تأثیر دوره‌های مختلف کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری بر میزان کادمیم و نیکل خاک و گیاه گاوزبان

افسانه قاسمیان سوربنی[1] محمد علی بهمنیار[2] مهدی قاجار سپانلو[2]

(دریافت ۹۰/۵/۳۰ پذیرش ۹۱/۲/۳۰)

چکیده

به‌منظور بررسی کادمیم و نیکل در اندامهای مختلف گیاه گاوزبان کاشته شده در خاک همراه با کاربرد کودهای آلی لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سال ۱۳۸۸ در شرایط مزرعه اجرا شد. فاکتور اصلی در پنج سطح شاهد، ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در هکتار و فاکتور فرعی، تیمار سال در شش سطح (مصرف در سال ۸۵ ، سالهای ۸۵ و ۸۶ ، سالهای ۸۵ و ۸۸ ، سالهای ۸۵ الی ۸۷ ، سالهای ۸۵ ، ۸۶ ، ۸۸ و سالهای ۸۵ الی ۸۸) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مصرف ۴۰ تن لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در هکتار سبب افزایش کادمیم و نیکل قابل جذب خاک به‌ترتیب حدود ۲ و ۲/۵ برابر و مقدار کادمیم و نیکل در ریشه گیاه به میزان ۵ و ۲/۵ برابر نسبت به شاهد می‌گردد. بالاترین میزان کادمیم در برگ و گل گاوزبان در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار مشاهده شد. ضمناً سطوح ۴۰ تن لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در هکتار نیز بیشترین تجمع نیکل را به‌ترتیب در برگ و گل گاوزبان موجب شدند. به‌علاوه بیشترین میزان انتقال کادمیم در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به قسمت گل در مورد نیکل نیز در همین تیمار کودی به قسمت برگ گاوزبان بوده است.

واژه‌های کلیدی: لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری، کادمیم، نیکل، گاوزبان

Effect of Different Periods of Application of Sewage Sludge and Municipal Solid Wastes Compost on the Amount of Cadmium and Nickel Content of Soil and *Borage* (*Borago officinadis*)

Afsaneh Ghasemian Sorboni [1] *Mohammad Ali Bahmanyar* [2] *Mahdi Ghajar Sepanlou* [2]

(Received Aug. 21, 2011 Accepted May 19, 2012)

Abstract

In order to study, the amount of cadmium and nickel in different plant organs of borage planted in calcareous, following the application of sewage sludge and municipal solid wastes compost, an experiment was conducted in split-plot design based on complete randomized block design in 2009. The main plot was sewage sludge and municipal solid wastes compost at five levels (control, 20, and 40 ton/ha) and the sub plot was years in six treatments (2006, 2006 and 2007, 2006 and 2008, 2006-2008, 2006 and 2007 and 2009, and 2006-2009). The amount of available Cd and Ni in soil and Cd and Ni accumulated in the roots, leaves and flower of Borage were compared with the control. Results indicated that the application of 40 ton/ha sewage sludge and municipal solid wastes compost increased the available Cd and Ni in soil (about 2 and 2.5 times, respectively) and the amount of Cd and Ni in the roots of Borage by 5 and 2.5 times compared to control. The maximum amount of Cd in leaves and flowers of borage was observed in the 40 ton/ha sewage sludge treatment. Furthermore, the treatment of 40 ton/ha sewage sludge and municipal solid wastes compost produced the most amount of Ni in leaves and flowers of Borage, respectively. Meanwhile, the maximum amount of Cd translocated to the shoots was observed in the flower in the 40 ton/ha sewage sludge and Ni in the same organic fertilizer treatments to leaves of borage.

Keywords: Sewage Sludge, Municipal Solid Wastes Compost, Cadmium, Nickel, *Borage*.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
(نویسنده مسئول) ۳۲۵۰۲۰۵ (۰۱۵۱) a.gh.sorboni@gmail.com
۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

1. M.Sc. Student of Soil Sciences, Dept. of Soil Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari (Corrsponding Author) (+98 151) 3250205 a.gh.sorboni@gmail.com
2. Assoc. Prof. of Soil Sciences, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari

۱- مقدمه

آلودگی‌های محیطی که بیشتر ناشی از فعالیت صنایع مختلف است، سلامت انسان و محیط پیرامون را تهدید می‌کند. سمّیت فلزات سنگین و خطر تجمع در اندام موجودات زنده در چرخه غذایی، در حال حاضر یکی از خطرات محیطی و سلامتی در جامعه است. سوختهای فسیلی، کودهای آلی، کودهای شیمیایی و آفت کشها از منابع اولیه آلودگی با فلزات سنگین هستند[۱ و ۲]. کاربرد کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در خاکهای کشاورزی به‌دلیل هزینه پایین و دسترسی آسان مواد غذایی برای گیاهان معمول شده است. البته استفاده پی در پی از لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری می‌تواند منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک و افزایش غلظت این عناصر در گیاه رشد یافته در این خاکها شده و به تبع آن، زنجیره غذایی را آلوده کرده و سلامت انسان را به خطر اندازد[۳- ۶]. این خطر با افزودن مواد آلی خاک به‌منظور حلالیت بیشتر فلزات سنگین افزایش می‌یابد. تحقیقات نشان داده که مواد آلی یکی از فاکتورهایی است که در حلالیت فلزات سنگین در خاک نقش دارد[۷ و ۸]. زمانی که فلزات با ترکیبات آلی ناپایدار پیوند ایجاد کنند، معدنی شدن فلزات و جذب آنها توسط گیاهان به‌طور نسبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد[۹].

جذب کادمیم توسط گیاهان در اثر کاربرد لجن فاضلاب در دهه‌های اخیر افزایش یافته است[۱۰]. لجن فاضلاب معمولاً دارای غلظت قابل توجهی از عناصر سنگین مانند کادمیم است. وجود این عنصر در محیط ریزوسفر می‌تواند سبب انتقال این عناصر به زنجیره غذایی انسان و حیوان شده و پیامدهای خطرناکی را به‌دنبال داشته باشد[۱۱ و ۱۲]. مصرف کمپوست زباله‌های شهری نیز در خاک نگرانی‌هایی را با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مواد موجود در آن ایجاد نموده است که از آن جمله می‌توان به جنبه‌های عناصر مسموم کننده، عدم اطمینان از ارزش غذایی مواد موجود برای گیاه و عواقب محیط زیستی در خصوص انتقال آلاینده‌ها از خاک به آبهای زیرزمینی و گیاهان و تجمع عناصر سنگین در خاک با گذشت زمان اشاره نمود[۱۳ و ۱۴].

افزایش بیش از حد نیکل موجود در کودهای آلی در گیاهان حساس منجر به کاهش میزان کلروفیل و کاهش رشد خواهد شد[۱۵ و ۱۶]. در منابع اعلام شده است که مقدار کادمیم در گیاه برای مصرف انسان نباید از ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تجاوز کند و میزان نیکل در گیاه آلوده ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است [۷ و ۱۷]. حال باید توجه داشت که تجمع فلزات سنگین مانند کادمیم و نیکل در بخشهای مفید گیاهان رشد یافته در خاکهای آلوده شده با کودهای آلی به‌ویژه در گیاهان دارویی به‌دلیل تقاضای زیاد استفاده از چنین گیاهانی بسیار اهمیت دارد[۱۸].

با توجه به اینکه خاک، دریافت کننده نهایی بسیاری از ترکیبات زائد و ناخواسته حاصل از فعالیتهای بشر است، استفاده از کودهای آلی دارای عناصر سنگین، در طولانی مدت سبب آلودگی خاک، گیاه و آبهای زیرزمینی شده و نگرانی‌هایی را ایجاد کرده است. به‌منظور جلوگیری از مشکلات محیط زیستی، تحقیقات گسترده در مورد استفاده از کودهای آلی مختلف در خاکهای کشاورزی و گیاه تحت کشت به‌منظور میزان جذب عناصر، ضروری است. بر طبق تحقیق رومکنز و همکاران[1] در سال ۲۰۰۲ گیاهان توانایی جذب عناصر مختلف و انتقال آن به اندامهای هوایی را به مقدار مختلف دارند که این توانایی، فاکتور غلظت فلزات خاک/گیاه نام دارد. هرچه گیاه، بیومس بالاتری داشته باشد مقدار این ضریب نیز بیشتر می‌شود[۱۹]. گیاه گاوزبان یک گیاه بومی اروپا، آفریقای شمالی و آسیای صغیر است و در نواحی مدیترانه‌ای به‌عنوان گیاه مرتعی شناخته می‌شود. این گیاه در سراسر دنیا کشت می‌شود و خواص متعدد صنعتی، علوفه ای و دارویی دارد. همچنین در تهیه نوشیدنی و سالادها از آن استفاده می‌شود[۲۰]. با توجه به اینکه این گیاه یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین گیاهان دارویی مورد استفاده است و گلهای آن به‌طور گسترده در داروسازی به‌دلیل ترکیبات منحصر به فردی که دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد، در این تحقیق به بررسی تجمع کادمیم و نیکل در خاک تیمار شده با لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در دوره‌های مختلف کشت پرداخته شد و تأثیر کاربرد مکرر این ضایعات در جذب و تجمع کادمیم و نیکل در ریشه، برگ و گل گاوزبان بررسی گردید.

۲- مواد و روشها

این طرح پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال ۱۳۸۸ اجرا شد. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. فاکتور اصلی، تیمارهای کودی در پنج سطح یعنی بدون مصرف کودهای آلی، ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار و ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار بررسی شد. لجن فاضلاب مورد استفاده از تصفیه‌خانه شاهین‌شهر اصفهان خریداری شد. این لجن از پسابهای خانگی شهر شاهین‌شهر و پسابهای کارخانجات اطراف این شهر بوده است، فرایندهای اعمال شده روی لجن فاضلاب شامل تصفیه اولیه و ثانویه است. تصفیه اولیه با فرایندهای آشغال‌گیری، ته‌نشینی، شناورسازی، خنثی‌سازی و متعادل‌سازی، مواد جامد معلق از فاضلاب را حذف و آن را برای ورود به قسمت تصفیه ثانویه آماده می‌کند که در آن فرایندهای

[1] Romkens et al.

تصفیه بیولوژیکی اعم از هوازی و بی‌هوازی انجام می‌شود و فاکتور فرعی، سال کوددهی در شش سطح یعنی سال ۸۵، سال ۸۵ و ۸۶، سال ۸۵ و ۸۸، سال ۸۵، ۸۶ و ۸۷، سال ۸۵، ۸۶ و ۸۸ و در سالهای ۸۵ تا ۸۸ اجرا گردید.

عملیات آماده‌سازی زمین در اوایل بهار انجام و تیمارهای کودی در کرتهای مربوطه در اندازه ۱/۵×۳ متر در اوایل اردیبهشت ماه اعمال گردید و سپس بذر گیاه گاوزبان در سه ردیف با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر کشت و عملیات آبیاری و داشت در طی دوره به‌طور منظم انجام شد.

مبارزه با علفهای هرز نیز به‌صورت دستی صورت پذیرفت. در مراحل انتهایی رشد از ریشه، برگ و گل گاوزبان نمونه‌برداری شد. اندامها با آب مقطر شسته شدند و آلودگی‌های سطحی آنها با دستمال تمیز برطرف گردید و در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به وزن ثابت رسیدند[۲۱]. سپس نمونه‌های خشک شده، آسیاب و به‌منظور اندازه‌گیری کادمیم و نیکل، ۵۰۰ میلی‌گرم از هر کدام از اندامهای بالا طبق روش AOAC و توسط دستگاه جذب اتمی تعیین گردید[۲۲]. نمونه‌های خاک نیز پس از برداشت محصول از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از وسط هر کرت برای کاهش اثر حاشیه‌ای برداشته شد. نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و نیکل و کادمیم قابل جذب طبق روش DTPA تعیین شدند[۲۳].

عصاره‌گیری و آماده‌سازی توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش قبل از کشت تعیین گردید که نتایج آنها در جدول ۱ آمده است.

فاکتور غلظت[1] بر اساس روابط زیر محاسبه شد[۲۴]

$$CF_{absorption} = C_{root} / C_{soil} \quad (1)$$

$$CF_{transport} = C_{leaf} / C_{root} \quad (2)$$

که در این روابط

$CF_{absorption}$ فاکتور غلظت جذب، $CF_{transport}$ فاکتور غلظت انتقال، C_{root} میزان عنصر در ریشه، C_{soil} میزان عنصر قابل جذب خاک و C_{leaf} میزان عنصر در برگ است.

تجزیه و تحلیلهای آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و MSTAT-C و آزمون دانکن[2] صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- کادمیم و نیکل در خاک

بررسی تجزیه واریانس نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری تأثیر معنی‌داری بر میزان کادمیم و نیکل قابل جذب خاک داشته است (جدول ۲). کاربرد ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار در طی ۳ سال نامتوالی (D) و ۴ سال متوالی (F) بالاترین میزان کادمیم یعنی ۰/۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم و کاربرد ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار به‌صورت ۳ سال نامتوالی (D) بالاترین میزان نیکل قابل جذب خاک یعنی ۲/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را نشان داد (جدول ۳). بالا رفتن سطح این دو فلز در اثر کاربرد لجن فاضلاب می‌تواند مربوط به افزایش مواد آلی در خاک با کاربرد سطوح بالای لجن فاضلاب باشد. در نتیجه این افزایش فلزات به‌صورت ناپایدار با مواد آلی تشکیل پیوند داده و به آسانی به فرم

[1] Concentration Factor
[2] Duncan

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قبل از کشت

خصوصیات	واحد	لجن فاضلاب	کمپوست زباله شهری	خاک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر)
اسیدیته	-	۶/۵۰	۸/۳	۷/۴۵
هدایت الکتریکی	dS/m	۹/۹۴	۹/۰۷	۱/۱۳
کربن آلی	درصد	۲۱/۳۱	۲۴/۴۵	۱/۱
نیتروژن کل	درصد	۰/۷۲	۱/۹۶	۰/۱۱
فسفر قابل جذب	mg /kg Soil	۴۸۷۰	۴۵۸۰	۱۴/۵
پتاسیم قابل جذب	mg /kg Soil	۴۹۱۲	۴۵۶۷	۲۶۶
کادمیم قابل جذب	mg/kg	۰/۷	۰/۲۲	۰/۰۷
نیکل قابل جذب	mg/kg	۶۴/۵۲	۶/۶	۱/۶۵
شن	درصد	-	-	۱۰
سیلت	درصد	-	-	۴۳
رس	درصد	-	-	۴۷

قابل جذب در می‌آیند[۲۵]. ارتیز[1] و آلکانیز[2] در سال ۲۰۰۶ نتیجه گرفته‌اند که حضور مواد آلی میزان فلزات قابل جذب خاک را افزایش می‌دهد[۲۶]. کاربرد دو سطح مختلف کمپوست زباله شهری (۲۰ و ۴۰ تن در هکتار)، نسبت به تیمارهای لجن فاضلاب افزایش کمتری از کادمیم و نیکل در خاک نشان دادند. اگرچه باید توجه داشت که دو سطح تیمار کمپوست زباله شهری، به غیر از دوره یکساله کاربرد (A) سبب افزایش معنی‌دار کادمیم قابل جذب خاک نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۳). بعد از تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب که بالاترین میزان نیکل قابل جذب خاک را موجب شد، استفاده از ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار باعث بالا رفتن بیشتر نیکل قابل جذب خاک در مقایسه با تیمار ۲۰ و ۴۰ تن کمپوست زباله شهری گردید.

تحقیقات بهره‌مند و همکاران در سال ۱۳۸۱ و رضایی‌نژاد و افیونی در سال ۱۳۷۹ نیز نشان می‌دهد که کاربرد کودهای آلی و غیرآلی سبب افزایش نیکل و کادمیم خاک می‌گردد[۲۷ و ۲۸]. محققان دیگر نیز بر این عقیده‌اند که کودهای آلی (لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری) مهم‌ترین منابع عناصر سنگین مانند نیکل و کادمیم در خاک هستند[۲۹].

[1] Ortiz
[2] Alkaniz

جدول۲- جدول نتایج تجزیه واریانس کادمیم و نیکل قابل جذب خاک و مقدار آن در ریشه، برگ و گل گاوزبان در رابطه با تیمار کود و سال

تیمار	df	کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)				نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
		قابل جذب خاک	ریشه	برگ	گل	قابل جذب خاک	ریشه	برگ	گل
تکرار	۲	۰/۰۱۷^{ns}	/۱۰^{ns}	۰/۲۴^{ns}	۰/۰۳۳^{ns}	۲/۱۱^{ns}	۰/۳۵^{ns}	۲/۹۹^{ns}	۲/۷۴^{ns}
F	۴	۰/۸۴**	۹/۴۲*	۶/۲۹**	۵/۵۴**	۲۶/۷۹**	۴۳/۰۲**	۵۳/۳۷**	۳/۱۹*
خطای a	۸	۰/۰۱۱	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۲۵۲	۰/۳۶	۲/۶۹	۱/۱۶
Y	۵	۰/۳۲**	۰/۱۵*	۰/۰۰۵^{ns}	۰/۱۴*	۱۲/۵۶**	۸/۶۶**	۱۷/۷۵**	۱/۴۰**
F*Y	۲۰	۰/۰۳۹**	۰/۰۲۳*	۰/۰۰۶^{ns}	۰/۰۵*	۶/۲۶**	۱/۲۹**	۶/۱۴**	۰/۳۴**
خطای b	۵۰	۰/۰۲۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۱۹۸	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۱۴
ضریب تغییرات	-	۵/۳۵	۱۴/۱۳	۱۹/۱۷	۹/۱۵	۷/۴۵	۱۶/۲۵	۲۱/۳۶	۸/۱۶

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ns عدم تفاوت معنی‌دار، F تیمار کودی، Y تیمار سال مصرف و F*Y اثرات متقابل تیمار کودی و سال است.

جدول۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای سال و کود بر میزان کادمیم و نیکل قابل جذب خاک

تیمار	A	B	C	D	E	F
کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
شاهد	۰/۰۸۴^{i}	۰/۰۷۷^{ij}	۰/۰۷۰^{j}	۰/۰۷۰^{j}	۰/۰۷۰^{j}	۰/۰۷۷^{ij}
SS_{20}	۰/۰۸۴^{i}	۰/۱۰۶^{fg}	۰/۰۸۴^{i}	۰/۱۲۶^{cd}	۰/۰۸۸^{hf}	۰/۱۰۶^{fg}
SS_{40}	۰/۱۰۶^{fg}	۰/۱۳۳^{c}	۰/۱۱۹^{de}	۰/۱۶۲^{a}	۰/۱۲۸^{cd}	۰/۱۵۵^{ab}
MSW_{20}	۰/۰۷۷^{ig}	۰/۱۰۳^{fg}	۰/۱۰۶^{fg}	۰/۱۳۴^{c}	۰/۱۰۷^{efg}	۰/۱۲^{de}
MSW_{40}	۰/۰۸۳^{ig}	۰/۱۰۹^{efg}	۰/۰۹۹^{gh}	۰/۱۴۶^{b}	۰/۱۱۳^{ef}	۰/۱۲۶^{cd}
نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
شاهد	۰/۸۶۵^{o}	۰/۹۰۴^{mno}	۰/۸۹۰^{mno}	۰/۹۰۵^{mno}	۰/۸۷۸^{no}	۰/۸۷۷^{no}
SS_{20}	۱/۱۷۴^{hi}	۱/۴۵۸^{f}	۱/۰۲۹^{kl}	۱/۶۱۴^{de}	۱/۴۸۸^{f}	۱/۶۷۱^{d}
SS_{40}	۱/۳۱۱^{g}	۲/۰۵۶^{b}	۱/۵۹۳^{b}	۲/۳۴۷^{a}	۱/۸۰۷^{c}	۲/۰۳۸^{b}
MSW_{20}	۰/۶۶۲^{q}	۰/۹۵۴^{lmn}	۰/۷۶۷^{p}	۱/۱۹۱^{hi}	۰/۸۹۸^{mno}	۱/۰۷۴^{jk}
MSW_{40}	۰/۸۳۷^{op}	۱/۱۳۱^{ij}	۰/۹۷۱^{lm}	۱/۲۵۰^{gh}	۱/۰۶۷^{jk}	۱/۱۳۶^{ij}

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.
SS_{20} میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، SS_{40} میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، MSW20 میزان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، MSW40 میزان ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، A فقط میزان مصرف سال ۸۵، B میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۸، C میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۶، D میزان مصرف در سالهای ۸۵، ۸۶ و ۸۸، E میزان مصرف از سال ۸۵ تا ۸۷ و F میزان مصرف از سال۸۵ تا ۸۸ است.

کاربرد بلند مدت ضایعات آلی نظیر لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری، منجر به افزایش فرم قابل جذب کادمیم و نیکل در مقایسه با تیمار شاهد شده‌اند. در تیمارهای مربوط به سال، مصرف این ضایعات در سال ۱۳۸۸ در کرتهای B و D به‌صورت سالهای نامتوالی و کاربرد به‌صورت ۴ سال متوالی (F) سبب افزایش بیشتر میزان کادمیم و نیکل قابل جذب خاک شده است. اگرچه در بعضی موارد این افزایش از نظر آماری نسبت به شاهد معنی‌دار نبوده است (جدول ۳).

برخی محققان معتقدند که قابلیت دسترسی فلزات سنگین در ۳ تا ۴ سال اول پس از کاربرد لجن فاضلاب، بالا است اما این روند در سالهای بعد با قابلیت دسترسی کمتر ولی پایدار فلزات در خاک دنبال می‌شود[۳۰]. کاربرد منفرد یا مکرر کود آلی آلوده به فلزات، می‌توانند منجر به افزایش دسترسی فلزات و یا تغییر در اشکال فلزات به مقدار زیاد بر اثر تجزیه اشکال کم محلول که در ابتدا در لجن وجود دارند مانند سولفیت‌ها یا ترکیبات آلی شود[۳۱]. همچنین بررسی نتایج نشان داد که مصرف لجن فاضلاب در هکتار در سال ۸۵ و عدم مصرف آن در سالهای بعد (پس از گذشت ۴ سال)، در مورد فلز کادمیم تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار و در مورد نیکل، تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار افزایش معنی‌داری داشت که نشان دهنده اثرات باقیمانده این عناصر در خاک است[۳۲].

۳-۲- کادمیم و نیکل در گیاه

۳-۲-۱- ریشه

تیمارهای کودی مختلف اثر معنی‌داری بر میزان کادمیم ریشه گاوزبان داشتند (جدول ۲). بررسی تیمارهای کودی مختلف نشان داد که تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار سبب بیشترین تجمع کادمیم یعنی ۲/۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در ریشه شد (جدول ۴). تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، کادمیم بیشتری را نسبت به تیمار ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در ریشه گاوزبان انباشته نمود. تیمار ۴۰ تن کمپوست زباله شهری نیز سبب افزایش معنی‌دار سطح کادمیم ریشه نسبت به تیمار شاهد گردید. محققان دیگر نیز به تجمع فلزات سنگین در اثر استفاده از مواد آلی اشاره کرده‌اند[۱۳ و ۱۴]. کمترین میزان تجمع نیز مربوط به تیمار ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار است. بالاترین میزان نیکل از نظر عددی یعنی ۸/۴۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در ریشه، در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار مشاهده شد که با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد(جدول ۴)[۳۳ و ۳۴]. تیمار ۲۰ و ۴۰ تن کمپوست زباله شهری تفاوت قابل توجهی نسبت به هم نداشتند، اما افزایش معنی‌داری در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. مقایسه میانگین تیمارها در سالهای مصرف نشان داد که مصرف کودهای آلی به‌مدت چهار سال (F) بالاترین میزان کادمیم را ایجاد نموده و مصرف در سالهای نامتوالی B و D و چهار سال متوالی (F)، افزایش بیشتر نیکل در ریشه گاوزبان را موجب شده است. نتایج مطالعات دیگر نیز بر این امر تأکید دارد که افزایش استفاده از کودهای آلی در سالهای مختلف، سبب بالا رفتن میزان جذب فلزات در گیاه می‌شود (جدول ۴)[۳۵]. مصرف لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری به‌صورت سه سال نامتوالی (D) نیز بعد از تیمار چهار سال متوالی (F) سبب بالاترین سطح کادمیم در ریشه گاوزبان شده است که بیانگر اثرات تجمعی مصرف کودهای آلی در تجمع بیشتر کادمیم در ریشه گاوزبان است.

بررسی میزان نیکل در ریشه در دوره‌های مختلف مصرف نشان داد که کاربرد دو و سه سال نامتوالی (B و D) و دو و سه سال متوالی (C و E) کودهای آلی تفاوت معنی‌داری نسبت به هم نداشتند (جدول ۴). یعنی سالهای مختلف مصرف به غیر از چهار سال متوالی در میزان جذب نیکل در ریشه گاوزبان اثر معنی‌داری نسبت به هم نداشته‌اند اما در مقایسه با تیمار شاهد، معنی‌دار بوده و سطح نیکل ریشه را افزایش داده‌اند. البته باید توجه شود که تیمار A با گذشت چهار سال از زمان مصرف، در تمامی تیمارها به غیر از ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار درباره نیکل و ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار درباره کادمیم افزایش معنی‌داری از نیکل و کادمیم تجمع یافته در ریشه را در مقایسه با تیمار شاهد نشان داده‌اند که نمایانگر اثرات باقیمانده مصرف کودهای آلی است (جدول ۴).

۳-۲-۲- برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، جذب کادمیم و نیکل در برگهای گیاه گاوزبان در تیمارهای کودی مختلف معنی‌دار بود (جدول۲). بالاترین سطح کادمیم در برگ یعنی ۲/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم، در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب مشاهده شد. لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار بیشتر از کمپوست زباله شهری ۴۰ تن در هکتار و این تیمار نیز بیشتر از کمپوست زباله شهری ۲۰ تن در هکتار موجب تجمع کادمیم در برگ گاوزبان شد (جدول ۵).

بررسی میزان نیکل برگ نیز نشان می‌دهد که در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار با کاربرد سه سال نامتوالی (D)، بالاترین میزان نیکل یعنی ۱۵/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در برگ تجمع یافت که با نتایج محققان دیگر نیز مطابقت دارد[۳۶]. تیمار ۴۰ تن کمپوست زباله شهری بعد از تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب بالاترین سطح نیکل در برگ را نشان داد. سطوح ۲۰ تن در هکتار تیمارهای کودی کمترین میزان تجمع نیکل در برگ گاوزبان را نشان دادند اما نسبت به تیمار شاهد، تفاوت معنی‌داری را نشان دادند (جدول ۶).

جدول۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای سال و کود بر میزان کادمیم و نیکل تجمع یافته در ریشه گاوزبان

تیمار	A	B	C	D	E	F
			نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
شاهد	۳/۳۲^{l}	۳/۳۲^{l}	۳/۳۲^{l}	۳/۳۲^{l}	۳/۳۲^{l}	۳/۳۲^{l}
SS_{20}	۳/۳۶^{l}	۵/۱۲^{ij}	۵/۵۴^{jk}	۵/۱۲^{ij}	۳/۹۶^{kl}	۶/۲۳^{efg}
SS_{40}	۴/۵۴^{jk}	۷/۸۹^{ab}	۷/۳۶^{bcd}	۷/۸۹^{ab}	۷/۳۶^{bcd}	۸/۴۲^{a}
MSW_{20}	۴/۹۷^{ij}	۶/۳۸^{ef}	۵/۸۴^{fgh}	۵/۴۹^{hi}	۶/۷۰^{de}	۷/۵۶^{bc}
MSW_{40}	۵/۰۷^{ij}	۵/۵۶^{eghi}	۶/۳۴^{ef}	۶/۹۲^{cde}	۶/۵۷^{ef}	۷/۵۸^{bc}
			کادمیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)			
شاهد	۰/۵۰^{j}	۰/۵۱^{j}	۰/۵۱^{j}	۰/۵۱^{j}	۰/۵۴^{ij}	۰/۵۴^{ij}
SS_{20}	۱/۳۸^{e}	۱/۴^{e}	۱/۴^{jk}	۱/۶۷^{ij}	۱/۴۷^{kl}	۱/۷۰^{efg}
SS_{40}	۲/۱۰^{c}	۲/۱۰^{c}	۲/۱۰^{c}	۲/۴۱^{b}	۲/۳۳^{b}	۲/۶۲^{a}
MSW_{20}	۰/۵۴^{ij}	۰/۵۶^{ij}	۰/۵۶^{ij}	۰/۶۳^{hi}	۰/۵۷^{ij}	۰/۶۹^{h}
MSW_{40}	۱/۰۸^{g}	۱/۰۸^{g}	۱/۱^{g}	۱/۲۵^{f}	۱/۱۹^{f}	۱/۲۸^{f}

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.
SS_{20} میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، SS_{40} میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، MSW20 میزان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، MSW40 میزان ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، A فقط میزان مصرف سال ۸۵، B میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۸، C میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۶، D میزان مصرف در سالهای ۸۵، ۸۶ و ۸۸، E میزان مصرف از سال ۸۵ تا ۸۷ و F مصرف از سال۸۵ تا ۸۸ است.

جدول ۵- مقایسه میانگین جذب کادمیم در برگ گاوزبان در تیمارهای کودی مختلف (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمار	شاهد	SS_{20}	SS_{40}	MSW_{20}	MSW_{40}
	۰/۵۴^{e}	۱/۶۴^{b}	۲/۱۳^{a}	۱/۱۸^{d}	۱/۳۷^{c}

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.
SS_{20} میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، SS_{40} میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، MSW20 میزان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار و MSW40 میزان ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار است.

جدول۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای سال و کود بر میزان نیکل تجمع یافته در برگ گاوزبان (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمار	A	B	C	D	E	F
شاهد	۵/۳۴^{k}	۵/۳۴^{k}	۵/۳۴^{k}	۵/۳۴^{k}	۵/۳۴^{k}	۵/۳۴^{k}
SS_{20}	۵/۳۳^{k}	۶/۴۰^{j}	۶/۴۰^{j}	۷/۴۶^{hi}	۷/۹۴^{gh}	۹/۵۵^{cd}
SS_{40}	۶/۳۳^{j}	۱۰/۱۳^{c}	۷/۴۴^{hi}	۱۵/۳۲^{a}	۸/۳۴^{efg}	۱۰/۱۴^{c}
MSW_{20}	۶/۹۱^{ij}	۷/۸۸^{gh}	۷/۹۳^{gh}	۸/۱۵^{fgh}	۸/۸۸^{def}	۷/۷۳^{gh}
MSW_{40}	۷/۴۶^{hi}	۹/۱۵^{d}	۹/۳۶^{d}	۱۱/۳۷^{b}	۸/۹۹^{de}	۹/۲۶^{d}

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.
SS_{20} میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، SS_{40} میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، MSW20 میزان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، MSW40 میزان ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، A فقط میزان مصرف سال ۸۵، B میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۸، C میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۶، D میزان مصرف در سالهای ۸۵، ۸۶ و ۸۸، E میزان مصرف از سال ۸۵ تا ۸۷ و F مصرف از سال۸۵ تا ۸۸ است.

بررسی دوره‌های مختلف مصرف کودهای آلی هیچ اثر معنی‌داری را بر میزان کادمیم برگ باعث نشد (جدول ۲). اما در تیمار با مصرف سه سال نامتوالی (D) بالاترین سطح جذب نیکل در برگ گاوزبان یعنی ۱۵/۳۲ میلی‌گرم در کیلوگرم مشاهده شد که نسبت به شاهد تقریباً سه برابر شده است (جدول ۶). اثرات تجمعی و باقیمانده، مصرف کودهای آلی در تجمع نیکل در برگ گاوزبان نیز مشاهده شده است که نشان دهنده ریسک محیطی بالای استفاده از چنین کودهایی در خاک زیر کشت است[۱۱ و ۲۹].

۳-۲-۳-گل

بررسی تیمارهای مختلف کودی در گل گاوزبان نشان داد که بالاترین میزان کادمیم یعنی ۲/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار بوده است. تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار نسبت به تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن کمپوست زباله شهری باعث افزایش بیشتر کادمیم در گل گاوزبان گردید (جدول ۷). هرچند تیمارهای کودی کمپوست زباله شهری نیز در مقایسه با تیمار شاهد، اختلاف معنی‌داری نشان داد. تیمارهای ۴۰ تن کمپوست زباله شهری نیز منجر به بالاترین میزان نیکل یعنی ۸/۰۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در گل گاوزبان شدند (جدول ۷). برخی تیمارهای ۲۰ و ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار نشان ندادند. تیمارهای ۲۰ تن لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری به یک اندازه باعث افزایش تجمع نیکل در گل گاوزبان شدند، البته در مقایسه با شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. نتایج مطالعات دیگر نیز تجمع فلزات سنگین در برگ و گل گیاه دارویی بابونه را نشان می‌دهد[۳۷]. در بررسی تیمارهای سال مصرف، بالاترین سطح کادمیم در چهار سال متوالی (F) مشاهده شد یعنی ۲/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم. در ضمن نتایج نشان داد که مصرف کودهای آلی در سالهای نامتوالی (B و D) افزایش بیشتری از تجمع کادمیم در گل گاوزبان را نشان داد که نشان دهنده اثرات تجمعی استفاده از چنین کودهایی است. میزان نیکل گل نیز در تیمارهای دو و سه سال نامتوالی (B و D) و دو و چهار سال متوالی (E و F) تفاوت معنی‌داری را نسبت به هم نشان ندادند، اما تفاوت معنی‌داری نسبت به تیمار دو سال متوالی داشتند (C) (جدول ۴). اثرات متقابل تیمارهای سال و کود بر میزان جذب کادمیم و نیکل در اندامهای مختلف گیاه گاوزبان دارای اثر معنی‌دار بود (جدول۲). در تیمارهایی که فقط در سال ۸۵ لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری مصرف شده (در سطح ۴۰ تن در هکتار) و سپس در سالهای بعدی تا سال ۸۸ لجن فاضلاب مصرف نشده، میزان نیکل جذب شده در گل گاوزبان نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار شد (جدول ۷). لذا این نتایج بیان کننده تأثیرات بلند مدت و وجود اثرات باقیمانده چندین ساله لجن فاضلاب در محیط خاک است.

فاکتور غلظت برای دو مرحله جذب (نسبت میزان عنصر در ریشه به میزان عنصر قابل جذب خاک) و انتقال به اندام هوایی گیاه (نسبت میزان عنصر در برگ به میزان عنصر در ریشه) محاسبه گردید. نتایج نشان داد که فاکتور جذب برای عنصر نیکل بیشتر از واحد بوده و نیکل قابل جذب خاک توسط ریشه گاوزبان به مقدار ۴ تا ۶ برابر در تیمارهای کودی مختلف جذب شده است (جدول ۸) اما اگرچه فاکتور انتقال نیز بیشتر از واحد بوده که به معنای تجمع عنصر در برگ و گل گیاه گاوزبان است، اما به نسبت کمتری در گیاه گاوزبان قابلیت انتقال دارد. در مورد عنصر کادمیم، فاکتور جذب بسیار بالا است که بیانگر جذب کادمیم بالای ریشه گاوزبان از

جدول۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای سال و کود بر میزان نیکل و کادمیم تجمع یافته در گل گاوزبان (میلی‌گرم در کیلوگرم)

تیمار	A	B	C	D	E	F
نیکل گل (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
شاهد	۵/۸۹^{h}	۵/۸۹^{h}	۵/۸۹^{h}	۵/۸۹^{h}	۵/۸۹^{h}	۵/۸۹^{h}
SS_{20}	۶/۵۴^{fgh}	۷/۱۴^{cdef}	۶/۵۴^{fgh}	۷/۷۴^{abc}	۷/۳۳^{bcd}	۷/۱۶^{cdef}
SS_{40}	۷/۱۴^{cdef}	۷/۵۴^{bcd}	۷/۳۳^{bcd}	۷/۹۴^{ab}	۷/۵۳^{abcd}	۷/۵۴^{abcd}
MSW_{20}	۶/۰۹^{gh}	۷/۸۵^{abc}	۶/۸۸^{def}	۶/۹۲^{def}	۷/۰۱^{def}	۷/۲۳^{bcdef}
MSW_{40}	۵/۵۷^{efg}	۷/۸۹^{ab}	۷/۵۶^{abcd}	۷/۲۶^{bcde}	۷/۸۵^{abc}	۸/۰۶^{a}
کادمیم گل (میلی‌گرم در کیلوگرم)						
شاهد	۰/۵۴^{k}	۰/۵۴^{k}	۰/۵۴^{k}	۰/۵۸^{k}	۰/۵۴^{k}	۰/۶^{k}
SS_{20}	۱/۵۲^{fgh}	۱/۵۶^{fg}	۱/۶۰^{f}	۱/۷۲^{e}	۱/۵۶^{fg}	۱/۸۱^{d}
SS_{40}	۱/۸۴^{d}	۱/۹۷^{c}	۱/۸۷^{d}	۲/۱۵^{b}	۲/۰۵^{c}	۲/۳۳^{a}
MSW_{20}	۱/۱۸^{J}	۱/۱۸^{J}	۱/۱۶^{J}	۱/۲۱^{J}	۱/۱۹^{J}	۱/۲۱^{J}
MSW_{40}	۱/۳۸^{I}	۱/۴۷^{ghi}	۱/۴۴^{hi}	۱/۶۹^{e}	۱/۵۶^{fg}	۱/۷۱^{e}

در هر ستون و ردیف اعدادی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند از نظر آماری در سطح ۵ درصد با آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

SS_{20} میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، SS_{40} میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، MSW20 میزان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، MSW40 میزان ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار، A فقط میزان مصرف سال ۸۵ ، B میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۸ ، C میزان مصرف در سالهای ۸۵ و۸۶ ، D میزان مصرف در سالهای ۸۵ ، ۸۶ و ۸۸ ، E میزان مصرف از سال ۸۵ تا ۸۷ و F مصرف از سال۸۵ تا ۸۸ است.

جدول ۸- فاکتور غلظت کادمیم و نیکل برای جذب (C_{root} / C_{soil}) و انتقال به گیاه (C_{leaf} / C_{root})

تیمار	فاکتور جذب		فاکتور انتقال	
	کادمیم	نیکل	کادمیم	نیکل
SS_{20}	۱۵/۰۰	۳/۳۷	۰/۷۱	۱/۵۲
SS_{40}	۱۷/۵	۳/۸۹	۱/۰۱	۱/۳۲
MSW_{20}	۵/۳۶	۶/۶۲	۲/۰۰	۱/۲۸
MSW_{40}	۱۰/۶۳	۵/۹۸	۱/۱۷	۱/۴۶

SS_{20} میزان ۲۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، SS_{40} میزان ۴۰ تن لجن فاضلاب در هکتار، MSW20 میزان ۲۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار و MSW40 میزان ۴۰ تن کمپوست زباله شهری در هکتار

خاک تیمار شده با کودهای آلی است. فاکتور انتقال نیز در مورد کادمیم به غیر از تیمار ۲۰ تن لجن فاضلاب بیشتر از واحد است (۱<)، یعنی گیاه گاوزبان هم مقدار زیادی از کادمیم قابل جذب خاک را جذب می‌کند و هم به اندام هوایی انتقال می‌دهد[۲۶]. وودبری[1] در سال ۱۹۹۲ نیز در بررسی‌های خود عنوان کرده است که قابلیت جذب عناصر موجود در کودهای آلی با افزایش فعالیت در ریزوسفر ریشه افزایش می‌یابد و برخی گیاهان این عناصر را بیشتر در ریشه تجمع می‌دهند و برخی نیز به اندام هوایی انتقال می‌دهند که این توانایی در انتقال به‌دلیل تفاوت در گونه گیاهی متفاوت است[۳۱ و ۳۸].

[1] Woodbury

۴- نتیجه‌گیری

مصرف لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری علی‌رغم تأثیر مطلوب در رشد و نمو گیاه، مقدار کادمیم و نیکل قابل جذب خاک و همچنین میزان این عناصر را در ریشه، برگ و گل گاوزبان افزایش می‌دهد. با افزایش دفعات سالهای کوددهی، جذب و تجمع کادمیم و نیکل در ریشه، برگ و گل گاوزبان نیز افزایش یافت. مصرف ۴۰ تن لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری در سه سال نامتوالی و چهار سال متوالی، بالاترین میزان تجمع را در اندامهای مختلف موجب شده است. در تیماری که تنها یک سال از تیمارهای کودی مصرف گردید، کمترین میزان عناصر بالا در خاک و اندامهای گیاهی تجمع یافت اما به‌دلیل برجای ماندن عناصر بالا، در مقایسه با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری داشت. ضریب انتقال کادمیم و نیکل هر دو نشان دهنده تجمع این دو عنصر در اندام هوایی گاوزبان است اما ضریب جذب در مورد دو عنصر متفاوت بود. ریشه گیاه قابلیت جذب کادمیم از خاک را نسبت به نیکل بیشتر دارا بوده و میزان آن در ریشه بیشتر بوده است. بنابراین رعایت فاصله زمانی مناسب بین دفعات کوددهی می‌تواند در کاهش جذب این دو عنصر مفید باشد. گرچه مقادیر تجمع کادمیم و نیکل زیاد و بحرانی نیست اما با توجه به گسترش استفاده از گیاهان دارویی به‌ویژه گل گاوزبان در کشور، استفاده مستمر و بلند مدت از لجن فاضلاب و کمپوست زباله شهری باید با دقت بیشتری صورت پذیرد.

۵- مراجع

1- Peng, K., Li, X., Luo, C., and Shen, Z. (2006). "Vegetation composition and heavy metal uptake by wild plants at three contaminated sites in Xiangxi area, China." *J. of Environmental Science and Health*, 40, 65-76.

2- Xiong, Z.T. (1998). "Lead uptake and effects on seed germination and plant growth in a Pb hyperaccumulator Brassica pekinensis." *J. of Environment Contamination and Toxicolology*, 60, 285-291.

3- Iwegbue, C.M.A., Emuh, F.N., Isirimah, N.O., and Egun, A.C. (2007). "Fractionation, characterization and speciation of heavy metals distribution in a degraded soil under a semi-arid environment science." *J. of Total Environment*, 255, 213-219.

4- Kidd, P.S., Dominguez-Rodriguez, M.J., Diez, J., and Monterroso, C. (2007). "Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agriculture soils amended by long-term application of sewage sludge." *J. of Chemosphere*, 66, 1458-1467.

5- Jordao, C.P., Nascentes, C.C., Ceron, P.R., and Fontes, R.L. (2006). "Heavy metals availability in soil amended with composted urban solid wastes." *J. of Environ. Monit. Assess*., 112, 309-326.

6- Pinamonti, F., Stringari, G., and Zorzi, G. (1997). "Use of compost in soil less cultivation." *J. of Compost Science and Utilization*, 5, 38-46.

7- Alloway, B.J., and Jackson, A.P. (1991). "The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils." *J. of Science, Total Environment*, 100, 151-176.

8- McBride, M., Sauve, S., and Hendershot, W. (1997). "Solubility control of Cu, Zn, Cd and Pb in contaminated soils." *Euro. J. of Soil Sci*., 48, 337-346.
9- Domsch, K.H. (1984). "Effects of pesticides and heavy metals on biological processes in soil." *J. of Plant and Soil*, 76, 367-378.
10- Bergkvist, P., Jarvis, N., Berggren, D., and Carlgren, K. (2003). "Long-term effects of sewage sludge additions on soil properties, cadmium availability and distribution in arable soil." *J. of Agriculture Ecosystem Environment*, 97, 167-179.
11- Ghaedi, M., Shokrollahi, A., Kianfar, A.H., Mirsadeghi, A.S., Pourfarokhi, A., and Soyla, K.M. (2008). "The determination of some heavy metals in food samples by flame atomic absorption spectrometry after their separation-preconcentration on bis salicyl aldehyde 1, 3 propan diimine (BSPDI) loaded on activated carbon." *J. of Hazard Mater.*, 154, 128-134.
12- Hendrickson, L.L., and Corey, R.B. (1981). "Effect of equilibrium metal concentrations on apparent selectivity coefficients of soil complexes." *J. of Soil Science*, 131, 136-171
13- Fricke, K., and Vogtmann, H. (1994). "Compost quality: Physical characteristics, nutrient content. Heavy metals and organic chemicals." *J. of Toxicology and Environmental Chemistry*, 43, 95-114.
14- Wolkowski, R.P. (2003). "Nitrogen management considerations for land spreading municipal solid waste compost." *J. of Environmental Quality*, 32, 1844-1850.
15- Gajewska, E., and Skodowska, M. (2007). "Relations between tocopherol, chlorophyll and lipid peroxides contents in shoots of Ni-treated wheat." *J. of Plant Physiol*., 164, 364-366.
16- Gajewska, E., Skodowska, M., Saba, M., and Mazur, J. (2006). "Effect of nickel on antioxidative enzyme activities and chlorophyll contents in wheat shoots." *J. of Biol. Plant*, 50, 653-659
17- Kabata-Pendias, A., and Pendias, H. (1985). *Trace elements in soils and plants*, Boca Raton: CRC Press Inc. Florida.
18- WHO. (1999). *Monographs on selected medicinal plants*, World Health Organization, Geneva.
19- Romkens, P., Bouwman, L., Japenga, J., and Draaisma, C. (2002). "Potential and drawbacks of chlate-enhanced phytoremediation of soils." *J. of Environmental Pollution*, 116, 109-121.
20- Naghdi Badi, H., Soroushzadeh, A., Rezazadeh, Sh., Sharifi, M., Ghalavand, A., and Omidi, H. (2007). "The review of Borage plant (a valuable medicinal plant and full of GLA acid)." *J. of Seasonal Magazine of Medicinal Plant*, 24, 1-13.
21- Jones, J.B., and Case, V.W. (1990). "Sampling, handling and analyzing plant tissue samples." Westerman, R.L. (Ed.), *Soil testing and plant analysis*, 3rd Ed., Soil Science Society of America Books Series: No. 3, pp. 389-427, Madison, WI: Soil Science Society of America.
22- AOAC. (1990). *Official methods of the association of official analytical chemists*, Arlington, VA.
23- Risser, J.A., and Baker, D.E. (1999). "Testing soils for toxic metals." Westerman, R.L. (Ed.), *Soil testing and plant analysis*, 3rd Ed., Soil Science Society of America Books Series: No. 3, pp. 275-298, Madison, WI: Soil Science Society of America.
24- Millis, P.R., Ramsey, M.H., and John E.A. (2004). "Heterogeneity of cadmium concentration in soil as a source of uncertainly in plant uptake and its implication for human health risk assessment." *J. of Sci. Environ*., 326, 49-53.
25- Antoniadis, V., and Alloway, B.J. (2002). "The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils." *J. of Environment Pollution*, 117, 515-521.
26- Ortiz, O, and Alkaniz, J.M. (2006). "Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge." *J. of Bioresource Technology*, 97, 545-552.

27- Bahremand, M.R., Afyuni, M., Haj Abbasi, M. A., and Rezaie Nejad, V.Y. (2002). "Effect of sewage sludge on some physical characteristic of soil." *Scientific and Technological Magazine of Agriculture and Natural Sources*, 4, 1-8.

28- Rezaie Nejad, Y., and Afyuni, M. (1999). "Effect of organic matter on chemical characteristic of soil, uptake of the elements by corn and its yield." *Scientific and Technological Magazine of Agriculture and Natural Sources*, 4, 19-28.

29- Jordao, C.P., Cecon, P.R., and Pereira, J.L. (2003). "Evaluation of metal concentrations in edible vegetables grown in compost amended soil." *Int. J. of Environmental Studies*, 60(6), 547-562.

30- Rundle, H., Calcroff, M., and Hoh, C. (1982). "Agricultural disposal of sludges on a historic sludge disposal site." *J. of Water Pollution Control*, 81, 619-632.

31- McBride, M.B. (2003). "Toxic metals in sewage sludge-amended soils: Has promotion of beneficial use discounted the risks." *J. of Adv. Environ. Res*., 8, 5-19.

32- Bevacqua, R.F., and Mellano, V.J. (1993). "Sewage sludge compost's cumulative effect on crop growth and soil properties." *J. of Compost Science Utilization*, 1, 34-37.

33- Pais, I.J., and Jones, B.J. (1997). *The handbook of trace elements*, St. Luice Press, N.W., Boca Raton, Florida.

34- Skousen, J., and Clinger, C. (1991). "Sewage sludge land application program in West Virginia." *J. of Soil and Water Conservation*, 48(2), 145-151.

35- McBride, M.B. (1995). "Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: Are USEPA regulations protective." *J. of Environmental Quality*, 24, 5-18.

36- Kovacik, J., Tomko, J., Backor, M., and Repca, K.M. (2006). "Matricaria chamomilla is not a hyperaccumulator, but tolerant to cadmium stress." *J. of Plant Growth Regulators*, 50, 239-247.

37- Grejtovsky, A., and Pirc, R. (2000). "Effect of high cadmium concentrations in soil on growth, uptake of nutrients and some heavy metals of *Chamomilla recutita (L.)* Rauschert," *J. of Appl. Bot., Angew. Bot*., 74, 169-174.

38- Woodbury, P.T. (1992). "Trace elements in municipal solid waste composts: A review of potential detrimental effects on plants, soil biota, and water quality." *J. of Biomass Bioenergy*, 3(3/4), 239-259.