفتار روی در خاک وگیاه. پایان نامه دوره دکترا، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

Addy HS., Askora A., Kawasaki T., Fujie M., Yamada T. 2012. Loss of virulence of the phytopathogen Ralstonia solanacearum through infection by ϕRSM filamentous phages. Phytopathology, 102: 469–477.

Bhargava A., Carmona F.F., Bhargava M., Srivastava S. 2012. Approaches for enhanced phytoextraction of heavy metals. Journal of Environmental Management, 105: 103-120.

Garbisu C., & Alkorta I. 2001. Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment". Bioresource Technology. 77: 229-236.

Lim J. M., Salido A. L., & Butcher D. J. 2004. Phytoremediation of lead using Indian mustard (Brassica juncea) with EDTA and electrodics. Microchemical Journal. 76: 3-9.

Pulford I. D., & Watson C. 2003. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land by trees—a review. Environment International. 29: 529-540.

Reddy K. R., Cameselle C. 2009. Electrochemical Remediation Technologies for Polluted Soils, Sediments and Groundwater. Wiley, Hoboken.

Safari Sinegani A.A., Tahmasbian I., and Safari Sinegani M. 2015. Chelating Agents and Heavy Metal Phytoextraction. In: Sherameti I. and A. Varma (eds.), Heavy Metal Contamination of Soils, Soil Biology.

Safari Sinegani A. A., and Khalilikhah F. 2008. Phytoextraction of lead by Helianthus annuus : effect of mobilizing agents application time. Plant Soil Environ. 10: 434-440.

Safari Sinegani A. A., and Khalilikhah F. 2010. Effects of EDTA, sheep manure extract and their application time on Cd uptake by Helianthus annuus from a calcareous mine soil. Soil Sediment Contam. 19(3): 378–390.

Schwartz C., Morel J. L., Saumier S., Whiting S. N., and Baker A. J. M. 1999. Root development of the Zinc-hyperaccumulator plant Thlaspi caerulescens as affected by metal origin, content and localization in soil. Plant and Soil 208: 103-115.

Tahmasbian I., and safari Sinejani A. A. 2014. Chelate-assisted phytoextraction of cadmium from a mine soil by negatively charged sunflower. Int. J. Environ.sci. Technol.11:695-702.

Tahmasbian I., safari Sinejani A. A. 2016. Improving the efficiency of phytoremediation using electrically charged plant and chelating agents. Environmental Science and Pollution Research,23:2479–2486.

Tahmasbian I., Safari Sinegani A.A. 2013. Monitoring the effects of chelating agents and electricalfields on active forms of Pb and Zn in contaminated soil. EnvironMonit Assess 185:8847–8860.

TahmasbianGhahfarokhi I., Safari Sinegani A. A. 2013. The Effects of Some Chelators and Electrical Fields on Phytoremediation Efficiency of a Pb Polluted Soil. Caspian Journal of Applied Sciences Research. 2(9): 42-48.

Verbruggen N., Hermans C., and Schat H. 2009. Molecular mechanisms of metal hypraccumulation in plant. New Phytologist 181: 759-779.

Virkutyteat J., Sillanpa M., and Latostenmaap P. 2002. Electrokinetic soil remediation critical overview. The Science of the Total Environment.289: 97-121.

**Effect of sunflower cathodization and EDTA application on phytoremediation of a Pb contaminated soil**

N. Karimi Motlagh*, A. A. Safari Sinegani

Msc student and professor of soil science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

**Abstract**

One method of threatening soil pollution can be phytoremediation with electrokinetic. This study examined the impact of the application of electric field and ethylene di-amine tetra-acetic acid (EDTA) on Pb phytoremediation of a mine contaminated soil. Sunflower are planted in a pot and a month after sowing, EDTA (2 g $kg^{-1}$) was added to the soil and 15 days after that, the electric field treatments (0, 10 and 30 volts) were applied by inserting 2 anodes in soil and 1 needle cathode in the lower part of the stem of plant. The application of EDTA and electrical fields increased Pb concentration in the shoot organ of plant. The use of electricity (10 and 30 volts) in the EDTA treatment decreased the concentration of lead in the plant root by increasing Pb translocation factor. The highest lead concentration was measured in plant roots in treatment of 30 volts with no EDTA. The application of electricity (10 and 30 volts) with use of EDTA increased the uptake index by increasing Pb absorption and translocation factors in sunflower significantly.

**Keywords:** Phytoremediation, Electric field, Sunflower, Cathodization