اثر نانو جاذب در حذف فلز سنگین کادمیوم از آب و بررسی رشد گیاه ذرت

ساسان محسن زاده[۱] *، مجتبی شیخ پور جلالی[۱]

*۱- نویسنده مسئول، گروه زیست شناسی دانشکده علوم دانشگاه شیراز

ایمیل نویسنده مسئول: mohsenz@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۷/۰۹

چکیده

اثر نانو جاذب مغناطیسی Fe_3O_4 برای حذف فلز سنگین کادمیوم از محلول آبی و سپس آبیاری گیاه با آن و اثر بر رشد و برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه ذرت بررسی گردید. کادمیوم کلراید با سه غلظت ۱۰، ۸۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و نانو جاذب اکسید آهن با غلظت ۴ گرم در لیتر استفاده شد. کادمیوم باعث کاهش رشد گیاه ذرت گردید. نانو جاذب اکسید آهن تا ۹۹ درصد در جذب فلز سنگین کادمیوم موجود در آب آبیاری عمل نمود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای پرولین، وزن‌تر و طول گیاه ذرت و همچنین میزان فلز سنگین موجود در گیاه اندازه گیری شد. با افزایش فلزسنگین طول و وزن تر گیاه کاهش ولی مقدار پرولین، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان فلز سنگین موجود در گیاه افزایش یافت. نانو جاذب مغناطیسی به طور معنی داری باعث بهبود رشد و خصوصیات فیزیولوژیک گیاه ذرت شد. آبیاری ذرت با آب تیمار شده با نانو جاذب و مناسب بودن رشد و خصوصیات فیزیولوژیک آن نشان می دهد که این روش برای تصفیه آب کشاورزی ایده آل است.

کلمات کلیدی

"فلز سنگین"، "ذرت"، "رشد"، "کادمیوم"، "نانو جاذب"

Effect of nanoabsorbent on removal of cadmium heavy metal from water and study of maize growth

Sasan Mohsenzadeh[1*], Mojtaba Sheikhpour Jalaly[1]

1- Biology Department, Faculty of Sciences, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Email Address: mohsenz@shirazu.ac.ir

Abstract

The effect of magnetic nanoparticles Fe_3O_4 on removal of cadmium heavy metal from aqueous solution and then plant treatment with this solution and effect on growth and some physiological responses of maize plant were studied. Three concentrations of cadmium (10, 80 and 220 mg) as cadmium chloride and a constant concentration of nano-adsorbent Fe_3O_4 (4 g/l) were used. Cadmium heavy metal in high concentrations is toxic for maize plant and the magnetic nanoparticle successfully absorbs the cadmium metal up to 99 percent and reduces its toxic effects. Increasing of cadmium concentration, decreased length and fresh weight of maize but proline, antioxidant and the heavy metal of plant increase. Magnetic nanoparticles treatment Fe_3O_4 showed a significant reduction in cadmium concentrations in the maize plant and significant amelioration of growth and physiological characteristics. Irrigation of maize with treated water by nanoabsorbent and optimum growth and physiological characteristics showed that this method is ideal for refining of agricultural water.

Keywords

"Cadmium", "Growth", "Heavy metal", "Maize", "Nanoabsorbent"

۱- مقدمه

گروه وسیعی از جاذب‌ها برای حذف آلاینده‌ها از پسآب مورد آزمایش قرارگرفته‌اند (Di Natale et al. 2003). فناوری نانو به بررسی و دست‌کاری مواد و ساختارهای آن در ابعاد ۱ تا ۱۰۰ نانومتر می‌پردازد تا بتواند مواد جدید با کارایی بالا و ویژگی‌ها متفاوت بسازد. زمانی که اندازه مواد به زیر ۱۰۰ نانومتر کاهش می‌یابد، خواص غیرمعمولی از خود نشان می‌دهند. نانو ذرات به منظور بهبود وضعیت پساب به دلیل ظرفیت جذب بالای یون فلزات سنگین توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند (Heo et al. 2002). نانو ذرات اکسید فلز جذب بیشتری را در مقایسه با اکسیدهای با اندازه طبیعی نشان می‌دهند (Gao et al. 2014). استفاده از نانو ذرات اکسید آهن به دلیل ویژگی‌هایی چون اندازه کوچک، سطح بزرگ و ویژگی‌های مغناطیسی شیوه‌ای پرطرفدار برای حذف ترکیبات از آب است. نانو ذرات اکسید آهن با ویژگی‌های مغناطیس خود به‌راحتی از سیستم جدا می‌شوند و می توانند مجدداً مورداستفاده قرار بگیرند. نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن در مقایسه با نانو ذرات معمولی، سوپر پارامغناطیس و ویژگی‌های خاص مخصوص به خود نشان می‌دهند. این نانو ذرات دارای ویژگی‌هایی چون مساحت سطح بسیار بزرگ، زیست سازگاری، سمیت کم هستند و نیروی انتشار کمی ایجاد می‌کنند. می‌توان سطح این نانو ذرات را با مولکول‌های آلی، یون‌های غیر آلی و یا برخی گروه‌های فعال چون کربوکسیل، آمین، هیدروکسیل و سولفیدریل پوشاند. این کار به نانو ذرات مغناطیسی پتانسیل خوبی برای حذف فلزات سنگین می‌دهد زیرا واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی جذب‌کننده در سطح جاذب رخ می‌دهند و موجب پایداری نانو ذرات با جلوگیری از اکسیداسیون، انتخابی بودن برای جذب یک ماده خاص با ایجاد محل‌های واکنش گروه‌های فعال می‌شوند (Sengupta et al. 2012). ذرت (Zea mays) گیاهی است تک‌لپه از خانواده گندم است که در جهان سومین محصول کشاورزی بعد از گندم و برنج می‌باشد. ذرت ازجمله گیاهان زراعی مهم در ایران به شمار می‌آید. کادمیوم، سرب، جیوه، نیکل، کروم، کبالت، سلنیوم و آرسنیک فلزات سنگینی هستند که با سمیت بالا و پایداری در محیط شناخته می‌شوند. به‌خوبی شناخته‌شده که فلزات سنگین به شیوه شیمیایی تجزیه نمی‌شوند و نیاز است که به‌صورت فیزیکی حذف یا به ترکیبات غیر سمی منتقل شوند. فلزات سنگین از طریق فعالیت‌هایی چون پالایشگاه‌ها، دفع پسماند، استخراج معادن، صنعت رنگ، دستگاه‌های الکترونیکی، باطری‌ها کودها و آفت‌کش‌ها به محیط وارد می‌شوند. (Tangahu et al. 2011). آلودگی کادمیوم به‌عنوان یک چالش روبه رشد کیفیت محیطی و امنیت غذایی قرارگرفته است. کادمیوم به‌آسانی به‌وسیله گیاهان گرفته‌شده و با جذب، انتقال و توزیع فاکتورهای ضروری و غیرضروری تداخل می‌کند و از فتوسنتز ممانعت می‌کند و باعث تنش اکسیداتیو می‌شود که درنتیجه باعث کاهش رشد و توسعه گیاه می‌شود. کادمیوم برای بیشتر گیاهان سمی است (Ahmad et al. 2009). برای اندازه گیری فلزات سنگین از دستگاه ICP (Inductively Coupled plasma) استفاده می‌شود. این دستگاه یک سیستم آنالیز عنصری است که نوع طیف‌بینی آن، طیف بینی نشری و روش اتم سازی آن از طریق پلاسما صورت می‌گیرد. (Labidi &Djebaili 2008) . امکان حذف فلز سنگین سرب، کروم و روی از محلول‌های آبی با استفاده از نانو ذرات مغناطیسی Fe_3O_4 بررسی‌شده است (Deliyanni et al. 2007, Rajput et al. 2016)

۲- مواد و روش ها

آماده سازی محلول ها و اعمال تیمار ها به گیاهچه های آفتابگردان

این آزمایش ، در گلخانه تحقیقاتی بخش زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه شیراز، از اواسط شهریور ۱۳۹۶ تا بهمن‌ماه ۱۳۹۶ انجام شد. بذرهای تهیه‌شده را درون ۲۱ گلدان دو کیلویی کاشته شدند. خاک را به دلیل درصد رس زیاد با نسبت دوبه‌یک با گیاه خاک مخلوط کرده و به گلدان انتقال داده شد. چیدمان گلدان‌های هر یک برای انجام مطلوب آنالیزهای آماری به شیوه تصادفی بر روی میز انجام شد. بعد از چند روز از جوانه‌زنی و بزرگ شدن نسبی گیاهچه‌ها برای برابری تعداد در هر گلدان ۱۰ گیاه نگهداری کرده و تعداد اضافی گیاهان وجین گردید. پس از گذشت دو هفته از تاریخ کاشت گیاهان به میزان کافی برای تیمار رشد کرده بودند و تیمار دهی آغاز گردید. به‌منظور بررسی تأثیر فلز سنگین کادمیوم بر گیاه ذرت سه غلظت ۱۰، ۸۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم کادمیوم کلراید بر لیتر به آب اضافه گردید. همچنین برای بررسی نقش نانو جاذب در کاهش میزان فلز سنگین آب آلوده به هر لیتر از گروه دیگری از محلول‌های دارای غلظت ۱۰، ۸۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم، ۲ گرم نانوذره مغناطیسی اکسید آهن Fe_2O_3 تهیه شده از شرکت پیشگامان نانو مشهد افزوده گردید. پس افزودن نانو ذرات برای ایفای نقش آن‌ها محلول‌ها ۴۸ ساعت به‌وسیله پمپ هوا هم زده شدند. پس از ۴۸ ساعت با استفاده از آهنربای قوی به قدرت یک تسلا نانو ذرات از محلول استخراج شده و به‌منظور بازیابی نگهداری شدند. محلول‌های تهیه‌شده درون ظرف‌های درب دار به‌منظور جلوگیری از تبخیر و تغییر غلظت در طول دوره آبیاری نگهداری گردیدند. پس از پایان دوره تیمار دهی که تقریباً ۱۴ روز به طول انجامید گیاهان را از خاک خارج کرده، خاک اطراف ریشه را با دقت بسیار زیاد به‌منظور جلوگیری از آسیب به ریشه تمیز گردید. سپس ساقه و ریشه از محل یقه از یکدیگر جدا گردیدند و به‌صورت جداگانه وزن و درون فویل آلومینیومی پیچیده شدند؛ همچنین طول بخش هوایی به‌عنوان یکی از پارامترهای سنجش اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌های فویل پیچی شده با استفاده از نیتروژن مایع فریز و در فریزر در دمای منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیدند.

اندازه گیری فلز سنگین و طیف نانو جاذب مغناطیسی

مقداری از بافت گیاهان جدا و به مدت ۲۴ ساعت در آون قرار داده شدند. سپس پودر خشک گیاه از الک مش عبور داده شد. ۲۰۰ میلی‌گرم پودر الک شده با ترازویی به‌دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شده درون لوله‌آزمایش ریخته و سپس ۵ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (مخلوط ۳:۱ HCl:HNO3) به آن اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت چهار ساعت در آون در دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد قرار داده می‌شوند. پس از خارج کردن نمونه از آون به مدت ۱۲ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار داده شدند و محتوای لوله به کمک وکیوم و کاغذ واتمن صاف گردیدند.

اندازه گیری میزان فلز سنگین با دستگاه ICP می‌باشد. سپس در نهایت به میزان ۵ میلی لیتر از محلول های مورد نظر آماده شد و به بخش شیمی دانشگاه شیراز جهت آنالیز توسط دستگاه ICP فرستاده شد. نحوه ی محاسبه درصد حذف فلز سنگین در آب تیمار شده به صورت زیر می باشد.

$$\%\text{Removal} = \frac{\text{غلظت اولیه} - \text{غلظت پایانی}}{\text{غلظت اولیه فلز سنگین}}$$

که بر اساس غلظت اولیه و پایانی فلز سنگین است (Labidi &Djebaili 2008). طیف الگوی XRD نانو جاذب مغناطیسی $\mathbf{Fe_3O_4}$ در این پژوهش توسط بخش فیزیک دانشگاه شیراز و به منظور تایید اصالت نانو جاذب مغناطیسی استفاده شده، انجام شد.

اندازه گیری پرولین

۰/۵ گرم نمونه ی تر گیاهی برای اندازه گیری پرولین به روش (Bates et al. 1973)استفاده شد. جذب فاز رنگی با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Spekol شرکت Analytic Jena آلمان در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد.

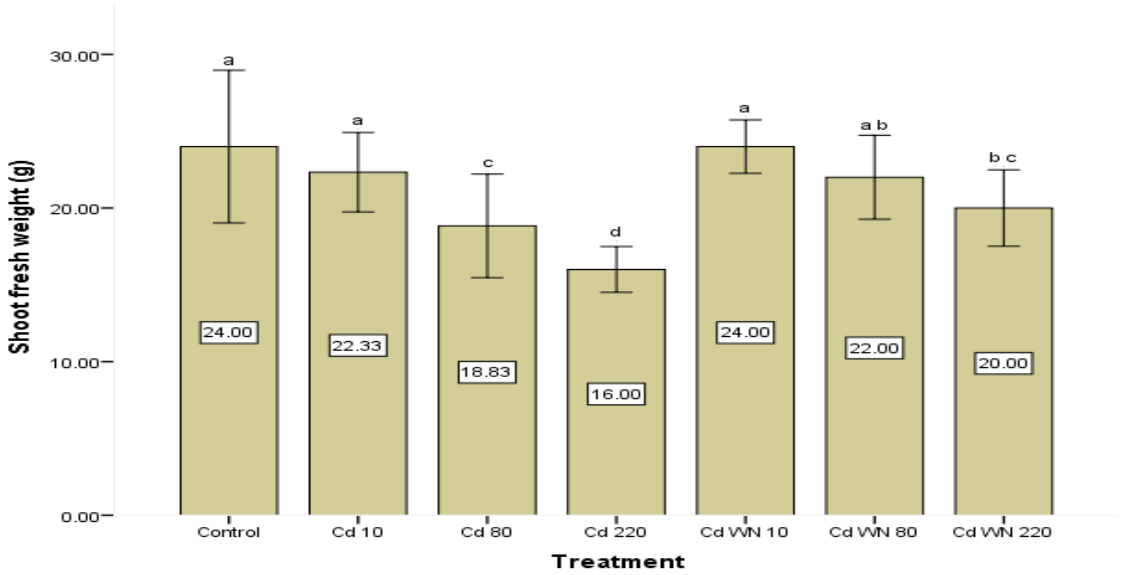
تعیین پتانسیل آنتی اکسیدانی نمونه های گیاهی با روش FRAP

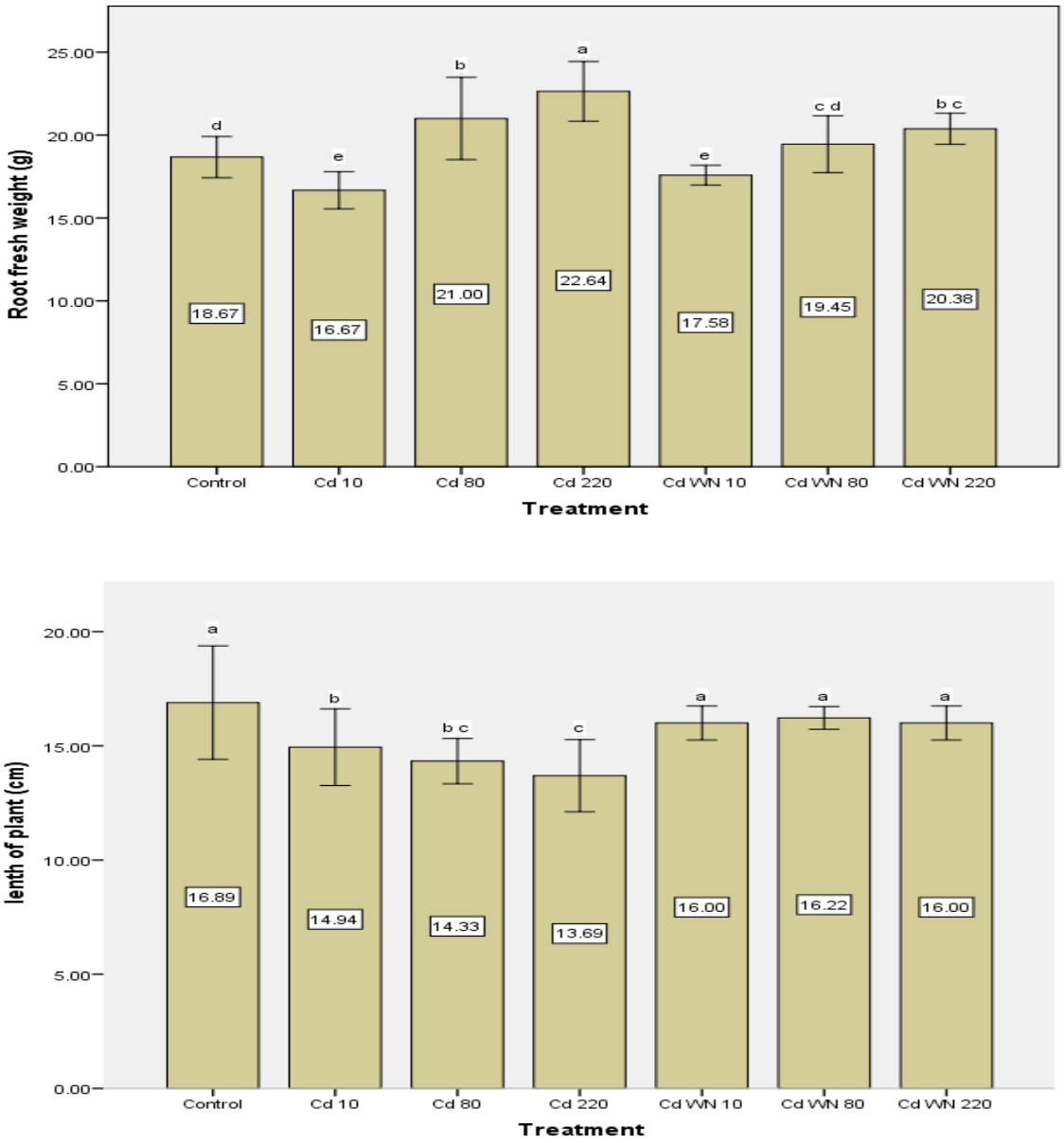
در آزمون FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Potential)کاهنده های (آنتی اکسیدان ها) نمونه، ترکیب اکسید شده (Fe^{3+}) Ferictripyridyltriazinc بی رنگ را به همراه افزایش جذب در ۵۹۳ نانومتر، به شکل آبی رنگ فروس (Fe^{2+}) کاهش می دهد (Jukić &Miloš 2005) . در این روش معرف حاوی Tripyridyl-S-Triazine (TPTZ) و $FeCL_3$ و بافر استات می‌باشد. آنتی اکسیدان هایی که توانایی احیای Fe^{3+} به Fe^{+2} را دارند، باعث تبدیل کمپلکس $TPTZ\text{-}Fe^{3+}$ بی رنگ به کمپلکس $TPTZ\text{-}Fe^{2+}$ می‌شود که به رنگ آبی بوده و در طول موج ۵۹۳ نانومتر قابل اندازه گیری است. غلظت ۱۵۰ میکروگرم بر میلی لیتر از عصاره های مختلف گیاهی را برداشته و به حجم نهایی ۲ میلی لیتر محلول FRAP که حاوی ۱۰ میلی مولار TPTZ در ۴۰ میلی مولار HCL ، ۲۰ میلی مولار کلرید آهن، ۳۰۰ میلی مولار بافر استات با PH برابر با ۳/۶ است، اضافه شد. نمونه را به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد قرار داده وشدت رنگ حاصل در طول موج ۵۹۳ نانومتر اندازه گیری شد (Benzie &Strain 1996, Iris et al. 1999). میزان IC_{50} یعنی غلظتی از عصاره که نیمی از رادیکال‌های DPPH را مهار می‌کند و هر چه عصاره یک گیاه توانایی آنتی‌اکسیدانی قوی‌تری داشته باشد میزان IC_{50} آن کمتر خواهد بود. برای محاسبه میزان IC_{50}، باید در معادله خطی به‌جای Y عدد ۰/۵ را قرار بدهیم تا X به دست آید، میزان X برابر با IC_{50} می‌باشد (Labidi &Djebaili 2008).

تجزیه و تحلیل آماری

نرم افزار آماری SPSS 22 و آزمون چند دامنه‌ای Duncan در سطح $\alpha \leqslant 0.05$ استفاده شد. جهت رسم نمودار ها از برنامه Excel 2016 استفاده گردید.

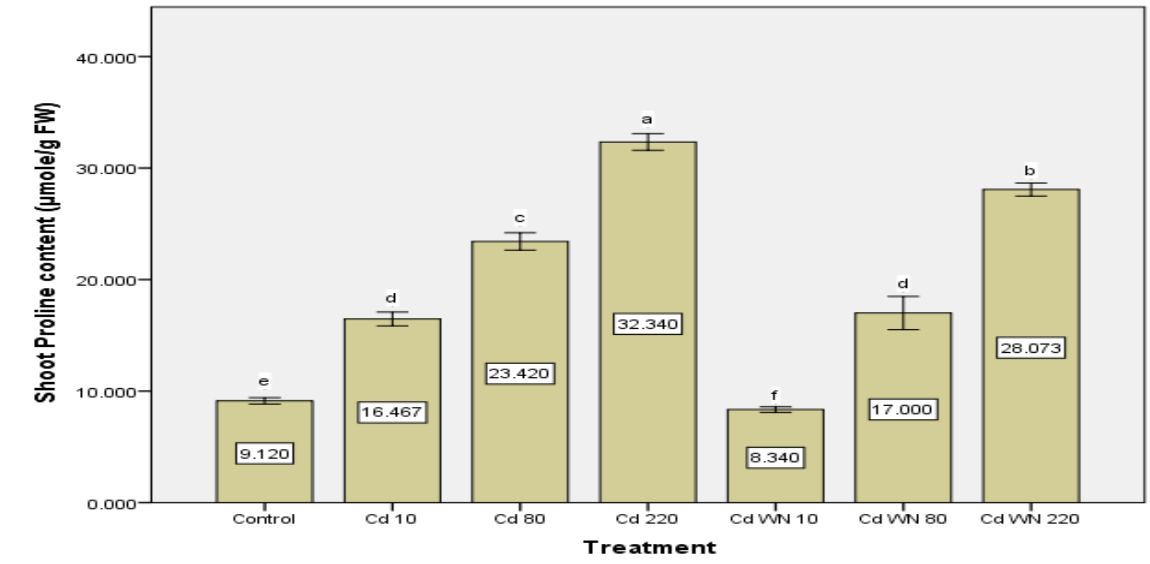
۳- نتایج و بحث

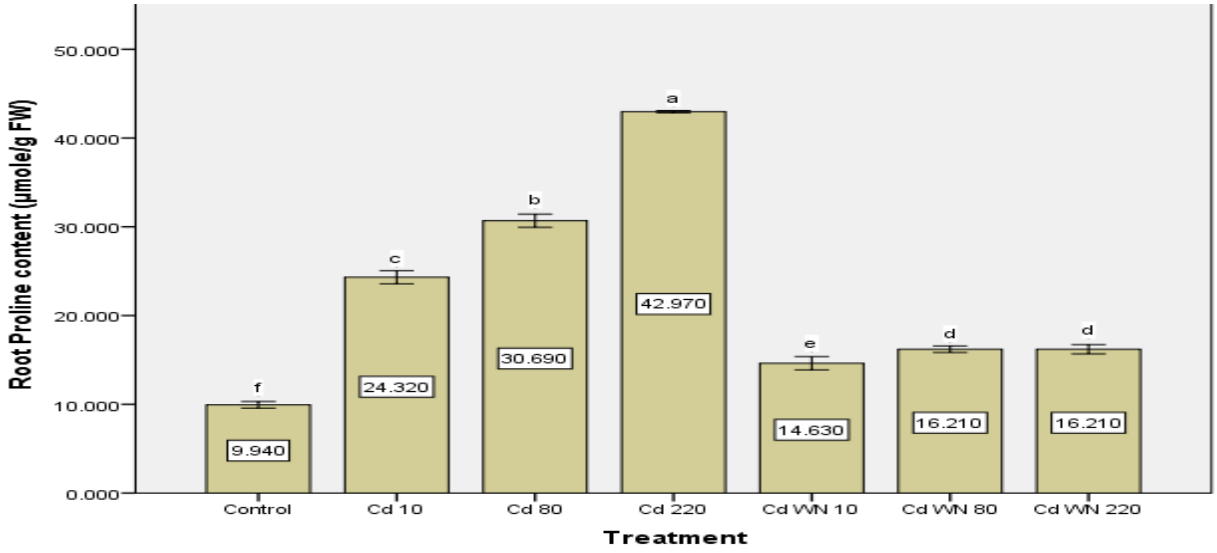




شکل ۱ - میانگین وزن تر بخش هوایی و ریشه و طول بخش هوایی گیاه ذرت با ۳ تکرار. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است. WN تیمار با نانوجاذب و اعداد غلظت های کادمیوم می‌باشند.

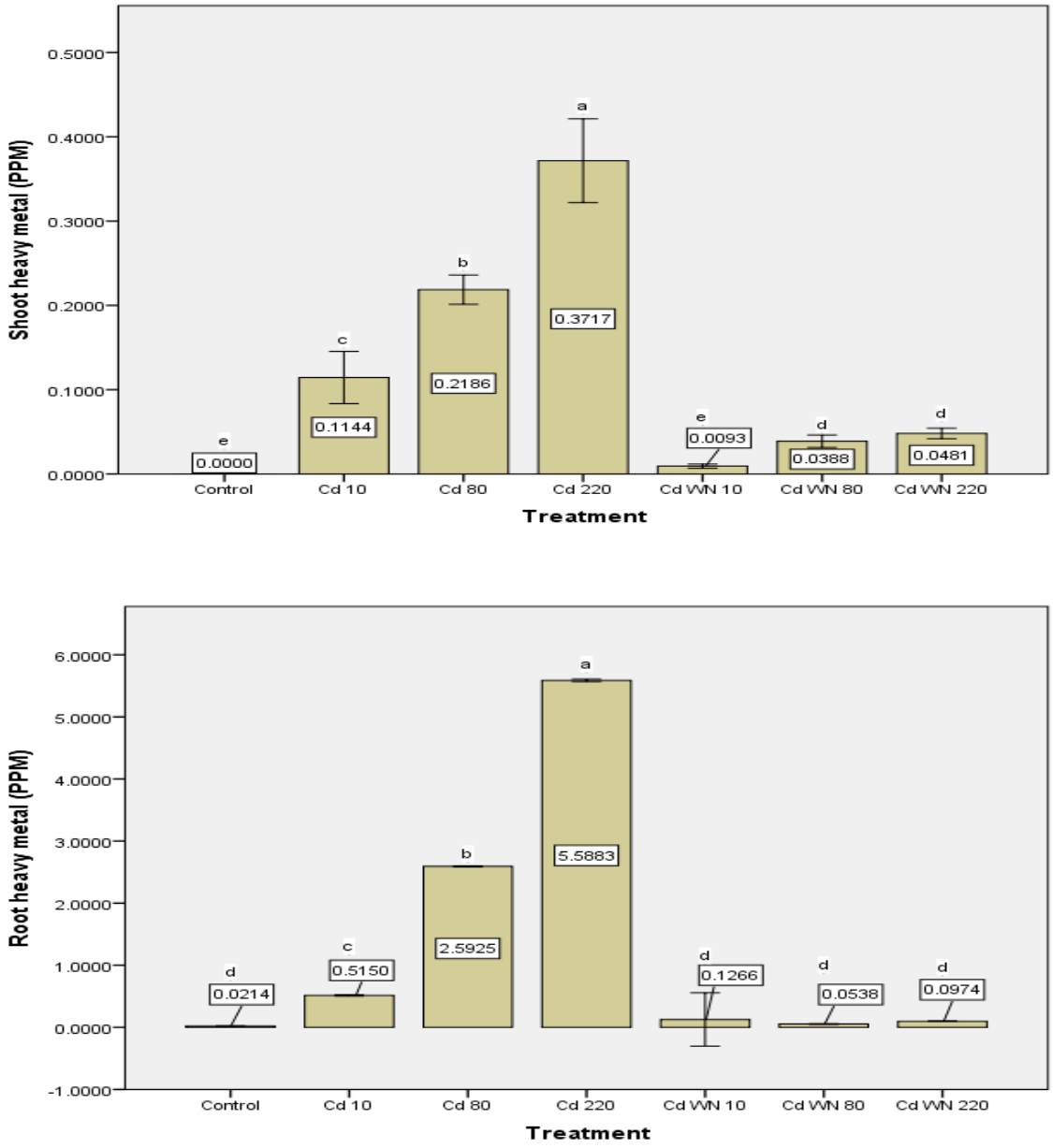
وزن تر اندام هوایی در مقادیر ۱۰، ۸۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار در سطح ۵ درصد داشته است. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم تیمار شده با نانوذره افزایش معنی‌دار در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد. همچنین در غلظت ۸۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم فلز سنگین تیمار شده با نانوذره کاهش معنی‌دار نشان می‌دهد. در ریشه، غلظت‌های ۱۰ میلی گرم کادمیوم و ۱۰ میلی گرم کادمیوم تیمار شده با نانوذره نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان می دهند. در سایر غلظت‌های ۸۰ و ۲۲۰ میلیگرم کادمیوم و غلظت های ۸۰ و ۲۲۰ میلی گرم کادمیوم تیمار شده با نانو ذرات نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار مشاهده می‌گردد. طول بخش هوایی گیاه ذرت در مقادیر ۱۰، ۸۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم بر لیتر کادمیوم نسبت به شاهد کاهش معنی‌دار در سطح ۵ درصد داشته است. تنش فلز سنگین کادمیوم میزان بیوماس گیاه را کم کرده و درنتیجه میزان محصول را در گیاه ذرت کاهش داده است. کاهش وزن‌تر در کادمیوم تیمار شده با نانو ذرات نشان‌دهنده عملکرد نانو ذرات در حذف کادمیوم از آب است. افزایش وزن تر ریشه می‌تواند در اثر انباشته شدن فلز سنگین در محیط اطراف ریشه باشد که این انباشتگی می‌تواند باعث کاهش فشار اسمزی خاک و همچنین تخریب تارهای کشنده گردد. گیاه برای به دست آوردن آب بیشتر شبکه ریشه‌ای خود را گسترش می دهد.کاهش در وزن و طول گیاه ذرت تحت تأثیر سرب و مس گزارش شده است (Gupta et al. 2009, Tanyolac et al. 2007).





شکل ۲ - میانگین پرولین بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت با ۳ تکرار. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است. *WN* تیمار با نانوجاذب و اعداد غلظت های کادمیوم می‌باشند.

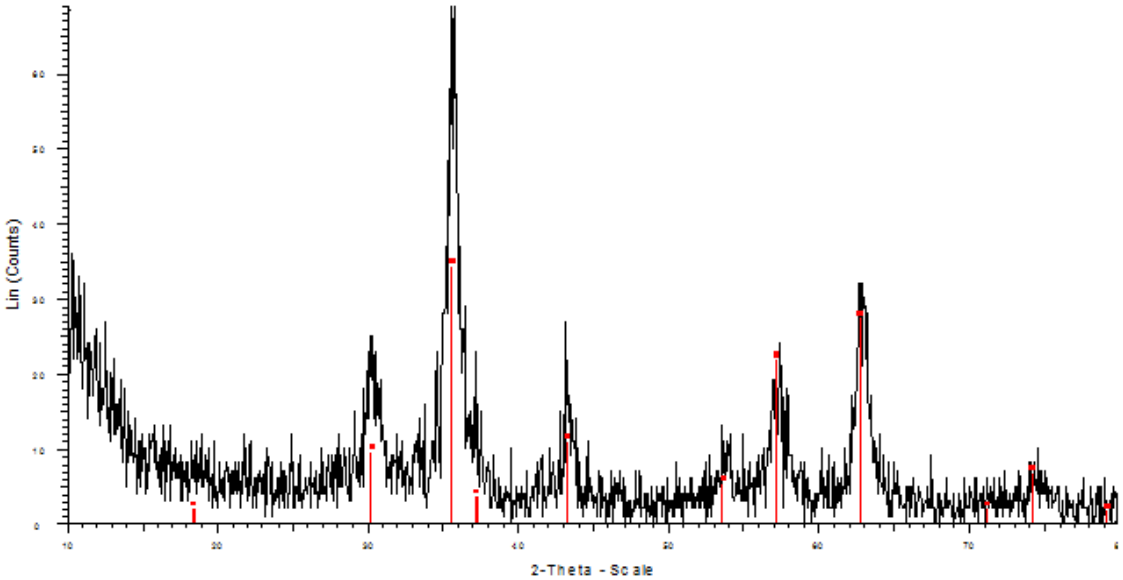
میزان پرولین بخش هوایی گیاه ذرت در گروه تیمار کادمیوم با افزایش غلظت به‌طور معناداری در مقایسه با گروه شاهد افزایش پیدا می‌کند. غلظت ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم از گروه تیمار شده با نانو ذرات اختلاف معناداری با گروه شاهد نشان نمی‌دهد. اما دو غلظت دیگر گروه تیمار شده با نانو ذرات افزایش معنادار نشان می‌دهند. میزان فلز سنگین موجود در بافت ریشه با افزایش غلظت کادمیوم در گروه کادمیوم، در مقایسه با گروه شاهد افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود که در گروه تیمار شده با نانو ذرات اکسید آهن اختلاف معنی‌داری در مقایسه با شاهد وجود ندارد. میزان کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت اندازه‌گیری شده با دستگاه ICP در شکل زیر نشان داده شده است. از آنجا که گیاهان نمی‌توانند از تنش های محیطی مختلف فرار کنند، به مکانیسم هایی نیاز دارند که تنش ها را شناسایی کرده و به آنها پاسخ دهند (Sadiqov et al. 2002). تغییرات مقدار پرولین در پژوهش حاضر در تنش فلز سنگین با نتایج سایر پژوهشگران هم سویی نشان می دهد (Zengin &Kirbag 2007). پرولین در تیمار فلزات سنگین در گیاه تجمع می یابد و در تحمل به تنش ها نقش دارد. پرولین تحمل استرسی گیاهان را از طریق عملکردهایی از قبیل تنظیم اسمزی، محافظت آنزیمی در مقابل دناتوره شدن و پایداری سنتز پروتئین افزایش می دهد. بعلاوه پرولین می تواند در کلات کردن فلزات در سیتوپلاسم نقش ایفا نماید (Kuznetsov &Shevyakova 1997). پرولین یک آمینو اسید با قابلیت حل شدن زیاد در آب می باشد که آبگیری سلول های گیاهی و بافت ها را بهبود می بخشد و مانع از دست دادن آب برگ ها تحت شرایط تنش فلزات سنگین می شود (Lexmond &Van der Vorm 1981).



شکل ۳ - میانگین میزان فلز سنگین کادمیوم بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت با ۳ تکرار. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است. WN تیمار با نانوجاذب و اعداد غلظت های کادمیوم می‌باشند.

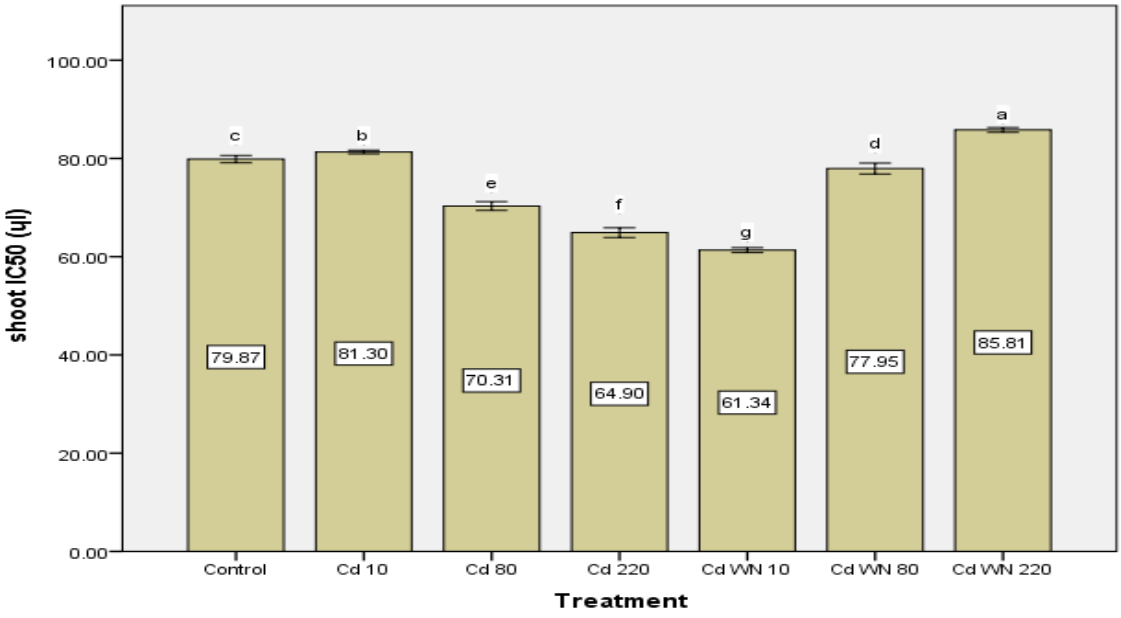
نمودار نشـان می‌دهد که میزان فلز سـنگین کادمیوم بخش هوایی در گروه تیمار کادمیوم با افزایش غلظت به‌طور معناداری در مقایسـه با گروه شـاهد افزایش پیدا می‌کند. غلظت ۱۰ میلی‌گرم کادمیوم از گروه تیمار شده با نانو ذرات اختلاف معناداری با گروه شاهد نشان نمی‌دهد. اما دو غلظت دیگر گروه تیمار شـده با نانو ذرات افزایش معنادار نشـان می‌دهند. میزان فلز سـنگین موجود در بافت ریشـه با افزایش غلظت کادمیوم در گروه کادمیوم، در مقایسه با گروه شاهد افزایش معنی‌داری پیدا می‌کند. همچنین مشـاهده می‌شـود که در گروه تیمار شـده با نانو ذرات اکسید آهن اختلاف معنی‌داری در مقایسه با شاهد وجود ندارد.

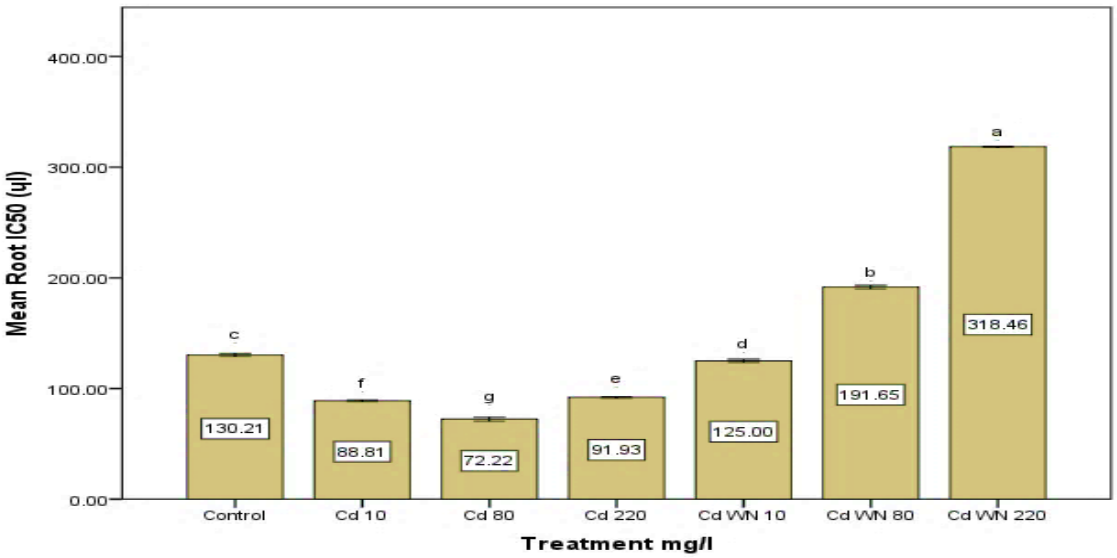
درصد حذف فلز سنگین کادمیوم با نانو جاذب مغناطیسی Fe_3O_4 در غلظت های مختلف ۱۰ ، ۸۰ و ۲۲۰ میلی گرم بر لیتر نیکل حدود ۹۹/۶ بود. در پژوهش حاضـر، با افزایش غلظت فلز کادمیوم میزان تجمع آن در اندام هوایی و ریشـه گیاه با توجه به نتایج دسـتگاه ICP افزایش یافت ولی نتایج نشـان دادند که نانوجاذب Fe_3O_4 میزان زیادی از فلز سـنگین کادمیوم را به خود جذب کرده و مانع تجمع آنها در گیاه ذرت شـده اسـت. اختلاف شـدید بین تیمار کادمیوم سـاقه و کادمیوم ریشـه می‌تواند به خاطر مجاورت بیشـتر ریشـه با فلز سـنگین و همچنین تحرک پایین کادمیوم باشد.



شکل ٤ – طیف XRD نانوجاذب Fe_3O_4 استفاده شده، تطابق پیک های XRD گرفته شده با پیک استاندارد نانو ذره Fe_3O_4 که بصورت خطوط عمودی در شکل نشان داده شده است.

شـــکل ۴ نمودار الگوی XRD نانو ذره مغناطیســـی Fe_3O_4 مورد استفاده در پژوهش حاضر را نشان می دهد. زوایای خاص XRD که پیک های مختلفی را نشـــان می دهند و تطابق آنها با پیک های استاندارد نانو جاذب Fe_3O_4 که بصورت خطوط عمودی نشان داده شده است تایید کننده اصالت نانوذره Fe_3O_4 هستند. همانگونه که الگوی XRD در شـکل ۴ نشـان می دهد تطابق پیک ها برای ماده مجهول با ماده معلوم بررسی می شود و اگر این دو بر یکدیگر منطبق باشـند، نتیجه میگیریم که ماده ی مجهول همان Fe_3O_4 اسـت. اثر غلظت‌های مختلف کادمیوم و کادمیوم تیمار شـده با نانو ذرات اکسـید آهن بر محتوای آنتی‌اکســیدانی بخش هوایی و ریشـــه گیاه ذرت بر اسـاس میزان IC_{50} یعنی غلظتی از عصـاره که نیمی از رادیکال‌های DPPH را مهار می‌کند، در شکل ۵ نشان داده شده است.





شکل ۵ - میانگین محتوای آنتی‌اکسیدانی بر اساس میانگین IC_{50} بخش هوایی و ریشه گیاه ذرت با ۳ تکرار. حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون دانکن است. WN تیمار با نانوجاذب و اعداد غلظت های کادمیوم می‌باشند.

نمودار ۵ نشان می‌دهد که بین داده‌های میانگین IC_{50} بخش هوایی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و غلظت‌های ۸۰ و ۲۲۰ کادمیوم و ۱۰ و ۸۰ کادمیوم تیمار شده با نانوذره نسبت به شاهد کاهش‌یافته‌اند. دو گروه دیگر افزایش نشان می‌دهند. محتوای آنتی‌اکسیدانی بر اساس میانگین IC_{50} ریشه گیاه ذرت در تیمار کادمیوم نسبت به شاهد کاهش و در کادمیوم تیمار شده با نانوذره نسبت به تیمار کادمیوم افزایش نشان می دهد. نتایج حاصل از IC50 اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. با افزایش غلظت فلز سنگین در تیمار کادمیوم میزان IC50 کاهش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده افزایش محتوای ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاه است که به دلیل بالا رفتن غلظت فلز سنگین در گیاه همچنین تشدید تنش‌های ثانویه ناشی از تنش فلز سنگین می باشد. در تیمار کادمیوم تیمار شده با نانو ذرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با تیمار کادمیوم کاهش می یابد. در تیمار کادمیوم تیمار شده با نانو جاذب مقادیر روند صعودی دارند که نشان‌دهنده کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گیاه می باشد. آنتی اکسیدان اندام هوایی در غلظت های فلز سنگین موجب افزایش آنتی اکسیدان نسبت به شاهد شده است. در پژوهش های انجام شده در این زمینه نتایج مشابهی بدست آمده است (Ara &Nur 2009, Tepe et al. 2006). در سال ۲۰۰۱ افزایش فعالیت سوپراکسید دیسموتاز در برنج تحت تاثیر کادمیوم را گزارش کردند (Shah et al. 2001). در سال ۲۰۰۷ گزارش کردند که محتوای آنتی‌اکسیدانی کل گیاه ذرت در اثر فلز سنگین مس کاهش یافته است (Tanyolac et al. 2007). بررسی تغییرات آنتی اکسیدان ها با وزن مولکولی کم نظیر آلفا توکروفرول، آسکوربیک اسید و گلوتاتیون و همچنین فعالیت آنتی اکسیدانی آنزیمی نظیر گلوتاتیون ردوکتاز، کاتالاز و سوپر اکسید دسموتاز پیشنهاد می گردد.

٤- نتیجه گیری

اطلاعات به‌دست آمده نشان می‌دهد که فلز سنگین کادمیوم باعث کاهش رشد گیاه ذرت و تنش در گیاه می‌شود و نانو جاذب‌های اکسید آهن به خوبی می‌توانند در کاهش فلز سنگین موجود در آب عمل کنند. این روش برای حذف فلزات سنگین سریع، ارزان و ایمن است و بیش از ۹۹ درصد فلز سنگین را حذف می نماید. مطالعه برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و رشد گیاه ذرت به فلز سنگین کادمیوم و اثر نانو جاذب مغناطیسی Fe_3O_4 بر آنها تایید کننده این روش است. چون نانو ذرات مغناطیسی اکسید آهن ظرفیت و کارایی بالایی برای جذب کادمیوم از آب های آلوده را دارند می توان از آنها بعنوان جاذب های با کارایی بالا در مقیاس های بزرگ استفاده کرد و در نهایت به آسانی آنها را از آب جدا کرده و مجددا مورد استفاده قرار داد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه شیراز انجام شده است که بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز سپاسگزاری می گردد.

منابع

- Alia, P., Saradhi, P. 1991. Proline accumulation under heavy metal stress. J Plant Physiol Vol. 138, P. 554-558.
- Ahmad, M. S. A., Hussain, M., Ashraf, M., Ahmad, R., Ashraf, M. Y. 2009. Effect of nickel on seed germinability of some elite sunflower (Helianthus annuus L.) cultivars. Pak J Bot Vol. 41, P. 1871-1882.
- Ara, N., Nur, H. 2009. In vitro antioxidant activity of methanolic leaves and flowers extracts of Lippia alba. Res J Medicine Med Sci Vol. 4, P. 107-110.
- Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant soil Vol. 39, P. 205-207.

- Benzie, I.F., Strain, J.J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. Anal Biochem Vol. 239, P. 70-76.
- Deliyanni, E., Peleka, E., Matis, K. 2007. Removal of zinc ion from water by sorption onto iron-based nanoadsorbent. J Hazard Mater Vol. 141, P. 176-184.
- Di Natale, C., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., D'Arcangelo, G., Roscioni, C., Finazzi-Agro, A., D'Amico, A. 2003. Lung cancer identification by the analysis of breath by means of an array of non-selective gas sensors. Biosens Bioelectron Vol. 18, P. 1209-1218.
- Gao, F., Feng, S., Chen, Z., Li-Chan, E.C., Grant, E., Lu, X. 2014. Detection and quantification of chloramphenicol in milk and honey using molecularly imprinted polymers: Canadian penny-based SERS nano-biosensor. J food sci Vol. 79, P. 2542-2549.
- Gupta, D., Nicoloso, F., Schetinger, M., Rossato, L., Pereira, L., Castro, G., Srivastava, S., Tripathi, R. 2009. Antioxidant defense mechanism in hydroponically grown Zea mays seedlings under moderate lead stress. J Hazard Mater Vol. 172, P. 479-484.
- Heo, Y., Varadarajan, V., Kaufman, M., Kim, K., Norton, D., Ren, F., Fleming, P. 2002. Site-specific growth of ZnO nanorods using catalysis-driven molecular-beam epitaxy. Appl phys lett Vol. 81, P. 3046-3048.
- Iris, F., Benzi, F., Strain, S. 1999. Ferric reducing antioxidant assay. Methods Enzymol Vol. 292, P. 15-27.
- Jukić, M., Miloš, M. 2005. Catalytic oxidation and antioxidant properties of thyme essential oils (Thymus vulgarae L.). Croat chem acta Vol. 78, P. 105-110.
- Kuznetsov, V.V., Shevyakova, N.I. 1997. Stress responses of tobacco cells to high temperature and salinity. Proline accumulation and phosphorylation of polypeptides. Physiol Plant Vol. 100, P. 320-326.
- Labidi, N., Djebaili, A. 2008. Studies of the mechanism of polyvinyl alcohol adsorption on the calcite/water interface in the presence of sodium oleate. J Miner Mater Char Eng Vol. 7, P. 147.
- Lexmond, T.M., Van der Vorm, P. 1981. The effect of pH on copper toxicity to hydroponically grown maize. Neth J Agri Sci Vol. 29(3), P. 209-230.
- Rajput, S., Pittman, J., Mohan, D. 2016. Magnetic magnetite (Fe3O4) nanoparticle synthesis and applications for lead (Pb2+) and chromium (Cr6+) removal from water. J colloid interf sci Vol. 468, P. 334-346.
- Sadiqov, S., Akbulut, M., Ehmedov, V. 2002. Role of Ca^{2+} in drought stress signaling in wheat seedlings. Biochemistry (Moscow) Vol. 67, P. 491-497.
- Sengupta, S., Ebeling, D., Patwardhan, S., Zhang, X., von Berlepsch, H., Böttcher, C., Stepanenko, V., Uemura, S., Hentschel, C., Fuchs, H. 2012. Biosupramolecular nanowires from chlorophyll dyes with exceptional charge-transport properties. Angew Chem Int Ed Vol. 51, P. 6378-6382.
- Shah, K., Kumar, R.G., Verma, S., Dubey, R. 2001. Effect of cadmium on lipid peroxidation, superoxide anion generation and activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Sci Vol. 161, P. 1135-1144.
- Tangahu, B.V., Sheikh Abdullah, S.R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., Mukhlisin, M. 2011. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. Inter J Chem Eng ID 939161, 31 pages.
- Tanyolac, D., Ekmekçi, Y., Ünalan, Ş. 2007. Changes in photochemical and antioxidant enzyme activities in maize (Zea mays L.) leaves exposed to excess copper. Chemosphere Vol. 67, P. 89-98.
- Tepe, B., Sokmen, M., Akpulat, H.A., Sokmen, A. 2006 Screening of the antioxidant potentials of six Salvia species from Turkey. Food Chem Vol. 95, P. 200-204.
- Zengin, F.K., Kirbag, S. 2007 Effects of copper on chlorophyll, proline, protein and abscisic acid level of sunflower (Helianthus annuus L.) seedlings. J Environ Biol Vol. 28, P. 561-566.