

## اثر زئولیت بر جذب کادمیم در گیاه اسفناج در شرایط آبیاری با پساب

راضیه ملایی، جهانگیر عابدی کوپایی\* و سید سعید اسلامیان<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۹/۰۸)

### چکیده

کمبود آب سبب شده که کشاورزان از پساب‌ها به‌عنوان منبع آب در دسترس، بدون توجه به اثرات آن بر محیط زیست و آلودگی خاک و گیاه و به‌ویژه آلودگی فلزات سنگین استفاده کنند. هدف از این مطالعه، بررسی اثر کاربرد زئولیت به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک بر جذب کادمیم در گیاه اسفناج تحت آبیاری با پساب (حاوی ۱۰ ppm کادمیم) می‌باشد. مقادیر مختلف زئولیت (۰، ۱ و ۵ درصد وزنی) به خاک اضافه و آزمایش به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که کاربرد زئولیت در مقدار ۱٪ سبب کاهش غلظت کادمیم در گیاه شد. این تیمار سبب کاهش درصد کادمیم قابل‌عصاره‌گیری با DTPA در خاک نیز شد. اما افزودن ۵٪ از این نوع زئولیت به‌دلیل افزایش شوری خاک، سبب افزایش غلظت کادمیم گیاه شد که این افزایش نسبت به شاهد، معنی‌دار نبود. آبیاری با پساب باعث تغییر معنی‌دار زیست‌توده اسفناج نشد ولی حضور کادمیم در پساب به‌شدت محصول را کاهش داد.

کلمات کلیدی: اسفناج، پساب، کادمیم، زئولیت

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: [koupai@cc.iut.ac.ir](mailto:koupai@cc.iut.ac.ir)

## مقدمه

با رشد جمعیت و افزایش نیاز به آب آبیاری از یک سو و کمبود منابع آبی از سوی دیگر، پساب‌های صنعتی و خانگی به‌عنوان منابعی عمده اهمیت یافته‌اند (۳). فلزات سنگین موجود در این گونه آب‌های نامتعارف، یکی از علل مهم آلودگی آب و خاک محسوب می‌شوند (۹). خاک محیط طبیعی برای رشد گیاهان است و از آنجا که گیاهان منبع تغذیه برای موجودات به‌طور مستقیم و غیرمستقیم هستند، هر نوع تغییری در کیفیت و خواص فیزیکی و شیمیایی آن بر موجودات دیگر تأثیرگذار است (۱۵). بنابراین فلزات سنگین به‌هر نحو به خاک‌های کشاورزی وارد می‌شوند باید در سطوحی نگهداری شوند که حداقل زیان را به گیاهان وارد نموده و کمترین خطر مصرف را از طریق ورود به زنجیره غذایی داشته باشند (۴). کادمیم، یکی از مهم‌ترین و متحرک‌ترین فلزات سنگین خاک محسوب می‌شود که به آسانی توسط ریشه گیاه جذب می‌شود (۲۷). از اینرو انتقال کادمیم از خاک به گیاه و سپس به انسان، به‌عنوان یک مسیر قرار گرفتن انسان در معرض کادمیم مورد بررسی قرار گرفته است (۱۳). کادمیم یکی از عناصر کمیاب در پساب شهری است که اغلب در پساب تصفیه شده و لجن در طول فرایند تصفیه باقی می‌ماند (۶). کادمیم به‌عنوان یک ماده سرطان‌زا برای انسان معرفی شده است (۲۸). حد مجاز مصرف آن برای انسان معادل ۷۰ میکروگرم در روز می‌باشد. مسمومیت با این فلز باعث آسیب جدی به کلیه‌ها، استخوان و سیستم عصبی، اختلال در قلب و عروق و سیستم تناسلی می‌گردد (۱۲ و ۲۹). ظهور بیماری ایتائی - ایتائی (Etai-Etai) در ژاپن به‌علت ورود فاضلاب‌های حاوی کادمیم به کشتزارهای برنج گزارش شده است (۲۳). کادمیم در گیاه آثار مختلفی از جمله: کاهش فتوسنتز، تنفس، متابولیسم نیتروژن و همچنین کاهش جذب آب و مواد معدنی دارد (۲۴). همچنین این عنصر سبب قهوه‌ای شدن اطراف برگ‌ها، کلروز، قرمز شدن برگ‌ها و دمبرگ‌ها، برگ‌های پیچیده، قهوه‌ای شدن ریشه‌ها و کاهش رشد می‌شود (۳). لاکشواری و همکاران (۱۹)، مقدار آلودگی سبزیجات به

فلزات سنگین را که ناشی از آبیاری زمین‌های کشاورزی با آب دریاچه تغذیه شده با فاضلاب بود، مورد ارزیابی قرار دادند. متوسط غلظت کل فلزات آهن، روی، مس، کروم، سرب و کادمیم در گیاهان خوراکی به‌ترتیب ۳/۵، ۲، ۲/۵، ۱۵، ۲/۵ و ۲۱ برابر بیشتر از غلظت‌های طبیعی بود. همچنین مقدار کادمیم در اسفناج و تربچه بیش از حد مجاز بود. در یک منطقه تحت آبیاری با پساب صنعتی در هند، مشاهده شد که اگرچه پساب مورد استفاده حاوی مقدار کمی از فلزات سنگین بود، اما غلظت فلزات در نمونه‌های خاک و گیاه قابل توجه بود (۱۴). برخی تکنیک‌های اصلاح خاک جهت تثبیت‌سازی فلزات سنگین در خاک‌های آلوده و کاهش غلظت محلول در خاک، در نتیجه رسوب، جذب سطحی، یا ترکیب شدن به مواد آلی در برخی مطالعات استفاده شده است (۱۶). تثبیت‌سازی شیمیایی فلزات سنگین با استفاده از مواد اصلاحی مختلف، یک تکنیک اصلاحی ساده و کارآمد (پربازده) برای کاربرد در محل‌های آلوده به‌منظور کاهش تحرک فلزات سنگین، محسوب می‌شود (۲۰). انصاری مهابادی و همکاران (۵) نشان دادند که کاربرد ژئولیت در خاک آلوده، میزان آب‌شویی کادمیم از خاک‌ها را کاهش می‌دهد. کاستالیدی و همکاران (۹) اثر اصلاح‌کننده‌های شیمیایی شامل ژئولیت، کمپوست و هیدروکسید کلسیم، بر قابلیت حل عناصر و میزان جذب توسط گیاه لویزا را مورد بررسی قرار دادند اصلاح‌کننده‌ها از طریق کاهش مقدار قابل دسترس فلزات برای گیاه سبب کاهش جذب فلزات توسط گیاه، افزایش رشد و افزایش بیومس اندام هوایی و ریشه گیاه در یک خاک آلوده شدند.

با توجه به این‌که استفاده مواد اصلاح‌کننده در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین بر کاهش تحرک فلزات در خاک، اثرگذار بوده است، ممکن است استفاده از این روش در زمین‌های تحت آبیاری با پساب، نیز مؤثر واقع شود. بدین‌منظور در این مطالعه اثر کاربرد یک نوع ژئولیت در خاک بر جذب کادمیم توسط گیاه اسفناج تحت آبیاری با پساب، مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱. ویژگی‌های خاک مورد استفاده

پارامتر	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	جرم مخصوص ظاهری (g cm <sup>-3</sup> )	درصد آهک	درصد کربن آلی (OC)	EC (dS/m)	pH	CEC (Cmol+/kg)
مقدار	۲۲/۴	۲۴/۰	۵۳/۶	۱/۵	۲۲	۰/۶	۱/۷	۷/۹	۳۳

جدول ۲. برخی ویژگی‌های پساب مورد استفاده

پارامتر	pH	EC (dS/m)	Fe (mg/L)	Zn (mg/L)	Mn (mg/L)	Se (mg/L)	Cd (mg/L)	As (mg/L)
مقدار	۷/۶	۱/۷	۰/۰۷۲	۰/۶۴۳	۰/۵۸۳	۰/۰۵۷	۰/۰۹۳	۰/۰۰۸

## مواد و روش‌ها

این مطالعه با کاربرد مقادیر مختلف ژئولیت در خاک، به صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. ژئولیت از منبع خورو بیابانک، شرکت اشکان‌دانه اصفهان تهیه گردید، که بعد از پودر کردن و عبور از الک با مش ۳۵، با مقادیر ۰، ۱۰ و ۵۰ گرم در کیلوگرم (۰، ۱ و ۵ درصد وزنی) با خاک مخلوط گردید. ترکیب شیمیایی عناصر اصلی در نمونه ژئولیت مورد استفاده، به روش فلورسانس پرتو X با استفاده از دستگاه XRF، تعیین گردید. کشت گیاه اسفناج (*Spinacia oleracea* L)، رقم ویروفلی در گلدان‌های ۱۰ کیلویی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و در گلخانه دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. نتایج آنالیز خاک در جدول (۱) نشان داده شده است. از پساب کارخانه ذوب آهن که مخلوطی از پساب صنعتی و شهری کارخانه بود برای آبیاری گلدان‌ها استفاده شد، که برخی ویژگی‌های آن در جدول (۲) ارائه داده شده است. غلظت کادمیم در پساب با استفاده از نمک کلراید کادمیم ( $CdCl_2 \cdot 2H_2O$ ) در هر بار آبیاری به مقدار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش داده شد. برای کاهش تنش رطوبتی، گلدان‌ها با فواصل زمانی کوتاه (۴۸ ساعته) توزین و تا رسیدن به ظرفیت زراعی آبیاری می‌شدند. تا حد امکان سعی می‌شد که مقدار آب داده شده به گلدان‌ها یکسان باشد و همچنین آبی از ته گلدان‌ها خارج نشود. همچنین به منظور بررسی اثر پساب حاوی کادمیم بر عملکرد گیاه، تیمارهایی تحت آبیاری با آب آشامیدنی در نظر گرفته شد. در مقایسه عملکرد گیاه بین

تیمارهای آبیاری با پساب و آبیاری با آب، طرح فاکتوریل مورد ارزیابی قرار گرفت.

بعد از گذشت ۷۰ روز از زمان کاشت، گیاهان از محل طوقه برداشت شدند و وزن تر آنها با استفاده از ترازو با دقت دو رقم اعشار (۰/۰۱) اندازه‌گیری شد. همچنین بعد از نمونه‌برداری از خاک اطراف ریشه، ریشه‌ها نیز جمع‌آوری شدند. نمونه‌های گیاهی، بعد از شستشو با آب مقطر در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. بعد از اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی، نمونه‌های ریشه و اندام هوایی پودر شدند و سپس عصاره‌گیری به روش مایکروویو (EPA۳۲۵۰) انجام شد. نمونه‌های خاک نیز به مدت یک هفته در هوا خشک شدند و بعد از کوبیده شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. شکل قابل جذب کادمیم خاک توسط محلول  $DTPA \cdot 0.005$  / نرمال حاوی کلرید کلسیم ۰/۰۱ نرمال و تری اتانول آمین (TEA) ۰/۱ نرمال عصاره‌گیری شد (۱۸). غلظت فلزات در نمونه‌های گیاه و خاک به وسیله دستگاه ICP تعیین گردید. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (Statistical Analysis System) انجام گرفت. همچنین نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردید. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (Least Significant Difference) LSD انجام شد.

جدول ۳. برخی از مشخصات زئولیت مورد استفاده

پارامتر	EC dS/m (عصاره ۱ به ۵)	pH (عصاره ۱ به ۲/۵)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)
مقدار	۸/۵	۸/۳	۵۱

جدول ۴. ترکیب شیمیایی زئولیت مورد استفاده

درصد	ترکیب شیمیایی
۳۳/۸	SiO <sub>۲</sub>
۱۵/۰۹	CaO
۱۰/۷	Al <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
۶/۹	MgO
۵/۶	Fe <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>
۰/۶	TiO <sub>۲</sub>
۱/۵	Na <sub>۲</sub> O
۰/۶	SO <sub>۳</sub>
۰/۱۴	P <sub>۲</sub> O <sub>۵</sub>
۰/۱	MnO
۰/۹	Cl
۰/۶	TiO <sub>۲</sub>
۰/۱	P <sub>۲</sub> O <sub>۵</sub>
۰/۰۳۵	SrO
۰/۰۲۳	CuO
۰/۰۱۶	ZnO
۰/۰۱۶	ZrO <sub>۲</sub>
۰/۰۱۱	Rb <sub>۲</sub> O
۲۰/۷	LOI*
۱۰۰/۱	Total

\*Loss on Ignition (100 °C, 2h)

## نتایج و بحث

### خصوصیات زئولیت مورد استفاده

برخی مشخصات زئولیت مورد استفاده در جدول‌های (۳) و (۴) ارائه شده است. همان‌طور که از جدول (۴) مشاهده می‌شود، زئولیت ترکیبی از اکسیدهای عناصری از جمله سیلیسیم، آلومینیوم، کلسیم، آهن، منگنز می‌باشد، که بیشترین

مقدار مربوط به اکسید سیلیسیم SiO<sub>۲</sub> می‌باشد. اکسید یون‌های آهن، آلومینیوم و منگنز در حذف و تثبیت عناصر کمیاب در خاک با اهمیت می‌باشند (۳).

### اثر اضافه کردن زئولیت بر خاک

#### شوری و pH خاک

اضافه کردن این نوع زئولیت به خاک به‌ویژه در سطح ۰/۵، سبب

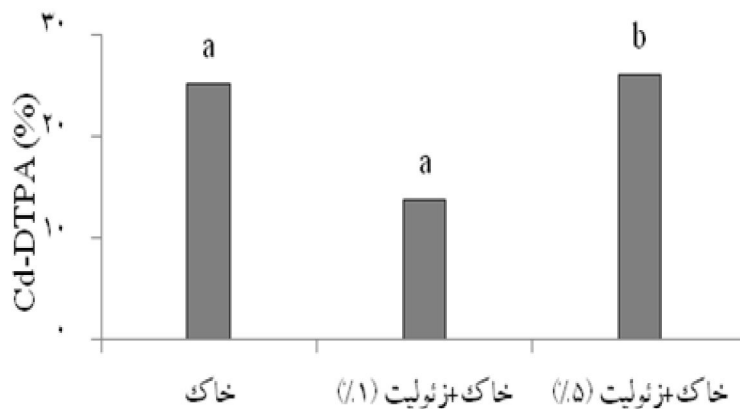
جدول ۵. تغییرات pH، شوری و غلظت کلر محلول خاک، ناشی از اضافه کردن زئولیت به خاک قبل از اعمال تیمارها

خاک	خاک + زئولیت (۰.۱٪)	خاک + زئولیت (۰.۵٪)	
۷/۹	۸/۱	۸/۲	pH
۱/۷	۲/۸	۵/۴	(dS/m) ECe
۷/۷	۱۴/۴	۶۲/۵	کلر (meq/L)

جدول ۶. نتایج تجزیه واریانس خاک تحت آبیاری با پساب بعد از برداشت گیاه

میانگین مربعات				
منبع تغییرات	درجه آزادی	کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA	کادمیم کل خاک	درصد کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA
تیمار	۴	۰/۵ <sup>ns</sup>	۰/۳ <sup>ns</sup>	۱۰۷/۸ <sup>**</sup>
خطا	۱۰	۰/۱۰	۰/۶	۹/۱
ضریب تغییرات (%)	-	۲۶/۸	۱۴/۶	۱۵/۳

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns: معنی دار نیست.



شکل ۱. مقایسه میانگین درصد کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA

(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف یکسان، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.)

عصاره‌گیری با DTPA معنی‌دار نبوده، اما بر درصد کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA اثر معنی‌داری مشاهده شد. مقایسه میانگین (شکل ۱)، نشان داد که تیمار ۰.۱٪ زئولیت، درصد کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA را به‌طور معنی‌داری ( $P < 0.05$ ) کاهش داده است. دو تیمار دیگر با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند و در گروه‌بندی LSD در یک گروه قرار داشتند.

افزایش شوری و یون کلر محلول خاک شد. همچنین مقادیر زئولیت در خاک، سبب افزایش اندکی در pH خاک نیز مشاهده شد (جدول ۵).

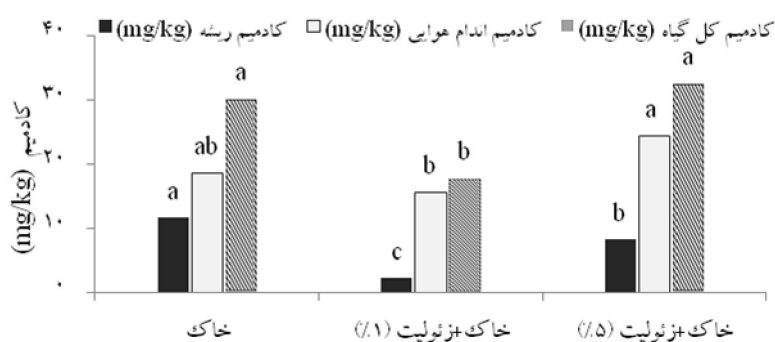
#### کادمیم خاک

نتیجه واریانس غلظت کادمیم خاک بعد از اعمال آبیاری (جدول ۶)، نشان داد که اثر تیمارها بر کادمیم کل و کادمیم قابل

جدول ۷. تجزیه واریانس غلظت کادمیم گیاه اسفناج

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		کادمیم اندام هوایی	کادمیم ریشه	کادمیم کل
تیمار	۲	۵۹/۷*	۶۸/۸**	۱۹۰/۲**
خطا	۶	۹/۱	۱/۳	۱۳/۱
ضریب تغییرات (%)	-	۱۵/۴	۱۵/۳	۱۳/۴

\*: معنی دار در سطح ۵ درصد، \*\*: معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد



شکل ۲. اثر مقادیر اضافه شده زئولیت به خاک، بر غلظت کادمیم در گیاه اسفناج

(در هر سری از ستون‌های هم‌رنگ، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف یکسان، تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند)

#### اثر تیمارهای زئولیت بر غلظت کادمیم گیاه

نتایج تجزیه واریانس غلظت کادمیم گیاه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر زئولیت در خاک، بر غلظت کادمیم اندام هوایی، ریشه و غلظت کادمیم کل در گیاه اثر معنی داری داشته است (جدول ۷).

مقایسه میانگین غلظت کادمیم در گیاه (شکل ۲) نشان داد که بیشترین غلظت کادمیم ریشه مربوط به تیمار شاهد بود و زئولیت سبب کاهش آن شده است. اما غلظت کادمیم اندام هوایی در تیمارهای زئولیت نسبت به شاهد، اختلاف معنی داری نداشت. همچنین مقایسه میانگین کادمیم کل در گیاه حاکی از کاهش معنی دار این مقدار در تیمار زئولیت با مقدار ۱٪ می‌باشد. تیمارهای شاهد و ۵٪ زئولیت از نظر کادمیم کل در گیاه تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند. براساس نتایج، کاربرد ۵۰ گرم زئولیت در کیلوگرم خاک، نه تنها جذب کادمیم توسط گیاه را کاهش نداد، بلکه بیشترین مقدار جذب در این تیمار مشاهده

شد، که البته با تیمار شاهد تفاوت معنی داری نداشت. این امر احتمالاً ناشی از شوری بالای این نوع زئولیت می‌باشد که همان‌طور که مشاهده شد این تیمار سبب افزایش قابل ملاحظه در شوری خاک و غلظت یون کلر محلول خاک شد (جدول ۵). نتایج آزمایش‌های بین‌قام و همکاران (۸) و نرول و همکاران (۲۱) نشان داد که شوری و یا یون کلر نقش مؤثری در افزایش حلالیت کادمیم خاک و جذب آن به وسیله گیاه دارد. همچنین بین‌قام و همکاران (۸) اظهار کرده‌اند که در خاک‌های شور، به دلایل بسیاری از جمله تشکیل کمپلکس‌های کادمیم و کلر و نیز تبادل سدیم با کادمیم در محل‌های جذب سطحی ذرات جامد خاک، حلالیت کادمیم و قابلیت جذب آن به وسیله گیاه افزایش می‌یابد. برخی محققان از جمله تمینقف و همکاران (۲۶) نیز گزارش کرده‌اند که کمپلکس‌های کلر و کادمیم ( $CdCl^{2-}_2$ ) به مقدار بسیار کمی بر روی ذرات خاک و رس‌ها جذب می‌شوند. بنابراین کمپلکس‌های مذکور در محلول خاک

جدول ۸. نتیجه تجزیه واریانس آبیاری و جاذب بر وزن تر و خشک اندام هوایی

وزن خشک		وزن تر		منبع تغییر
میانگین مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه آزادی	
۳/۹ *	۱	۶۴۴/۱**	۱	اثر آبیاری (A)
۱/۵ <sup>ns</sup>	۲	۲۵۷/۳**	۲	جاذب (B)
۰/۴ <sup>ns</sup>	۲	۵۳/۶ <sup>ns</sup>	۲	اثر متقابل (A×B)
۰/۵	۲۰	۱۹/۶	۱۲	خطا
۹/۵	-	۶/۹	-	ضریب تغییرات (/.)

\*, \*\* و ns: به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد، ۱ درصد و غیرمعنی دار

می‌گردد که ممکن است با افزایش پ-هاش افزایش یابد (۱۷). کلینوپتیلولایت اغلب با جذب فلزات، شکل‌های تبادلی و کربناته را محدود می‌کند (۳۰). مطابق نظر چن و همکاران (۱۱) استفاده از اصلاح‌کننده‌های شیمیایی سمیت فلزات سنگین را کاهش می‌دهد و آثار مفیدی بر رشد گیاه دارد. در مطالعه کاستالیدی و همکاران (۹) زئولیت افزوده شده به خاک آلوده با کاهش مقدار قابل دسترس کادمیم برای گیاه، جذب کادمیم توسط گیاه را کاهش داد.

مقدار معمول کادمیم در گیاهان را ۰/۲ تا ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام کرده‌اند (۲۵). در تمام تیمارهای مورد مطالعه، غلظت کادمیم اسفناج بیش از حد معمول آن بود که با نتایج مطالعه عزیزیان و همکاران (۲) مطابقت داشت. این مسأله با توجه به مشاهده نشدن آثار سمیت ظاهری جذب کادمیم، اهمیت توجه به خطر مصرف اسفناج آبیاری شده با پساب حاوی کادمیم را نشان می‌دهد.

#### اثر پساب و زئولیت بر عملکرد گیاه اسفناج

نتیجه تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان می‌دهد که تنها اثر نوع آب مورد استفاده بر عملکرد خشک اثرگذار بوده است. همچنین اثر نوع آب آبیاری و جاذب‌ها بر وزن تر اندام هوایی اسفناج معنی دار بود، اما اثر متقابل آنها معنی دار نبود. آبیاری با پساب، وزن تر و خشک اندام هوایی را کاهش داد (جدول ۹). در بین تیمارهای مورد بررسی، بیشترین مقدار وزن تر در تیمار

باقی مانده و قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه را افزایش خواهند داد.

تیمار ۱٪ زئولیت باعث افزایش کمتری در غلظت کلر محلول خاک نسبت به ۵٪ زئولیت شده بود (جدول ۵) و همان‌گونه که مشاهده شد این تیمار سبب کاهش غلظت کادمیم در گیاه شد (شکل ۲). که احتمالاً دیگر ویژگی‌های زئولیت مانند خاصیت تبادل کاتیونی و سطح ویژه بالا در این تیمار بر افزایش شوری خاک، غالب بوده و سبب کاهش کادمیم قابل دسترس گیاه و در نتیجه کاهش جذب در گیاه شده است. کاهش درصد کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در تیمار ۱٪ زئولیت (شکل ۱) نشان می‌دهد که در این تیمار مقدار کادمیم قابل دسترس و قابل جذب برای گیاه کمتر بوده که در نتیجه مقدار جذب نیز کاهش یافته است. چن و همکاران (۱۱) یکی از دلایل کاهش جذب کادمیم توسط گیاه در حضور زئولیت در خاک را کاهش مقدار کادمیم قابل استخراج در خاک دانسته‌اند. کائو (۱۰) اظهار داشته است که ساختمان زئولیت یا دیگر ترکیبات با حلالیت کم و تبدیل فلزات از فرم قابل تبادلی (یا قابل دسترس) به فرم غیرقابل دسترس، فرآیند اصلی تثبیت‌سازی فلزات می‌باشد. به‌طورکلی، افزایش بخش رسوبی فلزات سنگین به‌واسطه تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک، احتمالاً به دلیل شکل‌گیری پیوندهای قوی بین فلزات و سطح جذب اصلاح‌کننده‌ها از جمله زئولیت، می‌باشد. تثبیت فلزات سنگین به‌واسطه فرایندهای تبادل یونی و کمپلکس شدن با سطح انجام

جدول ۹. مقایسه میانگین‌های اثر آبیاری بر عملکرد وزن تر اندام هوایی

وزن خشک (g/pot)	وزن تر (g/pot)	نوع آبیاری
۶/۹۸ <sup>b</sup>	۵۷/۸۱ <sup>b</sup>	بعد از آبیاری با پساب
۷/۹۲ <sup>a</sup>	۶۹/۷۸ <sup>a</sup>	بعد از آبیاری با آب

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف یکسان، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین‌های اثر جاذب بر عملکرد محصول تر

عملکرد محصول	نوع جاذب
۶۰/۷ <sup>b</sup>	شاهد
۷۱/۳۲ <sup>a</sup>	خاک+زئولیت (۱٪)
۵۹/۳۶ <sup>b</sup>	خاک+زئولیت (۵٪)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف یکسان، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

اضافه کردن ورمیکولایت به خاک، به شدت انتقال فلزات سمی به کشت کاهو و اسفناج کاهش یافت.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشاهده شد که اضافه کردن مقدار ۱٪ زئولیت در خاک تیمار شده با پساب، با کاهش درصد کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA، سبب کاهش غلظت کادمیم در گیاه اسفناج شد. بیشترین عملکرد گیاه نیز در این تیمار مشاهده شد. اما مقدار بیشتر این نوع زئولیت (۵٪) به دلیل افزایش شوری خاک، سبب افزایش اندکی در غلظت کادمیم گیاه شد. همچنین از آنجا که پساب مورد استفاده حاوی کادمیم بود، عملکرد گیاه را نسبت به آب آشامیدنی کاهش داد. در استفاده از مواد اصلاح کننده در تثبیت‌سازی فلزات در خاک، باید به خصوصیات آنها، مخصوصاً مقدار شوری توجه شود.

۱٪ زئولیت مشاهده شد، که به‌طور معنی‌داری ( $P < 0/05$ ) از دیگر تیمارها که همگی در گروه‌بندی LSD در یک گروه قرار داشتند، بیشتر بود (جدول ۱۰). در تحقیق آیسسیک و همکاران (۷) اضافه کردن کادمیم در آب آبیاری سبب کاهش وزن خشک گیاهچه‌های آفتابگردان در هفته سوم رشد گردید. در تحقیق عزیزیان و همکاران (۲) بین صفات رشد کاهو، وزن خشک شاخسار و سپس ارتفاع بوته حساس‌ترین صفات نسبت به کادمیم آب آبیاری بودند. استفاده از پساب کارخانه‌های رب و کمپوت و کارخانه نساجی مشهد در آبیاری گیاهان گوجه فرنگی و خیار، به دلیل مواد غذایی ناچیز در پساب، اثر معنی‌داری بر افزایش عملکرد دو محصول نداشتند (۱). رهاکوا و همکاران (۲۲) نشان دادند که رشد گیاهان زراعی در خاک‌های آلوده با افزودن زئولیت افزایش می‌یابد. آنها اظهار داشتند که بهبود رشد با افزایش زئولیت، احتمالاً به دلیل افزایش در دسترس بودن مواد مغذی از جمله K، Mg، Ca و  $NH_4$  یا کاهش سمیت کادمیم می‌باشد. مالاندینو و همکاران (۲۰) مشاهده کردند که در یک خاک آلوده در منطقه‌ای در ایتالیا با



## منابع مورد استفاده

۱. ذوالفقاران، ا. ۱۳۸۶. اثر پساب صنعتی بر تجمع عناصر سنگین خاک و محصولات گوجه‌فرنگی و خیار. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۶ تا ۱۸ بهمن، کرمان.
۲. عزیزیان، ا.، س.، امین. م. مفتون. م. نوشادی. ۱۳۸۷. واکنش کاهو به سطوح کادمیم و دوره‌های مختلف آب آبیاری. دومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ۲۸ اردیبهشت تا ۱ خرداد، تهران.
۳. کدخدائی. م. ۱۳۸۵. بررسی اثر پساب کارخانه ذوب آهن اصفهان روی برخی خصوصیات خاک‌های تحت کشت چند گونه درختی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. هودجی. م.، ا. جلالیان. ۱۳۸۳. پراکنش نیکل، منگنز و کادمیم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه، علوم فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۳): ۵۵-۶۶.
5. Ansari Mahabadi, A., M. A. Hajabbasi, H. Khademi, H. Kazemian. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite, *Geoderma* 137: 388-393.
6. Azimi. A. A., T. Navab Daneshmand., A. Pardakhti. 2006. Cadmium absorption and accumulation in different parts of kidney beans, radishes and pumpkins. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 3(2): 177-184.
7. Aycicek, M., O. Kaplan., M. Yaman. 2008. Effect of Cadmium on Germination, Seedling Growth and Metal Contents of Sunflower (*Helianthus annuus* L.), *Asian J. Chem.* 20(4): 2663-2672.
8. Bingham, F. T., G.Sposito., J. E. Strong. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. *J. Environ. Qual.* 13: 71-74.
9. Castaldi, P., L. Santona, P. Melis. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth, *Chemosphere* 60(3): 365-371.
10. Cao R. X., L. Q. Ma, M. Chen., S. P. Singh. W. G. Harris. 2003. Phosphate-induced metal immobilization in a contaminated site. *Environ. Pollut.* 122: 19-28.
11. Chen. Z. S., J. G. Lee. J. C. Liu. 2000. The effects of chemical remediation treatments on the extractability and speciation of cadmium and lead in contaminated soils. *Chemosphere* 41(1-2): 235-242.
12. Christoforidis, A. , N. Stamatis. 2009. Heavy metal contamination in street dust and roadside soil along the major national road in Kavallas region, Greece. *Geoderma* 151: 257-263.
13. Cui. Y. J., Y. G. Zhu., R. H. Zhai. D. Y. Chen, Y. Z. Huang, Y. Qiu, J. Z. Liang. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. *Environ. Int.* 30: 785-791.
14. Gupta, S., S. Satpati, S. Nayek, D. Garai. 2010. Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. *Environ. Monit Assess.* 165: 169-177.
15. Kabata-Pendias, A., H. Pendias. 2001. Trace elements in soils and plants. Third Ed. CRC Press, Boca raton, London, 413 P.
16. Lee, T. M., H. Y. Lai, Z. S. Chen. 2004. Effect of chemical amendments on the concentration of cadmium and lead in long-term contaminated soils. *Chemosphere* 57: 1459-1471.
17. Lin, D. and Q. Zhou. 2009. Effects of soil amendments on the extractability and speciation of Cadmium, Lead and Copper in a Contaminated Soil. *Bull Environ Contam Toxicol.* 83: 136-140.
18. Lindsay. W., J. Zhao, Z. Ouyang, L. Soderlund, G. Liu. 2005. Impact of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, china. *Environ. Int.*, 31: 805-812.
19. Lokeshwari. H., G. T. Chandrappa. 2006. Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation. *Current Science* 5: 622-627.
20. Malandrino, M., O. Abollino, S. Buoso, A. Giacomino., C. L. Gioia, E. Mentasti. 2011. Accumulation of heavy metals from contaminated soil to plants and evaluation of soil remediation by vermiculite. *Chemosphere* 82: 169-178.
21. Norvell, W. A., j. Wu, D. G. Hopkins and R. M. Welch. 2000. Association of cadmium in durum wheat grain with soil chloride and chelate-extractable soil cadmium. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64: 2162-2168.
22. Rehakova. M., S. Cuvanova, M. Dzivak, J. Rimarz Gavalova. 2004. Agricultural and agrochemical uses of natural zeolite of the clinoptilolite type. *Curr. Opin. Solid ST. M.* 8: 397-404.
23. Satoa, A., H. Takeda, W. Oyanagi, E. Nishihara, M. Murakami. 2010. Reduction of cadmium uptake in spinach (*Spinacia oleracea* L.) by soil amendment with animal waste compost. *J. Hazard. Mater.* 181: 298-304

24. Sanita di Toppi, L., R. Gabrielli. 1999. Response to cadmium in higher plant. *J. Env. Environ. Exp. Bot.* 41(2): 105-130.
25. Sillanpa, M., H. Jansson. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plant of thirty countries. *FAO Soils Bulletin* 65, Rome, Italy.
26. Temminghof, E. J. M., S. E. A. T. M. Van Der Zee. F. A. M. De Haan. 1995. Speciation and calcium competition effects on cadmium sorption by a sandy soil at varioua pHs. *J. soil Sci.* 46: 649-655.
27. Thuvander, A., A. Oskarsson. 1998. Adverse health effects due to soil and water acidification. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm.
28. Waalkes M. P. 2000. Cadmium carcinogenesis in review. *J. Inorg. Chem.* 79: 241-244
29. Waisberg. M., P. Joseph, B. Hale, D. Beyersmann. 2003. Molecular and cellular mechanisms of cadmium carcinogenesis. *Toxicology* 192: 95-117.
30. Zorpas, A. A., T. Constantinides, A. G Vlyssides, I. Haralambous. M. Loizidou. 2000. Heavy metal uptake by natural zeolite and metals partitioning in sewage sludge compost". *Bioresource Technol.* 72: 113-119.

## Effect of Zeolite on Cadmium Uptake By Spinach (*Spinacia Oleares L.*) in Wastewater Irrigation

R. Mollaei<sup>1</sup>, J. Abedi Koupai<sup>1</sup> and S. S. Eslamian<sup>1</sup>

(Received: April 03-2011 ; Accepted : Nov. 29-2015)

### Abstract

Water scarcity forced farmers to use wastewater as water source, without considering its effects on environment and resultant contamination of soils and plants especially with heavy metals. The objectives of this study are to evaluate the application effects of zeolite as soil amendments on the uptake of Cd by spinach (*Spinacia Oleares L.*) irrigated with wastewater (containing 10 ppm Cd). Different levels amounts of zeolite (0, 1% and 5% w/w) were added to the soil and the experiment was conducted as a completely randomized design in a green house with 3 replications. The results indicated that, the addition of zeolite 1% (w/w) in soil treated with wastewater reduced cadmium concentration in plant, and consequently the percentage of extractable Cd using DTPA was decreased. However, application of zeolite 5% (w/w) increased the soil salinity, and as a result increased Cd concentration in the plant but this increase was not statistically significant, comparing with control. Spinach biomass did not differ significantly under irrigation with wastewater, but the Cd available in wastewater caused a decrease in Spinach biomass yield.

**Keywords:** Cadmium, Spinach, Wastewater, Zeolite.

---

1. Dept. of Water Eng., College of Agric., Isf. Univ. of Technol., Isfahan Iran.

\*: Corresponding Author, Email: Koupai@cc.iut.ac.ir