

## اثر کود گاوی، لجن فاضلاب و کلرید کادمیم بر جذب کادمیم در شاخساره ذرت

امیر حسین خوشگفتار منش<sup>۳</sup>

مجید افیونی<sup>۲</sup>

معصومه شریفی<sup>۱</sup>

(دریافت ۸۸/۲/۱۶ پذیرش ۸۹/۲/۱۸)

### چکیده

استفاده مجدد از ضایعات آلی مانند لجن فاضلاب، روش مناسبی برای بازگرداندن مواد آلی و برخی عناصر غذایی به خاک به شمار می‌رود. قبل از کاربرد ضایعات آلی تعیین احتمال انباشت فلزات سنگین در خاک و آلودگی زنجیره غذایی انسان و حیوان در نتیجه کاربرد این ترکیبات، الزامی است. هدف از انجام این پژوهش گلخانه‌ای، تعیین اثر لجن فاضلاب شرکت پلی‌اکریل بر غلظت کادمیم شاخساره ذرت و مقایسه آن با کود گاوی و نمک معدنی کادمیم بود. این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تیمار (کود گاوی، لجن فاضلاب با نسبت ۲۵ تن در هکتار و دو سطح کادمیم ۱۰ و ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به صورت کلرید کادمیم) انجام شد. پس از برداشت گیاهان غلظت کادمیم در شاخساره آنها اندازه‌گیری شد. افزایش سطح کادمیم در تیمارهای آلی و نمک معدنی موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم شاخساره ذرت گردید. غلظت کادمیم گیاه در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب پلی‌اکریل و نمک معدنی کادمیم به طور معنی‌داری بیشتر از خاک تیمار شده با کود گاوی بود. براساس نتایج این پژوهش، مقدار جذب کادمیم توسط گیاه در حضور ضایعات آلی به‌طور معنی‌داری کمتر از خاک تیمار شده با نمک معدنی بود.

**واژه‌های کلیدی:** لجن فاضلاب صنعتی، کادمیم، ذرت، فلزات سنگین

## Effects of Animal Manure, Sewage Sludge, and Cadmium Chloride on Cadmium Uptake of Corn Shoots

Masume Sharifi<sup>1</sup>

Majid Afyuni<sup>2</sup>

Amir Hossein Khoshgofarmanesh<sup>3</sup>

(Received May 6, 2009 Accepted May 8, 2010)

### Abstract

Reusing organic wastes such as sewage sludge is a good way of returning organic matter and nutrients into soil. However, the likelihood of heavy metal accumulation in soil and the subsequent contamination of human and animal food chains should be determined before any attempt is made to reuse organic wastes. The purpose of this greenhouse study was to investigate the impact of sewage sludge from the effluent of Isfahan Polyacryl Corp. on yield and shoot cadmium concentrations in corn as compared to the animal manure and mineral salt of cadmium. A completely randomized design with three treatments (cow manure, sewage sludge at 25 Mg/ha, and 5 and 10 mg/kg Cd as CdCl<sub>2</sub>) was used. Corn seedlings were harvested 60 days after planting and Cd concentration was measured in the shoot. Application of animal manure and sewage sludge significantly increased corn biomass. Cadmium increment, in both organic and mineral salt treatments, significantly increased cadmium concentration in the corn shoot. The plant cadmium concentration in the soil treated with industrial sewage sludge and CdCl<sub>2</sub> were significantly higher than that treated with animal manure.

**Keywords:** Industrial Sewage Sludge, Cadmium, Corn, Heavy Metals.

1. Grad. Student of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan (Corresponding Author) (+98 311) 3913343 sharifism@yahoo.com
2. Prof. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan
3. Assoc. Prof. of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Tech., Isfahan

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان ۳۹۱۳۳۴۳ (نویسنده مسئول) sharifism@yahoo.com
- ۲- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ۳- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

ترکیبات آلی و معدنی ضایعات آلی، جذب می‌شوند. به همین دلیل قابلیت جذب فلزات سنگین اضافه شده به خاک از طریق ضایعات آلی در مقایسه با فلزات سنگینی که توسط نمکهای معدنی به خاک اضافه می‌شوند، توسط گیاه کمتر است [۹].

کادمیم در بین فلزات سنگین میل ترکیبی کمی برای اتصال به فازهای تثبیت کننده خاک نظیر اکسیدها و کلات‌ها دارد. بنابراین، قابلیت جذب این عنصر توسط گیاه و انتقال آن به شاخساره گیاه زیاد است [۱۰]. کادمیم همچنین توانایی بالایی برای عبور از غشا سلولی ریشه دارد. همه این عوامل باعث شده که خطر حضور کادمیم در زنجیره غذایی بیشتر شود [۱۱]. کادمیم برای رشد گیاهان ضروری نیست بلکه یک عنصر سمی برای گیاه است که در غلظتهای ۵ تا ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ گیاهان سمیت ایجاد می‌کند [۱۰]. غلظتهای بالای کادمیم در زنجیره غذایی برای انسان خطرناک است و باعث بیماری‌های کلیوی و کبدی، مشکلات استخوانی و بیماری‌های عصبی می‌شود. علاوه بر این، توازن سایر عناصر معدنی مانند کلسیم و فسفر بدن در حضور مقادیر بالای کادمیم به هم می‌خورد [۱۲].

با توجه به افزایش روز افزون فاضلابهای صنعتی در دنیا، یافتن روشی مناسب، ارزان قیمت، پایدار و سازگار با محیط زیست در جهت دفع ضایعات آلی ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات انجام شده، بیشتر بر استفاده از لجن فاضلاب شهری متمرکز بوده است در حالی که خطر فاضلابهای صنعتی از نظر مواد آلوده کننده نسبت به فاضلابهای شهری بسیار بیشتر است. لذا لازم است نحوه استفاده صحیح و اثرهای زیست محیطی لجن فاضلاب صنعتی به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد. شرکت پلی‌اکریل اصفهان سالانه در حدود ۳۶۰ تن لجن تولید می‌کند. این لجن، محصول به هم پیوستن مواد شیمیایی زائد است که از بخشهای مختلف کارخانه پس از اتمام مراحل تولید به دست می‌آید. هدف اولیه این پژوهش تعیین اثر لجن فاضلاب شرکت پلی‌اکریل بر جذب کادمیم توسط گیاه ذرت در مقایسه با کود گاوی و نمک معدنی کادمیم بود.

## ۲- مواد و روشها

یک نمونه خاک سطحی ۰ تا ۳۰ سانتی متری با بافت رسی سیلتی که از نظر رده بندی هاپلو آرچیدز<sup>۴</sup> بود، از مزرعه لورک نجف آباد واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان تهیه شد و به گلخانه‌های تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان انتقال داده شد. بخشی از نمونه‌های خاک نیز برای تعیین تعدادی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل شد (جدول ۱).

فعالتهای انسانی منجر به تولید انواع ضایعات و زباله‌های شهری و صنعتی شده است. وجود مقادیر زیاد لجن فاضلاب، مشکلات متعددی برای بشر و محیط زیست به همراه دارد. در چند دهه اخیر مطالعات زیادی در زمینه استفاده از لجن فاضلاب در کشاورزی در کشورهای مختلف انجام گرفته که این امر علاوه بر بهبود حاصلخیزی خاک، مشکلات دفع این لجن‌ها را نیز تا حدودی بر طرف نموده است [۱ و ۲]. لجن فاضلاب دارای مقادیر زیادی از عناصر مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و عناصر کم مصرف است و در نتیجه استفاده از آن در زمین‌های کشاورزی از لحاظ اقتصادی حائز اهمیت است [۲ و ۳]. مواد آلی موجود در لجن فاضلاب سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله هدایت هیدرولیکی، پایداری خاکدانه‌ها، تهویه و رطوبت خاک شده و از این طریق سبب بهبود رشد و افزایش عملکرد محصولات زراعی می‌شود [۱].

نکته مهمی که در کاربرد ضایعات شهری و صنعتی در کشاورزی باید به آن توجه داشت، غلظت به نسبت بالای برخی عناصر سنگین مانند سرب، کادمیم و نیکل در این ضایعات است. کاربرد طولانی مدت لجن فاضلاب ممکن است باعث آلودگی خاک و جذب عناصر سمی توسط گیاه و انتقال این فلزات به زنجیره غذایی حیوان و انسان شود [۴]. بر اساس گزارش محیط زیست آمریکا مصرف لجن فاضلاب باعث افزایش غلظت سرب، جیوه، نیکل، سلنیم و کادمیم تا ۱۰۰ برابر غلظت پایه این عناصر در خاک می‌شود [۵]. اندرسون و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۸ گزارش کردند که در اثر مصرف طولانی مدت لجن فاضلاب، غلظت کادمیم، سرب، کروم، نیکل، مس، روی و جیوه در خاک افزایش یافته و این امر باعث افزایش غلظت این عناصر در دانه غلات شده است [۶]. بر اساس مطالعات آنتونیدیس و همکاران<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۳ کاربرد لجن سبب افزایش حلالیت فلزات سنگین در ریزوسفر خاک می‌شود. در ابتدا این عناصر توسط مواد آلی موجود در لجن محبوس و غیر پویا شده اما پس از تجزیه و معدنی شدن مواد آلی در خاک، فلزات رها شده و حلالیت آنها افزایش می‌یابد [۷].

افزودن نمکهای معدنی فلزات سنگین به خاک نیز سبب افزایش غلظت این عناصر در گیاه می‌شود. بر اساس گزارش بران و همکاران<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۸ مقدار انباشت کادمیم در کاهو در خاکهایی که کلرید کادمیم دریافت کرده‌اند بیشتر از خاکهای تیمار شده با لجن فاضلاب بود [۸]. فلزات سنگین به خوبی توسط

<sup>1</sup> Anderson et al.

<sup>2</sup> Antoniadis et al.

<sup>3</sup> Brown et al.

<sup>4</sup> Fine loamy, mixed, thermic, Typic Haplargids

پركين المر<sup>۳</sup> ۳۰۳۰ در طول موج خاص هر عنصر اندازه‌گیری شد [۱۶]. قابليت هدايت الكتريكي و pH نمونه‌هاي خاک و كودها در عصاره اشباع اندازه‌گيري شد [۱۶]. ظرفيت تبادل خاك با روش استات سدیم اندازه‌گيري شد [۱۷]. برای تعیین مقدار ماده آلی خاک و نمونه‌های کودی از روش اكسایش تر استفاده شد [۱۸]. نتایج و داده‌های به‌دست آمده با نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

| مقدار | واحد     |  |
|-------|----------|--|
| ۸/۵   | -        | pH   |
| ۲/۷   | dS/m     | قابليت هدايت الكتريكي (EC)                 |
| ۱/۴   | %        | ماده آلی (OM)                              |
| ۱۴/۸  | Cmol+/kg | ظرفيت تبادل کاتيوني (CEC)                  |
| ۲/۷۰  | mg/kg    | کادمیم قابل عصاره‌گیری با HNO <sub>3</sub> |
| ۰/۰۳  | mg/kg    | کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA             |

### ۳- نتایج و بحث

۳-۱- ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب و کود گاوی مورد استفاده هدايت الكتريكي لجن فاضلاب و کود گاوی زیاد بوده و احتمال افزایش شوری خاک در پی کاربرد مقادیر زیاد این کودها وجود دارد (جدول ۲). لجن فاضلاب و کود گاوی حاوی مواد آلی هستند که این ماده آلی می‌تواند اثرهای مطلوبی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت رشد و عملکرد گیاه داشته باشد. با توجه به درصد نیتروژن کل در لجن و کود گاوی، با کاربرد این کودها مقدار نیتروژن قابل توجهی به خاک اضافه می‌شود که سهم بسزایی در تأمین نیاز گیاه به این عنصر دارد. مقایسه غلظت فلزات سنگین در لجن و کود گاوی مورد آزمایش با استانداردهای آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا<sup>۴</sup> نشان داد که غلظت این عناصر در محدوده مجاز بوده و این کودها از پتانسیل آلودگی کمی، در ارتباط با این فلزات برخوردارند (جدول ۲) [۱۹]. برای کاربرد این ضایعات در کشاورزی بهتر است وجود عوامل میکروبی و بیماری‌زا و همچنین ترکیبات خطرناک در این مواد بررسی شود.

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و سه تیمار انجام گرفت. تیمارها شامل لجن فاضلاب شرکت پلی‌اکریل، کود گاوی پوسیده شده و کلرید کادمیم بود. برای اعمال تیمارها، ابتدا سطح کادمیم در کود گاوی و لجن فاضلاب با استفاده از نمک معدنی کلرید کادمیم به ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش یافت. یک نمونه از کود گاوی و لجن نیز با سطح اولیه کادمیم و بدون افزایش کادمیم معدنی استفاده شدند. سپس مقدار ۲۵ تن در هکتار از لجن و کود گاوی در سه سطح کادمیم (کادمیم اولیه کود، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کود) با خاک مخلوط شدند. همچنین کلرید کادمیم در دو سطح کادمیم، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به‌طور جداگانه با خاک مخلوط شد و یک نمونه خاک بدون دریافت تیمار کودی و کلرید کادمیم به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. پس از اعمال تیمارها بر روی خاک، برای هر گلدان سه کیلوگرم خاک توزین و ۳ عدد بذر ذرت شیرین<sup>۱</sup> در هر گلدان کشت شد. با استفاده از آبیاری سطحی رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حد ۷۰ تا ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه تأمین شد. مبارزه با علفهای هرز به‌صورت مکانیکی انجام شد و در طول دوره رشد فقط از کودهای آلی استفاده شد.

نمونه‌برداری از گیاه ذرت، ۶۰ روز بعد از کاشت انجام گرفت. پس از برداشت گیاه، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سلسیوس در خشک‌کن قرار گرفتند، سپس وزن خشک شاخساره اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خشک شده به‌وسیله آسیاب پودر شدند و برای تعیین غلظت کادمیم، نمونه‌های گیاهی به روش اكسایش تر (اسید نیتریک ۷۰ درصد، اسید کلریدریک غلیظ، آب اكسیژنه ۳۰ درصد) هضم شدند [۱۳]. غلظت کل فلزات در نمونه‌های خشک شده لجن فاضلاب و کود گاوی نیز به همین روش عصاره‌گیری شد [۱۴].

همزمان با برداشت گیاه، از خاک گلدان‌ها نیز نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و کوبیدن، از الک دو میلی‌متری گذرانده شدند و شکل قابل جذب کادمیم در نمونه‌های خاک به‌وسیله محلول DTPA<sup>۲</sup> ۰/۰۵ مولار در pH معادل ۷/۲ عصاره‌گیری شد [۱۵]. غلظت عناصر مورد نظر در عصاره‌های خاک، گیاه، لجن و کود گاوی به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل

<sup>3</sup> Perkin Elmer  
<sup>4</sup> USEPA

<sup>1</sup> Sweet Corn  
<sup>2</sup> Diethylene Triamine Pentaacetic Acid

جدول ۲- تعدادی از ویژگی‌های شیمیایی لجن فاضلاب و کود گاوی مورد آزمایش

| غلظت فلزات (mg/kg) |     |      |      |      |       |      | نیتروژن کل (%) | EC (dS/m) | OM (%) | pH  | کود های آلی      |
|--------------------|-----|------|------|------|-------|------|----------------|-----------|--------|-----|------------------|
| Cr                 | Cd  | Ni   | Cu   | Zn   | Fe    | Mn   |                |           |        |     |                  |
| ۴۹/۴               | ۱/۵ | ۳/۳  | ۷۴   | ۳۸۸  | ۹۱۲۵  | ۱۰۲۴ | ۷/۴۴           | ۱۹/۳      | ۲۸/۷   | ۷/۳ | لجن فاضلاب       |
| ۴۰/۷               | ۲/۰ | ۳۵/۹ | ۶۹   | ۱۹۳  | ۱۲۱۷۵ | ۱۱۵۰ | ۰/۹۴           | ۱۹/۸      | ۱۸/۸   | ۷/۷ | کود گاوی         |
| ۳۰۰۰               | ۳۹  | ۴۲۰  | ۱۵۰۰ | ۲۸۰۰ | -     | -    | -              | -         | -      | -   | USEPA503 حد مجاز |

### ۲-۳- عملکرد وزن خشک شاخساره گیاه ذرت

نتایج نشان می‌دهد کاربرد لجن و کود گاوی در خاک منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد وزن خشک شاخساره ذرت شد (جدول ۳). این افزایش عملکرد احتمالاً به دلیل حضور عناصر غذایی پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و نیز عناصر غذایی کم مصرف نظیر آهن، روی و منگنز در کود گاوی و لجن فاضلاب است. بیشترین عملکرد وزن خشک شاخساره ذرت در تیمار کود گاوی، در سطح کادیم اولیه کود بود و با تیمارهای لجن و نمک معدنی کادیم اختلاف معنی‌داری داشت. کمترین عملکرد وزن خشک شاخساره مربوط به تیمار لجن فاضلاب حاوی ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادیم بود. مقدار عملکرد وزن خشک شاخساره ذرت در تیمارهای کودی با افزایش سطح کادیم در کود، کاهش یافت که این کاهش عملکرد را می‌توان به سمیت ناشی از کادیم نسبت داد.

### ۳-۳- غلظت کادیم در شاخساره ذرت

غلظت کادیم در شاخساره ذرت در خاک‌های تیمار شده با لجن فاضلاب و کلرید کادیم، بیشتر از خاک تیمار شده با کود گاوی بود (جدول ۳). افزایش غلظت کادیم در تیمارهای مختلف کودهای آلی و معدنی موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادیم در شاخساره ذرت شد که این افزایش در خاک تیمار شده با نمک معدنی کادیم در مقایسه با تیمارهای لجن و کود گاوی بیشتر بود. بر اساس نتایج وگلر و همکاران<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۴ اضافه نمودن نمک‌های حاوی یون کلرید به خاک‌های تیمار شده با بقایای آلی، قابلیت دسترسی کادیم

<sup>۱</sup> Weggler et al.

برای گیاه را افزایش می‌دهد [۲۰]. بیشترین غلظت کادیم در شاخساره ذرت مربوط به سطح ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادیم، در خاک تیمار شده با نمک معدنی کادیم بود.

نتایج این پژوهش نشان داد غلظت کادیم گیاه در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب و کلرید کادیم به طور معنی‌داری بیشتر از خاک تیمار شده با کود گاوی بود. کاربرد کود گاوی سبب کاهش قابلیت استفاده کادیم خاک و کاهش غلظت آن در گیاه شد. بقایای آلی عموماً شامل ترکیبات متفاوتی نظیر مواد آلی، اکسیدهای فلزی و آنیون‌ها هستند که منجر به جذب و یا رسوب فلزات سنگین شده و می‌توانند قابلیت دسترسی این فلزات را در خاک‌های آلوده کاهش دهند و از انتقال آنها به شاخساره گیاه جلوگیری کنند [۲۱].

### ۳-۴- کادیم قابل جذب خاک

کاربرد کود گاوی و لجن فاضلاب با سطح اولیه کادیم، اثر معنی‌داری بر کادیم قابل جذب خاک نداشت (جدول ۴). با کاربرد کودهای آلی غنی شده با کادیم (۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم)، مقدار کادیم قابل عصاره‌گیری با DTPA، به‌طور خطی افزایش یافت. به‌طور کلی در دو سطح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادیم، کودهای آلی در مقایسه با تیمار کلرید کادیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت کادیم قابل جذب خاک شدند. این کاهش در تیمارهای کودی احتمالاً به علت حضور ترکیبات ویژه در ساختار آنها است. بیشترین مقدار کادیم قابل جذب خاک مربوط به تیمار کلرید کادیم در سطح ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادیم بود. افزایش غلظت کادیم توسط نمک کلرید کادیم عامل مهمی در افزایش کادیم قابل جذب خاک بود.

جدول ۳- اثر تیمارهای مختلف بر عملکرد وزن خشک شاخساره (کیلوگرم در هکتار) و غلظت کادیم شاخساره ذرت (داده‌ها شامل میانگین  $\pm$  خطای استاندارد می‌باشند)

| پارامترها                    | وزن خشک شاخساره (kg/ha)    |                             |                             | غلظت کادیم شاخساره گیاه (mg/kg) |                               |                              |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                              | سطح اولیه                  | ۵                           | ۱۰                          | سطح اولیه                       | ۵                             | ۱۰                           |
| خاک تیمار شده با کلرید کادیم | ۶۸۴ <sup>cd</sup> $\pm$ ۹۰ | ۶۳۴ <sup>cd</sup> $\pm$ ۱۲۱ | ۶۳۶ <sup>cd</sup> $\pm$ ۵۳  | ۰/۳۵ <sup>f</sup> $\pm$ ۰/۰۴    | ۱/۳۵ <sup>cd</sup> $\pm$ ۰/۱۲ | ۳/۰۴ <sup>a</sup> $\pm$ ۰/۲۳ |
| لجن فاضلاب                   | ۸۶۰ <sup>ab</sup> $\pm$ ۵۸ | ۷۷۱ <sup>bc</sup> $\pm$ ۲۸  | ۵۷۰ <sup>d</sup> $\pm$ ۱۲۰  | ۰/۴۲ <sup>f</sup> $\pm$ ۰/۰۴    | ۱/۲۷ <sup>d</sup> $\pm$ ۰/۰۲  | ۲/۵۴ <sup>b</sup> $\pm$ ۰/۲۵ |
| کود گاوی                     | ۹۵۷ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۲  | ۹۳۵ <sup>a</sup> $\pm$ ۱۰۰  | ۸۹۵ <sup>ab</sup> $\pm$ ۱۰۳ | ۰/۵۰ <sup>ef</sup> $\pm$ ۰/۰۴   | ۰/۷۵ <sup>e</sup> $\pm$ ۰/۰۵  | ۱/۵۸ <sup>c</sup> $\pm$ ۰/۲۴ |
| دامنه داده‌ها                | ۴۸۸-۱۰۴۹                   |                             |                             | ۰/۳۱-۳/۲۱                       |                               |                              |
| میانگین*                     | ۷۷۱                        |                             |                             | ۱/۳۱                            |                               |                              |

\* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک‌اند، در سطح احتمال ۵ درصد آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۴- اثر تیمارهای مختلف بر جذب کادمیم توسط شاخساره گیاه و کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک (mg/kg) (داده‌ها شامل میانگین  $\pm$  خطای استاندارد می‌باشند)

| کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاک |                   |                   | جذب کادمیم در شاخساره ذرت (gr/ha) |                      |                      | پارامترها                     |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|
| ۱۰                                    | ۵                 | سطح اولیه         | ۱۰                                | ۵                    | سطح اولیه            | سطح کادمیم (mg/kg)            |
|                                       |                   |                   |                                   |                      |                      | تیمار                         |
| $0.27^a \pm 0.01$                     | $0.19^b \pm 0.02$ | $0.03^e \pm 0.01$ | $7.26^a \pm 1.08$                 | $33/3^c \pm 0.91$    | $0.90^e \pm 0.21$    | خاک تیمار شده با کلرید کادمیم |
| $0.19^b \pm 0.01$                     | $0.10^c \pm 0.02$ | $0.03^e \pm 0.01$ | $5.48^b \pm 1.07$                 | $3/67^c \pm 0.08$    | $1/36^{de} \pm 0.17$ | لجن فاضلاب                    |
| $0.18^b \pm 0.02$                     | $0.07^d \pm 0.01$ | $0.03^e \pm 0.01$ | $5/22^b \pm 0.27$                 | $2/61^{cd} \pm 0.23$ | $1/78^{de} \pm 0.16$ | کود گاوی                      |
|                                       |                   |                   |                                   |                      |                      | دامنه داده‌ها                 |
|                                       |                   |                   |                                   |                      |                      | میانگین *                     |
|                                       |                   |                   |                                   |                      |                      | ۰/۷۵-۸/۳۴                     |
|                                       |                   |                   |                                   |                      |                      | ۳/۵۱                          |

\* میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ آزمون LSD، تفاوت معنی‌داری ندارند.

### ۳-۵- جذب کادمیم توسط گیاه

مقدار جذب کادمیم شاخساره ذرت (حاصل‌ضرب غلظت کادمیم در عملکرد وزن خشک شاخساره) مشابه غلظت کادمیم، در تیمارهای مختلف با افزایش سطح کادمیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). همچنین حضور کلر همراه کادمیم اثر معنی‌داری بر افزایش جذب کادمیم شاخساره داشت [۲۰]. جذب کادمیم شاخساره ذرت در تیمارهای لجن فاضلاب و کود گاوی به‌طور معنی‌داری کمتر از خاک تیمار شده با کلرید کادمیم بود. کودهای آلی به‌علت دارا بودن انواع فلزات و ترکیبات آلی و معدنی تثبیت‌کننده، مانع از جذب کادمیم توسط گیاه شده و خطر انتقال کادمیم به زنجیره غذایی انسان و حیوان را کاهش می‌دهند. بعضی پژوهشگران پیشنهاد می‌کنند که حلالیت این عناصر به‌واسطه کلاته شدن توسط مواد آلی موجود در ضایعات آلی کم می‌شود [۲۲]. در مقابل برخی پژوهشگران نقش سطوح معدنی ضایعات آلی در غیر متحرک کردن فلزات را عامل کاهش پویایی فلزات سنگین در خاک تیمار شده با این ضایعات دانسته‌اند [۲۳].

### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق غلظت عناصر کم مصرف و برخی فلزات سنگین مضر، طبق استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا کمتر از سطح محدود کننده بود. کاربرد کود گاوی باعث افزایش قابل توجه عملکرد گیاه ذرت شد. کود گاوی احتمالاً به‌دلیل وجود عناصر غذایی و همچنین مواد آلی، باعث بهبود شرایط خاک برای رشد گیاه شده است.

با افزایش سطوح کادمیم در خاک، مقدار عملکرد وزن خشک شاخساره ذرت در تیمارهای مختلف کودی کاهش یافت. غلظت کادمیم در شاخساره ذرت در تیمارهای لجن فاضلاب و خاک تیمار شده با نمک معدنی کادمیم بیشتر از تیمار کود گاوی بود. افزایش سطوح کادمیم در تیمارهای مختلف موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در شاخساره ذرت شد. بیشترین غلظت کادمیم شاخساره ذرت در سطوح مختلف کادمیم مربوط به خاک تیمار شده با نمک کلرید کادمیم بود که با تیمارهای کود گاوی و لجن فاضلاب اختلاف معنی‌داری داشت. با کاربرد کودهای آلی غنی شده با کادمیم، مقدار کادمیم قابل عصاره‌گیری با DTPA، به‌صورت خطی افزایش یافت اما به‌طور کلی در دو سطح ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیم، کودهای آلی در مقایسه با تیمار کلرید کادمیم سبب کاهش معنی‌دار غلظت کادمیم قابل جذب خاک شدند.

نتایج این پژوهش نشان داد که جذب کادمیم توسط گیاه، به منبع وارد کننده کادمیم به خاک بستگی دارد. خطر انتقال کادمیم به زنجیره غذایی از طریق ضایعات آلی، کمتر از نمک معدنی کادمیم است. با این وجود، به‌دلیل اثرهای تجمعی فلزات سنگین به ویژه کادمیم بر احتمال ورود این عناصر به زنجیره غذایی، در مصرف کود گاوی و لجن فاضلاب در خاک، توجه به غلظت فلزات سنگین مانند کادمیم در ترکیب آنها حائز اهمیت است. همچنین برای کاربرد لجن فاضلاب در کشاورزی باید سایر پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از کاربرد این ضایعات، مانند وجود عوامل میکروبی و بیماری‌زا و همچنین ترکیبات سمی و خطرناک در این مواد بررسی شود.

- 1-Debosz, K., Petersen, S.O., Kure, L.K., and Ambus, P. (2002). "Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties." *Appl. Soil Ecol.*, 19 (3), 237-248.
- 2- Nyamangara, J., and Mzezewa, J. (2001). "Effect of long-term application of sewage sludge to a grazed pasture on organic carbon and nutrients in clay soil in Zimbabwe." *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 59 (2), 13-18.
- 3- Vaseghi, S., Afyouni, M., Shariat Madari, H., and Mobli, M. (2005). "Effect of sewage sludge on some macronutrients concentration and soil chemical properties." *J. of Water and Wastewater*, 53, 18-25. (In Persian)
- 4- Bolan, N.S., and Duraisamy, V.P. (2003). "Role of inorganic and organic soil amendments on immobilization and phytoavailability of heavy metals: A review involving specific case studies." *Australian J. of soil Research.*, 41 (3), 533-555.
- 5- Chang, A. C., Page, A. L., Warneke, G. E., and Johanson, G. B. (1982). "Effect of sludge application on the Cd, Pb, Zn levels of selected vegetable plants." *Hilgardi.*, 50, 1-14.
- 6- Anderson, C.W. N., Brooks, R. R., Stewart, R. B., and Simcock, R. (1998). "Harvesting a crop of gold in plant." *Nature.*, 395, 550-553.
- 7- Antoniadis, V., and Alloway, B.J. (2003). "Influence of time on the plant availability of Cd, Ni, and Zn after sewage sludge has been applied to soils." *Agrochimica.*, 47, 81-93.
- 8- Brown, S.L., Chaney, R. L., Angle, J. S., and Ryan, J. A. (1998). "The phytotoxicity of cadmium to lettuce in long-term biosolids-amended soils." *J. Environ. Qual.*, 27 (1), 1071-1078.
- 9- Li, Z., Ryan, J. A., Chen, J. L., and Al-Abed, S. R. (2001). "Adsorption of cadmium on biosolids-amended soils." *J. Environ. Qual.*, 30 (3), 903-911.
- 10- Kabata-Pendias, A., and Pendias, F. (1992). *Trace elements in soils and plants*, 2<sup>nd</sup> Ed., CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- 11- Chaney, R.L., and Ryan, J.A. (1994). *Risk based standards for arsenic, lead and cadmium in urban soils*, DECHEMA, Frankfurt, Germany.
- 12- IFDC. (1996). *The Basics of Zinc in crop production*, Technical Bulletin T-43, International Fertilizer Development Centre, Muscle Shoals, Alabama, USA, 19p.
- 13- Benton Jones, J. R., and Case, V. W. (1990). "Sampling, handling and analyzing plant tissue sample." In: R. L. Westerman (Eds.), *Soil Testing and Plant Analysis*, SSSA, No.3, Madison, WI.
- 14- Sposito, G., Lund, L. J., and Chang, A.C. (1982). "Trace metal chemistry in arid zone field soils amended with sewage sludge, I: Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases." *J. Soil Sci. Soc.*, 46 (2), 260-264.
- 15- Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). "Development of a DTPA soil test for Zinc, Iron, manganese, and copper." *J. Soil Sci. Soc. Am.*, 42, 421-428.
- 16- McLean, E. O. (1982). "Soil pH and lime requirement." In: Page, A.L. Miller, R.H. and Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2 : Chemical and Biological Properties*, 2<sup>nd</sup> Ed., Soil Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
- 17- Rhoades, J. D. (1982). "Cation exchange capacity." A.L. Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of soil analysis. part 2 : Chemical and biological properties*, 2<sup>nd</sup> Ed., Soil Sci. Soc. Am. Inc. Pub., USA.
- 18- Walkley, A., and Black, C.A. (1934). "An examination of the degtjareff-method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method." *J. Soil Sci.*, 37, 29-38.
- 19- U.S. Environmental Protection Agency. (1993). *Clean Water Act.*, section 503. Vol.58, No. 32, USEPA. Washington, DC.
- 20- Weggler, K., McLaughlin, M. J., and Graham, R.D. (2004). "Effect of chloride in soil solution on the plant availability of biosolids-borne cadmium." *J. Environ. Qual.*, 33 (2), 496-504.
- 21- Brown, S. L., Chaney, R. L., Hallfrisch, J. G., and Xue, Q. (2003). "Effect of biosolids processing on lead bioavailability in an urban soil." *J. Environ. Qual.*, 32, 100-108.
- 22- Beckett, P. H. T., Davis, R. D., and Brindley, P. (1979). "The disposal of sewage sludge onto farmland: The scope of the problems of toxic elements." *Water Pollut. Control (Maidstone, UK)* 78, 419-445.
- 23- Chaney, R.L., Ryan, J. A., and Brown, S.L. (1999). "Environmentally acceptable endpoints for soil metals." In: W. C. Anderson et al (Eds.), *Environmental availability in soils: Chlorinated organics, explosives, metals*, Am. Acad. Environ. Eng., Annapolis, MD.