بررسی اثر کود دامی و زئولیت بر مقدار جذب کادمیوم و محتوای کلروفیل گیاه ماش (*Vigna radiate* L.)

Effects of manure and zeolite on heavy metal (cadmium) adsorption and chlorophyll content of mungbean (*Vigna radiate* L.)

نادر رحیمی[۱*]، حسینعلی شیبانی[۱] و پورنگ کسرایی[۱]

۱- گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین– پیشوا، ورامین– ایران.

نویسنده مسوول مکاتبات: dr sheybani@iauvaramin.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۷

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کود دامی و زئولیت بر مقدار جذب کادمیوم و محتوای کلروفیل گیاه ماش، آزمایشی در ورامین در سال زراعی ۱۳۹۲ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارها شامل سطوح مختلف زئولیت در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار) و سطوح مختلف کود دامی در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) بودند. نتایج نشان داد که کود دامی و زئولیت بر محتوی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، ضریب جذب، محتوی کادمیوم اندام هوایی، ریشه و دانه تأثیر معنی‌داری داشتند اما تأثیر آن‌ها بر ضریب انتقال کادمیوم معنی‌دار نبود. اثر متقابل کود دامی و زئولیت نیز بر محتوی کلروفیل a و کلروفیل کل معنی‌دار بود و بیش‌ترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل از تیمارهای ۲۰ تن زئولیت و ۴۰ تن کود دامی در هکتار به‌ترتیب با میانگین‌های ۱/۳۱ و ۲/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کم‌ترین مقدار این صفات از تیمار شاهد (عدم کاربرد کود دامی و زئولیت) با میانگین‌های ۰/۸۰۴ و ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ حاصل شد. به‌طورکلی می‌توان گفت کاربرد کود دامی و زئولیت بر افزایش محتوای کلروفیل و کاهش جذب کادمیوم تأثیر معنی‌داری داشت.

واژگان کلیدی: ماش، کود دامی، زئولیت، کادمیوم، کلروفیل.

مقدمه

آلودگی خاک با فلزات سنگین یکی از مشکلات زیست محیطی عمده در جوامع بشری است که علاوه بر اثرات زیان‌بار بر جوامع گیاهی و جانوری خاک و آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی از طریق آبشویی، موجب کاهش عملکرد و کیفیت محصول و در نهایت به خطر افتادن سلامتی افراد جامعه و دیگر موجودات زنده می‌شود (Nabizadeh *et al*., 2005). اگرچه فلزات سنگین می‌توانند به‌طور طبیعی و از طریق هوادیدگی سنگ‌ها و کانی‌ها و طی فرآیند خاک‌سازی در خاک تجمع یابند، اما این منبع طبیعی در مقایسه با فعالیت‌های انسان مانند احداث کارخانجات صنعتی، استخراج معادن، استفاده از آب‌های آلوده و پساب‌های صنعتی در کشاورزی، استفاده از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی و لجن فاضلاب دارای اهمیت کمی می‌باشد. ازطرفی مطالعه خاک‌های جهان نشان می‌دهد سطح خاک‌های شور و سدیمی به‌ترتیب ۳۹۷/۱ و ۴۳۴/۳ میلیون هکتار می‌باشد. در این میان سهم هر یک از اراضی تحت آبیاری و اراضی کشاورزی دیم به‌ترتیب ۲۰ و دو درصد می‌باشد. از آن‌جائی‌که پراکندگی اراضی مشکل‌دار و شور در مناطق خشک و نیمه‌خشک با منابع محدود آب، به نحو فعالیت انسان در این مناطق بستگی دارد، استفاده از پساب‌ها و فاضلاب‌های شهری و صنعتی در این مناطق اجتناب ناپذیر به‌نظر می‌رسد. با مصرف این منابع آبی نامتعارف در کشاورزی می‌توان سطح زیرکشت را افزایش داد. از طرف دیگر، این منابع آبی به انواع آلاینده‌های شیمیایی آلوده هستند. بنابراین با استفاده مجدد و هرچه بیش‌تر از این منابع در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آلودگی محیط زیست و محصولات کشاورزی به انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین افزایش می‌یابد (Khoshgoftar *et al*., 2004).

عمده‌ترین منبع آلودگی خاک و محیط زیست به فلزات سنگین از فعالیت‌های صنعتی نظیر معادن، ذوب فلزات، آبکاری‌ها، نیروگاه‌ها، وسایل نقلیه موتوری، ایستگاه‌های نگهداری و عرضه بنزین، محل‌های تولید و مصرف کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، استفاده از پساب و لجن فاضلاب در کشاورزی و مکان‌های دفن زباله به‌ویژه ضایعات صنعتی است (Nabizadeh *et al*., 2005).

حلالیت فلزات سنگین در خاک به ظرفیت تبادل کاتیونی یا آنیونی، میزان مواد آلی، pH، شوری، درجه حرارت و میزان رطوبت بستگی دارد. تنها فلزاتی که محلول هستند، قابلیت جذب توسط گیاهان را دارند (Khoshgoftar *et al*., 2004). کارآیی گیاه جاذب در پالایش خاک بستگی به دو عامل زیست توده تولیدی و غلظت فلز در زیست توده دارد. بنابراین می‌توان با اعمال تیمارهای مناسب و مدیریت زراعی خوب تولید زیست توده و زیست فراهمی فلز در خاک و جذب آن توسط گیاه تجمع‌کننده را افزایش داد (Kayser *et al*., 2000).

کادمیوم از سمی‌ترین عناصری است که به‌دلیل استفاده از کودهای فسفره با ناخالصی کادمیوم و یا لجن فاضلاب‌ها، در راستای مدیریت زراعی اراضی کشاورزی گسترش وسیعی دارد. جذب کادمیوم توسط گیاهان، مسیر این عنصر سمی را برای ورود به چرخه غذایی سایر موجودات و خصوصا انسان هموار می‌کند. استفاده از کود آلی یکی از مهم‌ترین راه‌های حفظ کربن خاک است و راهکاری مناسب برای بازیافت طبیعی مواد و عناصر در اکوسیستم‌های کشاورزی و تامین غذای سالم می‌باشد (آجودانزاده، ۱۳۸۴).

کودهای آلی منشای گیاهی یا حیوانی دارند و یا مخلوطی از این دو هستند. کود دامی از منابع ارزشمند زیستی به‌حساب می‌آید؛ زیرا دام‌ها قادر به جذب تمام مواد غذایی علوفه نیستند و معمولا ۷۵ تا ۹۰ درصد عناصر غذایی مهمی که در علوفه و غذای دام وجوددارد از طریق فضولات دفع می‌شود که میزان بازیافت این عناصر به داخل خاک و دسترسی برای محصول زراعی به چگونگی نگهداری و فراوری کوددامی بستگی دارد (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۴). کود دامی ماده غیریکنواختی است و مقدار عناصر غذایی آن نیز به نوع دام، سن دام، ماهیت علوفه، روش جمع‌آوری کود و مدت زمان نگهداری آن بستگی دارد (جامی الحمدی و همکاران، ۱۳۸۵). تقریبا تمامی عناصر مورد نیاز گیاهان به نسبت‌های

متغییر در کود دامی موجود است (Kolay, 2007). تحقیق بلووز و همکاران (Blowes *et al*., 2000) نشان داد که یک حامل کمپوست، غلظت کادمیوم را به زیر حد تشخیص دستگاه می‌رساند.

در مطالعه‌ای چوکالینگام و سابرامانیان (Chockalingam and Subramanian, 2006) اعلام داشتند که موادآلی به‌دلیل داشتن خصوصیاتی مانند ساختمان دانه‌ای، پایداری شیمیایی، قدرت مکانیکی بالا و قابل دسترس بودن، توانایی جذب آلاینده‌ها را دارد. الیویرا و همکاران (Oliveira *et al*., 2005) بیان نمودند که فلزات سنگین به‌دلیل اثرات متقابل قوی با مکان‌های فعال جاذب، جذب می‌شوند. زئولیت از جمله کانی‌های ارزان قیمت و با ظرفیت جذب زیاد به‌شمار می‌رود. عواملی نظیر ساختمان، بافت و ترکیب شیمیایی این کانی‌ها، از آن‌ها منابع بالقوه‌ای در زمینه‌های گوناگون ساخته است (کاظمیان و فقیهیان، ۱۳۷۷). زئولیت طبیعی به منزله جاذب انواع آلاینده‌ها و به‌حضور گسترده آن در طبیعت حائز اهمیت است (Kumpiene *et al*., 2008). ظرفیت تبادل کاتیونی زئولیت‌ها دو تا سه برابر ظرفیت تبادلی اسمکایت‌ها است. بسته به نوع زئولیت ظرفیت تبادل کاتیونی بین ۰/۶ تا ۲/۳ میلی‌اکی والان بر گرم گزارش شد (Wang and Peng, 2010). بررسی‌های انجام شده در مطالعه نقش زئولیت در کاهش تجمع عناصر سنگین به‌ویژه سرب نشان داد که اگرچه واکنش گیاهان به تجمع سرب در حضور زئولیت متفاوت است با این وجود در اغلب موارد زئولیت میزان جذب عناصر سنگین را کاهش داد. سانی و همکاران (Sani *et al*., 2010) در تحقیقی روی گندم نشان دادند که با کاربرد زئولیت میزان تجمع سرب در گیاه کاهش‌یافت.

مطالعات نشان داد که زئولیت جذب کادمیوم ریشه را تحت تاثیر قرار می‌دهد به‌طوری‌که این تغییرات حتی بین سطوح مختلف زئولیت نیز معنی‌دار است. گیاهانی که تحت تیمار ۱۰ درصد زئولیت قرارگرفتند کم‌ترین میزان جذب کادمیوم را داشتند. افزایش زئولیت از ۱۰ به ۱۵ درصد باعث افزایش میزان کادمیوم در تیمار شاهد شد. به‌نظر می‌رسد افزایش بیش از نیاز زئولیت در محیط ریشه به‌دلیل محتوای اندک عناصر سنگین ممکن است به افزایش نسبی این عناصر نسبت به سطوح پائین‌تر منجر شود (ابوالحسنی و همکاران، ۱۳۹۲).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۲ در گلخانه آموزشی – پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل: سطوح مختلف زئولیت در سه سطح (۱- عدم کاربرد زئولیت به‌عنوان شاهد، ۲- کاربرد ۱۰ تن زئولیت در هکتار و ۳- کاربرد ۲۰ تن زئولیت در هکتار) و سطوح مختلف کود دامی در سه سطح (۱- عدم کاربرد کود دامی به عنوان شاهد ۲- کاربرد ۲۰ تن کود دامی در هکتار و ۳-کاربرد ۴۰ تن کود دامی در هکتار) بودند. قبل از اجرای آزمایش از خاک محل آزمایش نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری گردید. بافت خاک به‌روش هیدرومتر بایکاس، pH و EC به‌روش عصاره گل اشباع و به‌وسیله دستگاه pH متر و EC متر، ماده آلی و نیترژن کل خاک به‌روش کجلدال، فسفر به‌روش اولسن و پتاسیم به‌روش فیلم فتومتری اندازه‌گیری گردید. قبل از کاشت در خاک هر گلدان مقدار ۸۰ پی پی ام کلروکادمیوم اضافه و با خاک به‌طور کامل مخلوط شد. با توجه به نقشه طرح مقادیر مورد نیاز کود دامی و زئولیت به خاک گلدان‌ها اضافه و به‌طور کامل با خاک گلدان مخلوط گردید. بذر ماش از مرکز تحقیقات حبوبات کشور واقع در موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر و نهال کرج تهیه و در هر گلدان پنج کیلوگرمی ۱۰ عدد بذر ماش کشت شد. پس از استقرار بوته‌ها، تراکم به سه عدد در گلدان رسید. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام گرفت. اندازه‌گیری صفات به‌طور تصادفی از بوته‌های داخل هر گلدان یادداشت‌برداری شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1. Soil physical and chemical properties

بافت	اسیدیته	پتاسیم	فسفر	نیتروژن	کربن آلی	شوری
Texture	pH	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	O.C (%)	EC
لومی شنی Sandy loam	7.23	189	84	0.315	0.68	2.61

به‌منظور اندازه‌گیری کادمیوم در ماش، وقتی گیاه به دوره رشد کامل رسید، نمونه‌برداری از بوته‌ها انجام شد. میزان کادمیوم در برگ، ساقه، ریشه و دانه: نمونه‌های گیاهی سوزانده شد و میزان غلظت کادمیوم در نمونه با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید (Bingham *et al* ., 1984).

میزان ضریب جذب: عبارت است از میزان کادمیوم در ریشه بر میزان کادمیوم در خاک، میزان ضریب انتقال: عبارت است از میزان کادمیوم در اندام هوایی بر میزان کادمیوم در ریشه، اندازه‌گیری کلروفیل a و b توسط دستگاه اسپکتوفتومتر انجام شد (Arnon, 1949).

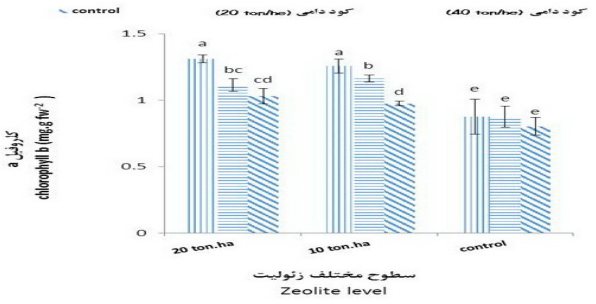
برای تجزیه آماری داده‌های آزمایش، از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها در سطح احتمال پنج درصد و با آزمون ال اس دی انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

کلروفیل a

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای زئولیت و کود دامی بر کلروفیل a در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل زئولیت و کود دامی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول دو). نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین میزان کلروفیل a با میانگین ۱/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار ۲۰ تن زئولیت و ۴۰ تن کود دامی در هکتار به‌دست آمد که با تیمار ۱۰ تن زئولیت و مصرف ۴۰ تن کود دامی اختلاف آماری نداشت، و هر دو در گروه آماری a جای گرفتند. کم‌ترین میزان کلروفیل a نیز با میانگین ۱/۳۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ مربوط به تیمار شاهد بود (شکل یک).

به‌نظر می‌رسد عناصر غذایی موجود در کود دامی و زئولیت از طریق فراهمی بیشتر و طولانی مدت رطوبت و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه سبب افزایش کلروفیل می‌شود. محققان اعلان کردند که بیش‌ترین مقدار کلروفیل در بین سطوح مختلف موادجاذب، مربوط به‌تیمار مصرف (۱۵ تن کود دامی + ۴ تن زئولیت در هکتار) بود (فرمهینی و همکاران، ۱۳۹۰). بدیهی است کود دامی با افزایش جذب مواد آلی برای گیاه و همچنین افزایش میزان رطوبت و جذب بیش‌تر آب سبب افزایش کلروفیل a در گیاه ماش گردید.



شکل ۱- اثر متقابل کود دامی × زئولیت بر کلروفیل a
Fig 1. Means of interactions between zeolite × manure for chlorophyll a

جدول ۲- تجزیه واریانس کلروفیل ماش در تیمارهای زئولیت و کود دامی

Table 2. Analysis of variance chlorophyll of mungbean at zeolite and manure treatments

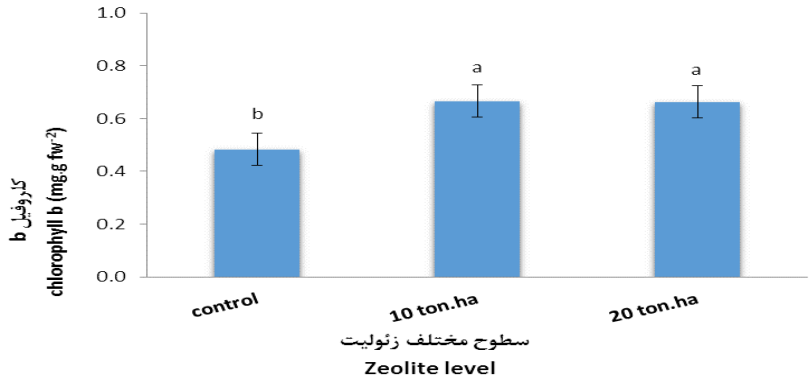
S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
Zeolite (A)	زئولیت	2	0.254**	0.098**	0.667**
Manure (B)	کود دامی	2	0.101**	0.051**	0.294**
A*B	اثر متقابل	4	0.014*	0.004ns	0.033*
Error	اشتباه	18	0.004	0.0017	0.013
(CV) (٪)	ضریب تغییرات (٪)		6.24	6.96	7.17

ns عدم تفاوت معنی‌دار و * در سطح پنج و ** در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

Ns, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively.

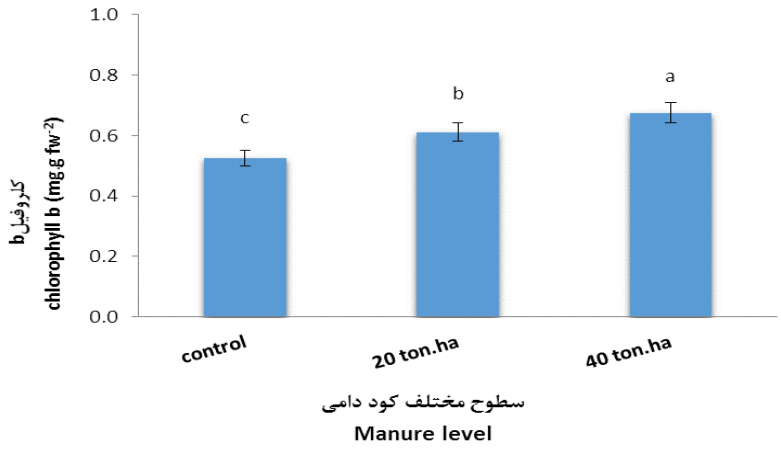
کلروفیل b

برطبق نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده تیمارهای زئولیت و کود دامی بر کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما کلروفیل b تحت تأثیر اثر متقابل زئولیت و کود دامی قرارنگرفت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول دو). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در بین سطوح زئولیت بیش‌ترین و کم‌ترین کلروفیل b در تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار و شاهد به‌ترتیب با میانگین ۰/۶۶ و ۴۶ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل دو). بین تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار و تیمار ۲۰ تن زئولیت در هکتار (با میانگین ۰/۶۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ) اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و افزایش سطح زئولیت از ۱۰ به ۲۰ تن در هکتار، سبب افزایش در کلروفیل b نگردید (شکل دو). نتایج نشان داد کاربرد کود دامی منجر به افزایش کلروفیل b شد و بین سطوح کود دامی نیز اختلاف معنی‌داری وجود داشت و با افزایش کود دامی از ۲۰ تن به ۴۰ تن در هکتار، کلروفیل b افزایش یافت، بیش‌ترین محتوی کلروفیل b از تیمار ۴۰ تن در هکتار با میانگین ۰/۶۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ و کم‌ترین میزان کلروفیل b نیز از تیمار عدم کاربرد کود دامی (شاهد) با میانگین ۰/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ به‌دست آمد (شکل سه).



شکل ۲- اثر سطوح مختلف زئولیت بر کلروفیل b

Fig 2. Effect of different level of zeolite on chlorophyll b



شکل ۳- اثر سطوح مختلف کود دامی بر کلروفیل b

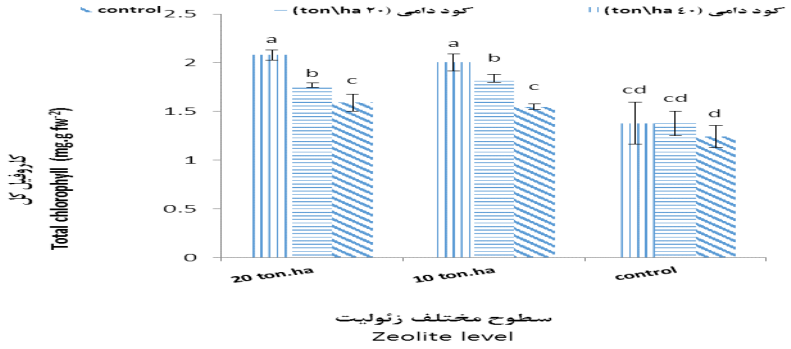
Fig 3. Effect of different level of manure on chlorophyll b

کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای زئولیت و کود دامی بر کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل زئولیت و کود دامی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول دو).

مقایسه میانگین اثرات متقابل نشان داد که بیش‌ترین کلروفیل کل با میانگین ۲/۰۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ از تیمار مصرف ۲۰ تن زئولیت و ۴۰ تن کود دامی در هکتار به دست آمد که با تیمار ۱۰ تن زئولیت و مصرف ۴۰ تن کود دامی اختلاف معنی‌داری از نظر آماری نداشت و هر دو در یک کلاس آماری جای گرفتند و کم‌ترین کلروفیل کل نیز مربوط به تیمار شاهد با میانگین ۱/۲۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ بود (شکل چهار).

محتوای کلروفیل برگ‌ها یکی از عوامل کلیدی در تعیین سرعت فتوسنتز و تولید ماده خشک است. افزایش کلروفیل برگ‌ها بر اثر مصرف کود دامی را می‌توان به فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نسبت داد، به‌دلیل این‌که چهار اتم نیتروژن در ساختمان هر ملکول کلروفیل شرکت دارند، کاربرد کود دامی سبب افزایش فراهمی نیتروژن شد و به‌تبع آن سبب افزایش کلروفیل برگ‌ها گردید. در آزمایشی قوش و همکاران (ghoosh *et al.*, 2004) افزایش محتوای کلروفیل گیاه را در نتیجه استفاده از کود دامی گزارش کردند که با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۴- اثر متقابل کود دامی × زئولیت بر کلروفیل کل

Fig 4. Means of interactions between zeolite × manure total chlorophyll

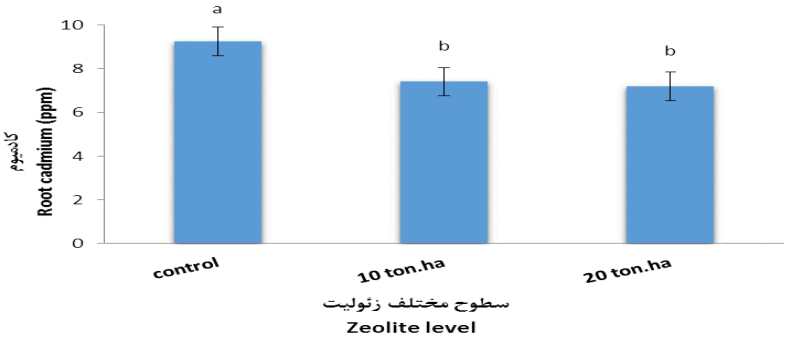
محتوای کادمیوم ریشه

نتایج تجریه واریانس نشان داد که اثرات ساده تیمارهای زئولیت و کود دامی بر کادمیوم ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد؛ اما اثر متقابل زئولیت و کود دامی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول سه). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که زئولیت سبب کاهش جذب کادمیوم ریشه شد. در بین سطوح زئولیت بیش‌ترین و کم‌ترین کادمیوم ریشه در تیمار شاهد و ۲۰ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب با میانگین ۹/۲۵ و ۷/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (ppm) به‌دست آمد و تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار با میانگین ۷/۴۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با سطح بالاتر زئولیت نداشت (شکل پنج).

در نتایج مطالعه‌ای نشان داد که غلظت فلزات در ریشه گیاهانی که در ضایعات معدنی تیمار شده با زئولیت رشد کردند، تفاوت معنی‌داری با شاهد (بدون فلزات سنگین) نداشت و زئولیت باعث عدم جذب سرب گردید (Mohammadi Sani *et al*., 2011). در تحقیقی دیگر کاربرد ۱۵ درصد زئولیت موجب کاهش به‌ترتیب ۹۱ ،۹۳، ۹۸ و ۹۷ درصد کادمیوم شسته شده در خاک‌های رسی، شنی، شن لومی و لومی شد (Ansari Mahabadi *et al*., 2007).

چیانگ و همکاران (Chiang *et al*., 2007) با بررسی ترکیبات مختلف برای افزایش تثبیت فلزات سنگین بیان نمودند، زئولیت به‌دلیل داشتن ظرفیت تبادل یونی و خاصیت قلیایی بالا به‌طور قابل توجهی میزان سرب قابل عصاره‌گیری با DTPA و در نتیجه سرب قابل استفاده برای گیاه موجود در لجن فاضلاب را کاهش می‌دهد. انصاری مهابادی و همکاران (Ansari Mahabadi *et al*., 2007) با بررسی اثر زئولیت طبیعی از نوع کلینوپتیلولیت بر تثبیت کادمیوم در خاکی آلوده دریافتند که کاربرد زئولیت در خاک، شستشوی کادمیوم خاک را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد کاربرد زئولیت در خاک‌های با بافت مختلف موجب افزایش pH خاک گردید. این محققان دلایل تثبیت فلزات سنگین توسط زئولیت را ظرفیت تبادل کاتیونی بالای مخلوط خاک-زئولیت و سطوح pH بالاتر بیان کردند. پژوهشگران با مطالعه تحرک و قابلیت دسترسی کادمیوم جذب شده بر زئولیت دریافتند که واجذبی کادمیوم از سطح زئولیت کم‌تر بود، این امر نشان دهنده‌ی توانایی بالای زئولیت در تثبیت این عنصر است. واجذبی کادمیوم از زئولیت فرایندی کند است، بنابراین زئولیت پتانسیل بالایی برای تثبیت کادمیوم در مکان‌های آلوده به این فلز را دارد (Hamidpour *et al*., 2010). اردم و همکاران (Erdem *et al*., 2004) بیان نمودند پدیده جذب فلزات سنگین در کلینوپتیلولیت به تراکم بار و قطر یون هیدراته بستگی دارد و زئولیت طبیعی پتانسیل بالایی برای برداشت گونه‌های کاتیونی فلزات سنگین از فاضلاب صنعتی دارد. همچنین کاربرد کود دامی نیز سبب کاهش جذب کادمیوم ریشه شد. کم‌ترین جذب کادمیوم در تیمار ۴۰ تن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین کادمیوم ریشه نیز مربوط به تیمار عدم کاربرد کود دامی (شاهد) بود. بین سطوح کود دامی اختلاف معنی‌داری در کاهش جذب کادمیوم وجود نداشت و با افزایش سطح کود دامی از ۲۰ تن به ۴۰ تن در هکتار محتوای کادمیوم ریشه تغییر معنی‌داری نیافت (شکل شش).

در واقع کود دامی نیز همانند زئولیت در کاهش جذب کادمیوم موثر بود. نتایج حاصل از تحقیق صورت گرفته توسط بلووس و همکاران (Blowes *et al*., 2000) نشان داد که یک حامل کمپوست، غلظت کادمیوم را به‌زیر حد تشخیص دستگاه می‌رساند. چوکالینگام و سابرامانیان (Chockalingam and Subramanian, 2006) اعلام داشتند که مواد آلی به دلیل داشتن خصوصیاتی مانند ساختمان دانه‌ای، پایداری شیمیایی، قدرت مکانیکی بالا و قابل دسترس بودن، توانایی جذب آلاینده‌ها را دارد. تحقیقات اولیویرا و همکاران (Oliveira *et al*., 2005) نشان داد که فلزات سنگین به‌دلیل اثرات متقابل قوی با مکان‌های فعال جاذب، جذب می‌شوند.



شکل ۵- اثر سطوح مختلف زئولیت بر محتوای کادمیوم ریشه

Fig 5. Effect of different level of zeolite on root cadmium

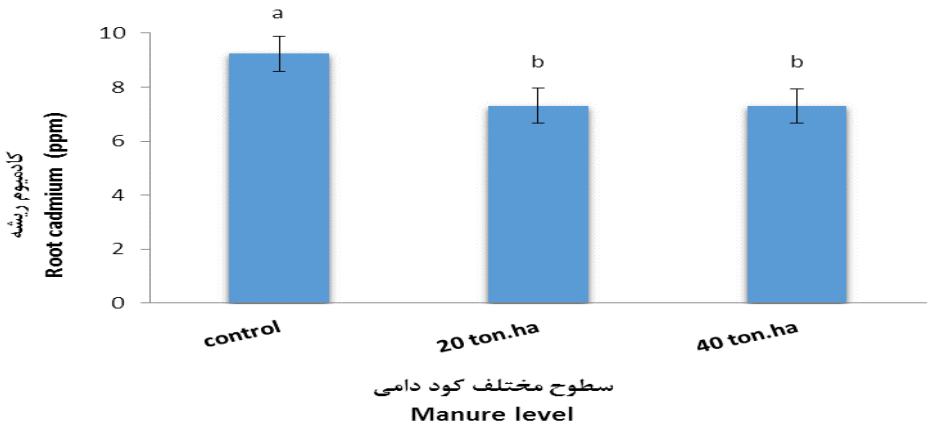
جدول ۳- تجزیه واریانس محتوای کادمیوم ماش در تیمارهای زئولیت و کود دامی

Table 3. Analysis of variance cadmium content of mungbean in zeolite and manure treatments

SOV	منابع تغییرات	درجه آزادی df	کادمیوم اندام هوایی Shoot cd content	کادمیوم ریشه Root cd content	کادمیوم دانه Grain cd content
Zeolite (A)	زئولیت	2	1.11**	0.22**	0.22**
Manure (B)	کود دامی	2	1.09**	0.25**	0.25**
A*B	اثر متقابل	4	0.32ns	0.015ns	0.015ns
Error	اشتباه	18	0.12	0.023	0.023
CV) (	ضریب تغیرات		14.49	15.27	15.27

ns عدم تفاوت معنی‌دار و * در سطح پنج و ** در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

Ns, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively.



شکل ۶- اثر سطوح مختلف کود دامی بر محتوای کادمیوم ریشه

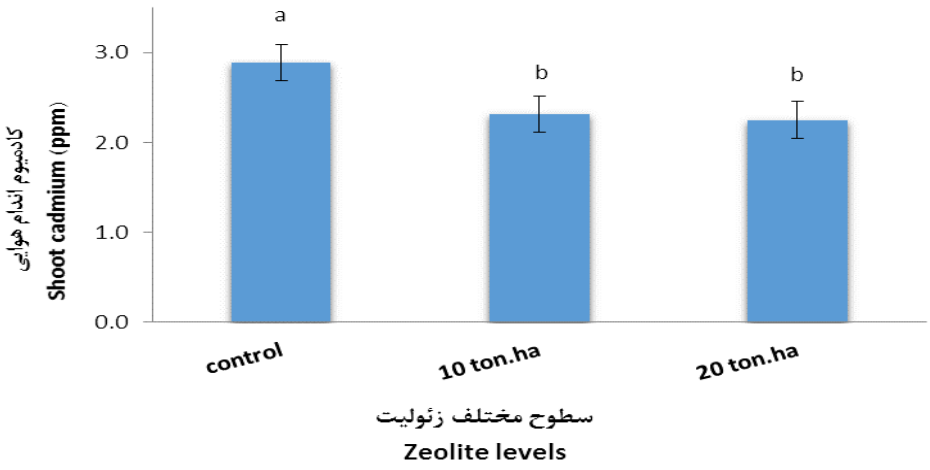
Fig 6. Effect of different level of manure on root cadmium content

محتوی کادمیوم اندام هوایی

براساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، اثر ساده تیمارهای زئولیت و کود دامی بر محتوی کادمیوم اندام هوایی معنی‌دار (P< ۰/۰۱) شد اما اثرات متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر میزان کادمیوم اندام هوایی نداشت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول سه). با توجه به این‌که کاربرد زئولیت سبب کاهش جذب کادمیوم توسط ریشه گردید، انتظار می‌رفت پایین بودن محتوی کادمیوم ریشه در تیمار زئولیت، سبب پایین

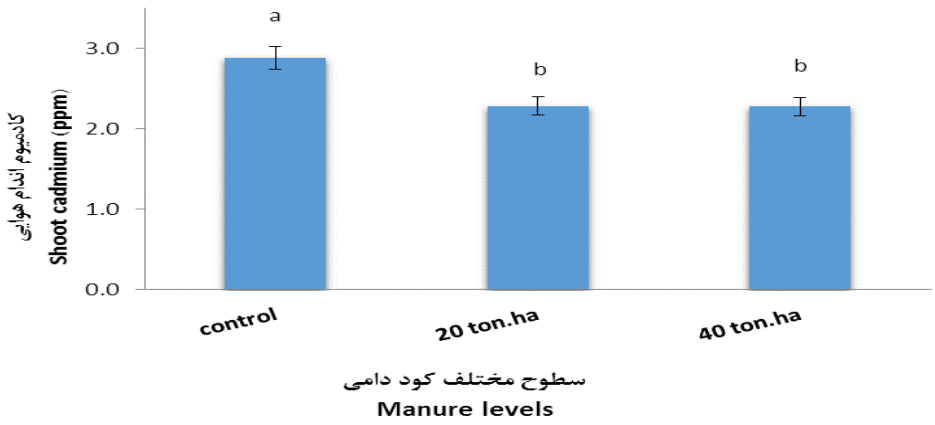
بودن محتوی کادمیوم اندام هوایی نیز گردد. در بین سطوح زئولیت بیش‌ترین و کم‌ترین محتوی کادمیوم اندام هوایی در تیمار عدم کاربرد (شاهد) و ۲۰ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب با میانگین ۲/۸۹ و ۲/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم (ppm) به‌دست آمد و تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار با میانگین ۲/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با تیمار ۲۰ تن زئولیت در هکتار نداشت (شکل هفت). کود دامی سبب کاهش محتوی کادمیوم اندام هوایی گردید. کم‌ترین محتوی کادمیوم اندام هوایی با میانگین ۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار مصرف ۴۰ تن در هکتار حاصل شد. بیش‌ترین محتوی کادمیوم اندام هوایی نیز با میانگین ۲/۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار عدم کاربرد کود دامی (شاهد) بود. بین سطوح کود دامی اختلاف در معنی‌داری کاهش محتوی کادمیوم اندام هوایی وجود نداشت و با افزایش سطح کود دامی از ۲۰ تن به ۴۰ تن در هکتار محتوی کادمیوم اندام هوایی تغیر معنی‌داری مشاهده نشد (شکل هشت). نتایج نشان داد، غلظت کادموم جذب شده توسط ریشه به‌مراتب بیش‌تر از اندام هوایی گیاه ماش بود.

نتایج مشابهی توسط محققان نیز گزارش گردید (Castaldi *et al*., 2005; Vaseghi *et al*., 2001). این امر یک نکته مثبت تلقی می‌گردد چرا که از انتقال آن به زنجیره غذایی جلوگیری می‌کند. توزیع کادمیوم در اندام‌های گیاه کاملاً متغیر است و به سرعت از ریشه‌ها به اندام هوایی منتقل می‌شود. کادمیوم در گیاهان بسیار متحرک بود، اگرچه انتقال کادمیوم در بافت‌های گیاهی محدود است، اما کادمیوم به‌راحتی در مکان‌های تبادلی ترکیبات فعال موجود در دیواره سلولی نگهداری می‌شود (Kabata-Pendias, and Pendias, 2001).



شکل ۷- اثر سطوح مختلف زئولیت بر محتوی کادمیوم اندام هوایی

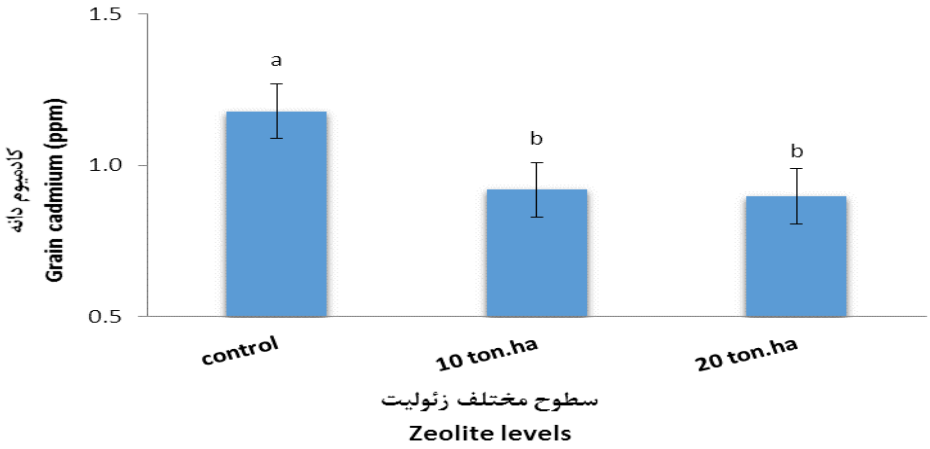
Fig 7. Effect of different level of zeolite on shoot cadmium content



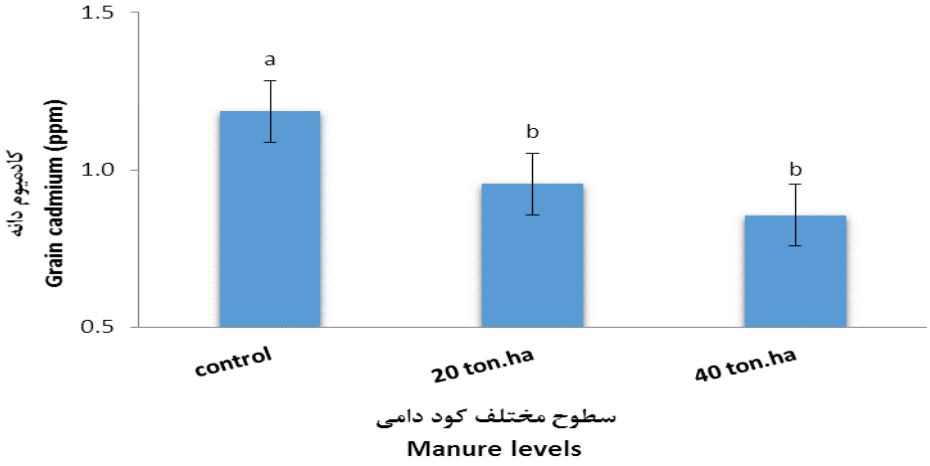
شکل ۸- اثر سطوح مختلف کود دامی بر محتوی کادمیوم اندام هوایی
Fig 8. Effect of different level of manure on shoot cadmium content

محتوی کادمیوم دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، زئولیت و کود دامی تأثیر معنی‌داری بر کادمیوم دانه در سطح احتمال یک درصد داشت اما اثر متقابل زئولیت و کود دامی بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول سه). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد زئولیت سبب کاهش محتوی کادمیوم دانه گردید و به میزان بسیار ناچیزی (کم‌تر از یک ppm) برسد. بیش‌ترین و کم‌ترین کادمیوم دانه در تیمار شاهد و ۲۰ تن زئولیت در هکتار به‌ترتیب با میانگین ۱/۱۸ و ۰/۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (ppm) به‌دست آمد و تیمار ۱۰ تن زئولیت در هکتار با میانگین ۰/۹۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با سطح بالاتر زئولیت نداشت (شکل نه). در یک بررسی مشخص گردید که زئولیت تأثیر معنی‌داری بر کاهش غلظت فلزات سنگین در گندم کشت‌شده در ضایعات معدنی داشت (Mohammadi Sani *et al.*, 2011). نتایج شی و همکاران (Shi *et al.*, 2009) نشان داد که زئولیت می‌تواند به‌طور قابل توجهی جذب فلز سنگین توسط گیاهان را کاهش دهد و باعث تبدیل شکل‌های قابل دسترس به شکل‌های غیرقابل دسترس شود. همچنین کاربرد کود دامی نیز سبب کاهش کادمیوم دانه شد. کم‌ترین کادمیوم دانه با میانگین ۰/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار ۴۰ تن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین کادمیوم دانه نیز با میانگین ۱/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به‌تیمار عدم کاربرد کود دامی (شاهد) بود. بین سطوح کود دامی اختلاف معنی‌داری در کاهش جذب کادمیوم وجود نداشت و با افزایش سطح کود دامی از ۲۰ تن به ۴۰ تن در هکتار محتوی کادمیوم ریشه تغییر معنی‌داری نیافت (شکل ۱۰). واثقی و همکاران (۱۳۸۲) اظهار داشتند که با افزایش pH خاک، رسوب عناصر فلزی به‌صورت هیدروکسیدها و کربنات‌های نامحلول و کمپلکس‌های آلی افزایش داشت و قابلیت دسترسی فلزات سنگین موجود در خاک برای گیاهان کاهش یافت. به‌نظر می‌رسد با کاربرد کود دامی و زئولیت، کادمیوم موجود در خاک به شکل غیرقابل جذب تبدیل می‌شود و جذب کادمیوم توسط ریشه کاهش می‌یابد و به‌دنبال آن محتوی کادمیوم دانه نیز کاهش پیدا می‌کند. کومپین و همکاران (Kumpiene *et al.*, 2007) نیز تشکیل کمپلکس‌های غیرقابل جذب در خاک و تثبیت فلزات سنگین در ریشه را از عوامل کاهش فلزات سنگین در اندام هوایی و دانه بیان نمودند.



شکل ۹- اثر سطوح مختلف زئولیت بر محتوی کادمیوم دانه
Fig. 9. Effect of different level of zeolite on grain cadmium content



شکل ۱۰- اثر سطوح مختلف کود دامی بر محتوی کادمیوم دانه
Fig. 10. Effect of different level of manure on grain cadmium content

ضریب جذب کادمیوم

عامل یا ضریب جذب کادمیوم، میزان کادمیوم ریشه نسبت به میزان کادمیوم خاک می‌باشد. اثر ساده زئولیت و کود دامی بر ضریب جذب کادمیوم در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول چهار). مقایسه‌میانگین داده‌ها بین سطوح زئولیت نشان داد که بیش‌ترین ضریب جذب کادمیوم (با میانگین ۰/۱۲) در تیمار شاهد حاصل شد و کاربرد زئولیت سبب کاهش این عامل گردید (شکل ۱۱). بدین معنی‌که با کاربرد زئولیت نسبت کادمیوم ریشه به کادمیوم خاک به ۰/۰۹ کاهش یافت.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که کاربرد کود دامی نیز سبب کاهش ضریب جذب کادمیوم شد. کم‌ترین ضریب جذب کادمیوم (با میانگین ۰/۰۸) در تیمار ۴۰ تن در هکتار به‌دست آمد. بیش‌ترین ضریب جذب کادمیوم نیز (با میانگین ۰/۱۱) مربوط به تیمار عدم کاربرد کود دامی (شاهد) بود. (شکل ۱۲). با

توجه به نتایج به‌دست آمده به‌نظر می‌رسد کاربرد زئولیت و کود دامی به‌عنوان مواد جاذب، از طریق جذب کادمیوم و تبدیل آن به کمپلکس‌های غیر قابل جذب در خاک، سبب کاهش ضریب جذب کادمیوم (نسبت کادمیوم ریشه به کادمیوم خاک) شد. کاهش در ضریب جذب کادمیوم از اهمیت بالایی در رشد گیاه برخودار است. بالابودن جذب کادمیوم موجب بروز عوارض نامطلوب در فیزیولوژی و سوخت و ساز گیاه می‌شود. علائم عمومی ناشی از جذب مقادیر اضافی کادمیوم در گیاه، کاهش و توقف رشد ریشه، چوب پنبه‌ای شدن و صدمه به ساختمان خارجی و داخلی ریشه، کاهش هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل در جذب و انتقال طبیعی عناصر غذایی ذکر شده است (Marchiol *et al*., 2006).

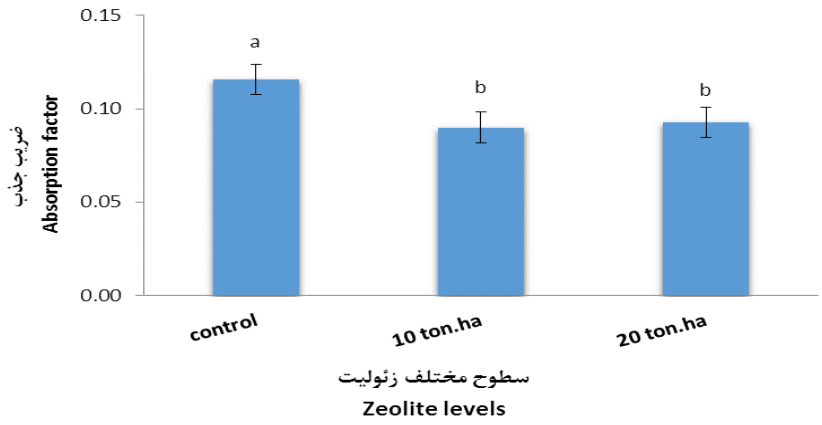
جدول ۴- تجزیه واریانس ضریب جذب و ضریب انتقال کادمیوم در تیمارهای زئولیت و کود دامی

Table 4. Analysis of variance Cd transmission factor and absorption factor of mungbean in zeolite and manure treatments

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی df	ضریب جذب absorption factor	ضریب انتقال transmission factor
Zeolite (A)	زئولیت	2	0.0017**	0.00013^{ns}
Manure (B)	کود دامی	2	0.0015*	0.0024^{ns}
A*B	اثر متقابل	4	0.0002^{ns}	0.024^{ns}
Error	اشتباه	18	0.0003	0.0015
CV(%)	ضریب تغییرات		17.01	12.29

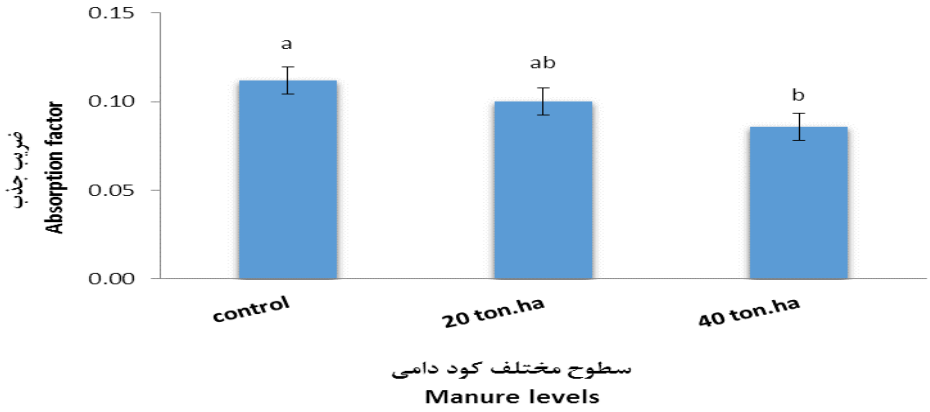
ns عدم تفاوت معنی‌دار و * در سطح پنج و ** در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

Ns, * and **: Non-significant and significant at 5 and 1% level of probability, respectively.



شکل ۱۱- اثر سطوح مختلف زئولیت بر ضریب جذب کادمیوم

Fig 11. Effect of different level of zeolite on absorption factor



شکل ۱۲- اثر سطوح مختلف کود دامی بر ضریب جذب کادمیوم
Fig 12. Effect of different level of manure on absorption factor

ضریب انتقال کادمیوم

فاکتور یا ضریب انتقال نمایه‌ای است که توان انتقال عناصر از ریشه به اندام هوایی را مشخص می‌کند. برطبق نتایج اثر ساده و اثر متقابل زئولیت و کود دامی تأثیر معنی‌داری بر ضریب انتقال کادمیوم نداشت و اختلافات به‌وجود آمده از نظر آماری معنی‌دار نشد (جدول چهار).

نتایج نشان داد کاربرد زئولیت و کود دامی سبب کاهش میزان کادمیوم اندام هوایی گردید اما بر ضریب انتقال کادمیوم تاثیر نداشت. در واقع انتقال کادمیوم به اندام‌های هوایی در تمام تیمارها به یک نسبت صورت‌گرفت و پایین‌بودن محتوی کادمیوم اندام هوایی در تیمارهای کاربرد زئولیت و کود دامی به‌دلیل کاهش جذب کادمیوم توسط ریشه و غلظت پایین کادمیوم در ریشه بود. با بررسی تاثیر ریزوسفر و عوامل گیاهی بر جذب کادمیوم در ذرت مشخص گردید که انتقال کادمیوم از ریشه به اندام هوایی بستگی به غلظت کادمیوم ریشه و شرایط ریزوسفری موثر در جذب کادمیوم دارد (Perriguey *et al*., 2008).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، می‌توان گفت زئولیت و کود دامی سبب کاهش جذب کادمیوم موجود در خاک گردید. کاربرد کود دامی سبب کاهش محتوی کادمیوم گیاه شد، اما افزایش سطح از ۲۰ تن به ۴۰ تن کود دامی، در کاهش جذب کادمیوم تاثیری نداشت. در بین سطوح زئولیت کاربرد ۱۰ تن در هکتار بر کاهش جذب کادمیوم اثر معنی‌داری داشت اما افزایش سطح آن به ۲۰ تن تفاوتی با سطح پایین آن نداشت. به‌دلیل این‌که کادمیوم تحرک زیادی در گیاه دارد، قسمتی از کادمیوم جذب شده به بخش‌های دیگر گیاه منتقل گردید اما با کاربرد کود دامی و زئولیت این مقدار بسیار کم‌تر از حد سمی آن بود.

منابع

References

آجودانزاده، م. ۱۳۸۴. اثرات مواد آلی با کیفیت و مقادیر مختلف بر خصوصیات فیزیولوژیک شیمیایی خاک و عملکرد سیب‌زمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، زنجان - ایران، ۵۷-۵۹

جامی‌الحمدی، م.، کامکار، ب.، مهدوی دامغانی، ع.، تبریزی، ل. ۱۳۸۵. کشاورزی، کود و محیط زیست، ترجمه: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد - ایران، ص ۱۱.

فرمهینی، م.، میرزاخانی، م.، ساجدی، و.ن.ع. ۱۳۹۰. اثر تنش کمبود آب و کاربرد مواد جاذب رطوبت بر صفات فیزیولوژیک گندم الوند. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.

کاظمیان، ح.، فقیهیان، ح. ۱۳۷۷. بررسی امکان استفاده از زئولیت‌های طبیعی ایران جهت حفظ و افزایش رطوبت خاک و نیز تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی. نهمین همایش کمیته آبیاری و زهکشی ایران. صفحات ۱۳۳-۱۲۲.

واثقی، س.، افیونی، م.، شریعتمداری، ح. و مبلی، م. ۱۳۸۲. اثر لجن فاضلاب و pH خاک بر قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف و فلزات سنگین. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۷: ۱۰۶-۹۵.

Ansari Mahabadi, A., Hajabbasi, M.A., Khademi, H., and Kazemian, H. 2007. Soil cadmium stabilization using an Iranian natural zeolite. Geoderma. 137: 388-393

Arnon, D.I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, poly phenoxidase in beta vulgaris. plant physiology 24: 1-15.

Bingham, F., Sposito, A., and Strong, G. 1984. The effect of chloride on the availability of cadmium. J. Environ. Qual.,13:71-74.

Blowes, D.W., Ptacek, C.J., Benner, S.G., McRae, C.W.T., Bennett, T.A., and Puls, R.W. 2000. "Treatment of inorganic contaminants using permeable reactive barriers." *J. Contaminant Hydrology*, 45(1), 123-137.

Castaldi, P., Santona, L., and Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. Chemosphere. 60: 365-371.

Chiang, K.Y., Huang, H.J., and Chang, C.N. 2007. Enhancement of heavy metal stabilization by different amendments during sewage sludge composting process. Environ. Engin. Manage. 17: 4. 249-256.

Chockalingam, E., and Subramanian, S. 2006. "Studies on removal of metal ions and sulphate reduction using rice husk and desulfotomaculum nigrificans with reference to remediation of acid mine drainage."J. Chemosphere, 62(5), 699-708.

Erdem, E., Karapinar, N., and Donat, R. 2004. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. J. Colloid and Interface Sci. 280: 309-314.

Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G., Mandal, A.K., and Hati, K.M. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocom post and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. Π. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. Bio resource Technology. 95: 85-93.

Hamidpour, M., Afyuni, M., Kalbasi, M., Khoshgoftarmanesh, A.A., and Inglezakis, V.J. 2010. Mobility and plant-aviability of Cd (II) and Pb adsorbed on zeolite and bentonite. Applied Clay Sci. 48: 342-348.

Kayser, A., Wenger K., Keller A., Attinger W., and Schulin R. 2000. Enhancement of Python extraction of Zn, Cd and Cu from calcareous soil. The use of NTA and Sulfur amendments. Environ. Sci. Technol. 34:1778-1783.

Kolay, A.K. 2007. Manure and fertilizer, ATLANTIC publishers. DISTRIBUTORS (P). LTD, New Delhi, India, pp: 4.

Khoshgoftar, A., Karimian, H., Kalbasi, N., Van DerZee, M., Parker, S. 2004. Salinity and zinc application effects on phyto availability of cadmium and zinc. Soil Science Society of America Journal; 68(6): 1885-9.

Marchiol, L., Letia, L., Marti, M., Pperssotti, A., and Zerbi, G. 2006. Physiological responses of two soybean cultivars to cadmium. *J.Environ.Qual*.25:562-566.

Mohammadi Sani, M., Astaraei, A., Fotovat, A., and Lakziyan, A. 2011. Inactivation of Lead and Zinc in Mine Waste using Zeolite and TSP and its effect on wheat growth. Iran. J. Field Crops Res. 8: 6. 956-964.

Nabizadeh, R., Mahvi, A.H., Mardani, G., Yunesian, M. 2005 Study of heavy metals in urban runoff, International Journal of Environmental Science and Technology, 2005, 1(4), 325-33.

Oliveira, E.A., Andrade, A.D., Montanher, S.F., Nobrega, J.A., and Rollemberg, M.C. 2005. "Equilibrium studies for the sorption of chromium and nickel from aqueous solutions using raw rice bran." J. Process Biochemistry, 40 (11), 3485-3490.

Kumpiene, J., Lagerkvis, At., and Maurice, Ch. 2007. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments: A review. Waste Management, 28 (4): 38-43.

Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. 2001. Trace element in soil and plant, Third Edition. CRC Press Boca Raton Washington, 618p.

Kumpiene, J., Lagerkvist, A., and Maurice, C. 2008. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments. Waste Management. 28: 215-2225.

Perriguey, J., Sterckeman, T., and Morel, J.L. 2008. Effect of rhizosphere and plant-related factors on the cadmium uptake by maize (*Zea mays* L.), Environmental and Experimental Botany, 63: 333–341.

Sani, M., Astaraii, A., Fotovat, A. and Lakzian, A. 2010. Immobilization of lead and zinc in mine deposits using zeolites and superphosphate triple and its effect on the growth of wheat. Journal of agronomical research. 8: 956-964.

Shi, W.Y., Shao, H.B., Li, H., Shao, M.A., and Du, S. 2009. Progress in the remediation of hazardous heavy metal-polluted soils by natural zeolite. J. Hazardous Mater. 170: 1-6.

Vaseghi, S., Shariatmadari, H., Afyuni, M., and Mobli, M. 2001. Effects of Sewage Sludge on Heavy Metal concentrations of Spinach and Lettuce in soils with different pH. J. Sci. Technol. Hort. 2: 3-4. 125-142.

Wang, S., and Peng, Y. 2010. Natural zeolites as effective adsorbents in water and waste water treatment. Chemical Engineering Journal. 156: 11-24.