

## بررسی اثر لجن فاضلاب و کودهای معدنی بر غلظت برخی عناصر کم مصرف در برگ و دانه ذرت

نصیبه رضوان‌طلب\*<sup>۱</sup>، همت‌اله پیردشتی<sup>۲</sup>، محمدعلی بهمنیار<sup>۳</sup>، ارسطو عباسیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

<sup>۲</sup>استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

<sup>۳</sup>دانشیار، گروه خاکشناسی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

<sup>۴</sup>مربی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۲۳

### چکیده

به منظور بررسی اثر مقادیر مختلف لجن فاضلاب و کودهای معدنی بر غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز در ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) آزمایشی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، در سال زراعی ۱۳۸۶ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و سه تکرار انجام شد. عامل اصلی ۶ تیمار کودی شامل شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، کود شیمیایی (سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل هر یک به میزان ۷۵ و اوره ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی به کار رفته و یا بدون تلفیق با کود شیمیایی بود و عامل فرعی نیز تفاوت کاربرد یک‌ساله و دو ساله تیمارهای کودی در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج، نوع و مقدار کود مصرفی بر کلیه صفات به جز غلظت مس دانه تأثیر معنی‌داری را نشان داد. همچنین مدت مصرف کود بر تمام صفات فوق به جز غلظت آهن و روی دانه و غلظت مس برگ مؤثر بود. نوع کود مصرفی و استفاده از آن به مدت یک‌سال و یا دو سال متوالی موجب افزایش معنی‌داری در عملکرد دانه، غلظت آهن و روی برگ و غلظت روی و مس دانه شد. نتایج نشان داد که افزایش در غلظت آهن برگ با افزایش در غلظت آهن دانه همراه بود، همچنین افزایش منگنز برگ بر افزایش منگنز دانه نیز مؤثر بود. در مجموع می‌توان گفت که استفاده از لجن فاضلاب موجب غنی‌سازی عناصر آهن و روی در برگ و مس و روی در دانه ذرت نسبت به شاهد گردید.

واژگان کلیدی: آهن، ذرت، روی، لجن فاضلاب، مس، منگنز.

### مقدمه

شیمیایی و با فعالیت‌های بیولوژیکی در تصفیه خانه فاضلاب به دست می‌آید و در حقیقت نوعی محصول فرعی مهم در فرآیند تصفیه می‌باشد. مصرف لجن فاضلاب در خاک یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده مجدد از فاضلاب است که شامل مصارف کشاورزی، جنگل‌کاری، درخت‌کاری، احیای اراضی، احیای چمن زمین‌های بازی، میدان اسب دوانی،

لجن فاضلاب باقی مانده حاصل از تصفیه فاضلاب خانگی است. عبارت دیگر، لجن فاضلاب مواد جامدی است که در روش‌های مختلف تصفیه به منظور حذف آلاینده‌های معلق و محلول از فاضلاب از طریق جداسازی مواد جامد از مایع و یا ترکیب

\*نویسنده مسئول: na\_rezvan@yahoo.com

Zheljazkova and (Mocquot, 1999) مس (Warman, 2004) و افزایش عملکرد محصولات زراعی مختلف (Gardio et al.; Bozkurt et al., 2006) با مصرف لجن فاضلاب در گیاهان مختلف اشاره نمود. همچنین Nyamangara و Mzezewa (۱۹۹۹) گزارش کردند که لجن فاضلاب مقدار مس را از ۲۰ پی پی ام در تیمار شاهد به ۲۳۲ پی پی ام در اندام‌های رویشی گیاهان مرتعی افزایش داد.

قابلیت جذب عناصر مرتبط با فرآیند محلول شدن آنها در خاک است. اغلب عناصر ضروری موجود در کودهای آلی توسط ذرات معدنی و مواد آلی خاک جذب شده و از دسترس گیاهان خارج می‌گردد، بنابراین کمتر از ۱ درصد مقادیر عناصر موجود در کودهای آلی توسط گیاهان قابل جذب می‌باشد (Chena, Moreno Pires et al., 2007) و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که قابلیت جذب عناصر توسط گیاهان به وسیله فاکتورهایی همچون اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی، مقدار مواد آلی و غلظت عناصر غذایی رقیب تأثیر می‌پذیرد. همچنین اندازه ذرات و شکل آنها نیز ممکن است بر جذب عناصر توسط گیاهان مؤثر باشد.

با توجه به این که غالب خاک مناطق مختلف کشور از نظر مواد غذایی فقیر است و واردات کودهای شیمیایی جهت افزایش حاصل خیزی خاک نیز هزینه‌های ارزی - ریالی زیادی داشته و باعث آلودگی غیرقابل جبران محیط زیست می‌شود. لذا مصرف کودهای آلی می‌تواند جایگزین مناسبی برای حفظ باروری خاک باشد. برنامه‌ریزی درازمدت برای امکان گسترش تولید کود از لجن که در آن ضوابط و استانداردها از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، میکروبیولوژی و عناصر بالقوه سمی رعایت شده باشد، به‌عنوان یک منبع درآمد و

پارک‌ها و اماکن تفریحی است و یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده از زایدات می‌باشد. (بینا و همکاران، ۱۳۸۲).

لجن فاضلاب از پتانسیل کودی بالایی برخوردار است اما قبل از استفاده آن در زمین باید اثر آن را بر افزایش عناصر، مورد توجه قرار داد (واتقی و همکاران، ۱۳۸۴). اگرچه بیشتر فلزات سنگین در حین عملیات تصفیه فاضلاب، به‌صورت اکسید و یا هیدروکسید در لجن ته‌نشین می‌شوند (بینا و همکاران، ۱۳۸۲) ولی لجن فاضلاب به‌دلیل دارا بودن ماده آلی فراوان تأثیر به‌سزایی در افزایش قابلیت جذب فلزات کم مصرف و عناصر سنگین در خاک دارد. فلزات موجود در لجن نیز عمدتاً به‌صورت ترکیبات آلی بوده که دارای قابلیت جذب زیادی می‌باشند و غلظت قابل توجهی را در گیاه ایجاد خواهند نمود (نظری و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین مدت زمان مصرف لجن فاضلاب نیز اهمیت فراوانی در جذب فلزات سنگین به‌وسیله گیاهان دارد (هودجی و همکاران، ۱۳۸۰).

البته لجن فاضلاب با توجه به مراحل تولید ممکن است دارای پتانسیل خطرات آلودگی‌های زیست محیطی باشد، اما با توجه به اثرات مفید این ماده توصیه می‌شود مطالعات زیست‌محیطی و بررسی امکان آلودگی این مواد نیز به‌صورت جداگانه انجام و هرگونه توصیه کاربرد این مواد با احتیاط لازم انجام گیرد. از طرفی کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش هدایت الکتریکی خاک شده و مصرف مقادیر بالای آن در خاک‌های نسبتاً شور مشکل ساز می‌شود (واتقی و همکاران، ۱۳۸۴). تحقیقات وسیعی بر روی تأثیر مصرف لجن فاضلاب بر غلظت عناصر مس، آهن، روی و منگنز صورت گرفته است. از جمله می‌توان به افزایش غلظت روی (Dvorak et al., 2003)، منگنز (Bozkurt, 2003)، آهن (Jarusch-Wehrheim and

کمک به اقتصاد صنعت آب و فاضلاب کشور توصیه می‌گردد (بینا و همکاران، ۱۳۸۲).

بنابراین هدف از این تحقیق بررسی اثرات مقادیر مختلف لجن فاضلاب به صورت غنی شده با کودهای شیمیایی و یا عدم غنی‌سازی بر غلظت عناصر کم مصرف در برگ و دانه گیاه ذرت بود.

#### مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری در سال زراعی ۱۳۸۶ اجرا شد. این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۶ دقیقه شرقی قرار گرفته است. خصوصیات خاک منطقه و کودهای آلی به ترتیب در جدول ۱ و جدول ۲ آورده شده است.

طرح آماری مورد استفاده، کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل در سه تکرار در نظر گرفته شد. عامل اصلی ۶ تیمار کودی شامل شاهد (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل هر یک به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، لجن فاضلاب به میزان ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی به کار رفته و یا به صورت جداگانه و عدم مصرف کودهای شیمیایی بود و عامل فرعی نیز تفاوت کاربرد یکساله و دو ساله تیمارهای کودی در نظر گرفته شد. در نهایت تیمارهای مورد استفاده به شرح زیر می‌باشد: T۱: شاهد یا (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، T۲: کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، T۳: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T۴: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، T۵: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با

۵۰ درصد کود شیمیایی، T۶: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی.

منظور از کاربرد یکساله کود، استفاده از تیمارهای کودی مذکور فقط در سال ۱۳۸۵ است و کاربرد دوساله کود استفاده از همان تیمار کودی را هم در سال ۱۳۸۵ و هم در سال ۱۳۸۶ بیان می‌کند. کشت فقط در طی یک سال (۱۳۸۶) صورت گرفت به طوری که در ابتدا و در سال ۱۳۸۵ کلیه تیمارهای کودی در کرت‌های مربوط به خود اعمال شدند و کشت گیاه سویا صورت گرفت. در ادامه، عملیات آماده سازی زمین در بهار ۱۳۸۶ انجام شد. هر کرت به دو قسمت مساوی تقسیم و همان تیمار کودی مربوط به هر کرت در نیمی از کرت اعمال شد و به عنوان کاربرد دوساله کود در نظر گرفته شد. در نیمه دیگر کرت‌ها هیچ گونه کودی اضافه نشد و به عنوان کاربرد یکساله کود (فقط در سال ۱۳۸۵) در نظر گرفته شدند. کشت ذرت (رقم سینگل کراس ۷۰۴) مطابق با دستورالعمل‌های به زراعی، در سال ۱۳۸۶ در هر دو نوع کرت شامل کاربرد کود فقط در سال ۱۳۸۵ و کاربرد کود هم در سال ۱۳۸۵ و هم در سال ۱۳۸۶ مجموعاً در ۳۶ کرت انجام شد.

در هر کرت فاصله بین ردیف ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت به صورت هیرم کاری بوده و بذور سبز شده در مرحله دو برگی با فاصله استاندارد ۱۸ سانتی‌متر از یکدیگر تنک گردیدند. آبیاری مزرعه به روش بارانی دو هفته بعد از کاشت و در فواصل ۷ روزه انجام شد. مبارزه با علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها مطابق با عملیات زراعی متناسب با رشد ذرت صورت گرفت بدین صورت که مبارزه با علف‌های هرز به صورت وجین دستی و در دو و چهار هفته پس از کاشت انجام گردید. جهت مبارزه با آفات و بیماری‌ها در ۳ نوبت اقدام به سم پاشی گردید.

نرمال حل و به حجم ۵۰ میلی لیتر رسانیده شد و بعد از صاف کردن با کاغذ صافی، عصاره حاصل جمع آوری گردید. از عصاره حاصل جهت قرائت غلظت ریزمغذی‌های برگ و دانه توسط دستگاه جذب اتمی استفاده شد (امامی، ۱۳۷۵).  
در پایان جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از برنامه SAS (1997) و رسم نمودارها از صفحه گستر Excel استفاده گردید. جهت انجام مقایسات میانگین از آزمون دانکن و در سطح ۱ درصد استفاده شد.

نمونه‌ها بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون تا رسیدن به وزن خشک ثابت نگهداری شدند.  
به منظور تعیین عناصر میکرو (آهن، روی، منگنز و مس) مقدار ۰/۵ گرم نمونه آسیاب شده توسط ترازوی دیجیتالی توزین و به بوته‌های چینی منتقل گردید. سپس در کوره الکتریکی که دمای آن در طی ۲ ساعت به دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد رسید به مدت ۱۸ ساعت سوزانده و به خاکستر تبدیل شدند.  
خاکستر حاصل در ۲/۵ میلی لیتر اسید کلریدریک ۲

جدول ۱. میانگین نتایج خاک قبل از اجرای آزمایش

عمق نمونه برداری	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیته	مواد آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	فسفر (بی بی ام)	پتاسیم (بی بی ام)	شن	رس (درصد)	سیلت	بافت خاک
۰-۳۰	۱/۱۷	۷/۵۲	۲/۴۱	۰/۲۳۴	۱۴/۵۶	۲۷۸/۰۵	۱۰/۳۳	۴۶/۳۳	۴۳/۳۳	رسی-سیلتی

جدول ۲. برخی ویژگی‌های کودهای آلی مورد استفاده

نوع کود آلی	N	P	K	Fe	Zn	Cu	Mn	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	ماده آلی (درصد)	اسیدیته
لجن فاضلاب	۳۷/۲۲	۰/۴۳۰۷	۴۸۹۳/۹	۷۶/۹۴	۳۱۸/۰۲	۲۵/۷۵	۴۳/۳۴	۱۸/۲۲	۴/۵۳	۷/۴۴

## نتایج

**غلظت آهن برگ و دانه:** بررسی جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که نوع کود مصرفی بر غلظت آهن برگ و دانه تأثیر معنی داری داشت. استفاده از لجن فاضلاب به صورت جداگانه و یا غنی شده با کودهای شیمیایی به مدت یکسال و یا دوسال متوالی افزایش معنی داری را بر غلظت آهن برگ داشت اما بر غلظت آهن دانه مؤثر نبود، همچنین با تغییر در نوع کود و مدت مصرف آن مقادیر غلظت آهن برگ به صورت معنی داری تغییر نمود اما نتوانست غلظت آهن دانه را به طور معنی داری تغییر دهد، از این

رو بالاترین غلظت آهن برگ هنگامی به دست آمد که از لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار به مدت دو سال متوالی استفاده شد (شکل ۱). با توجه به نتایج، مصرف دو ساله لجن فاضلاب به صورت غنی شده با کودهای شیمیایی و یا به تنهایی اثر بهتری را بر تجمع آهن در دانه و برگ ذرت داشت و از لحاظ آماری غلظت آهن دانه و برگ تفاوت معنی داری را نشان داد. رابطه مثبت و معنی داری بین غلظت آهن برگ با غلظت منگنز، مس و آهن دانه مشاهده شد ولی با عملکرد دانه همبستگی معنی داری را نداشت (جدول ۴).

**جدول ۳.** تجزیه واریانس اثرات مقادیر مختلف کود بر غلظت عناصر کم مصرف در برگ و دانه و عملکرد دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	آهن			روی			منگنز		
		دانه (میلی گرم بر کیلوگرم)	برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)	عملکرد دانه (تن بر هکتار)	دانه (میلی گرم بر کیلوگرم)	برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)	عملکرد دانه (تن بر هکتار)	دانه (میلی گرم بر کیلوگرم)	برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)	عملکرد دانه (تن بر هکتار)
تکرار	۲	۱۰/۴۶	۳۰/۳۱	۲/۳۷	۱۶/۳۸	۴۹۳۰/۸۴	۳۷/۲۲	۴۹/۱۵	۱۰۵/۵۵	۳/۰۷
نوع کود (A)	۵	۴۸/۳۳**	۱۷/۱۳*	۱/۴۵n.s	۱/۴۷**	۲۲۲۵/۱۱**	۴۴۴/۵۶*	۲۲۸/۵۶**	۷۰/۵۳*	۵/۶۸**
خطای a	۱۰	۶/۵	۳/۲۷	۰/۴۷	۰/۲۴	۶۱۰/۵۲	۸۸/۵۰	۳۷/۵۴	۱۸/۰۵	۰/۱۳
کاربرد کود (B)	۱	۳۵/۴۲n.s	۰/۳n.s	۱/۱۷*	۲/۴۲**	۱۳۳۱۰/۶۲**	۳۶۱/۵۷*	۱۸۶/۶۴n.s	۱۷۴/۷۲**	۲۱/۷۹**
(A) × (B)	۵	۱۵/۳۷n.s	۱۷/۱۱۷*	۱/۸۳**	۰/۷n.s	۱۸۷۹/۷۶*	۱۰۰/۸۷*	۲۵/۲۶n.s	۹/۷۴n.s	۰/۷۸*
خطای b		۹/۸۴	۲/۴۳	۱/۵۶	۰/۱۸	۵۴۱/۹۳	۳۳/۰۷	۱۶۷/۲۹	۱۷/۱۸	۰/۲۱
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۸	۶/۳۸	۱۱/۱۷	۹/۱۱	۱۱/۴۵	۱۳/۰۲	۱۴/۱۵	۱۰/۵۷	۵/۱۴۱

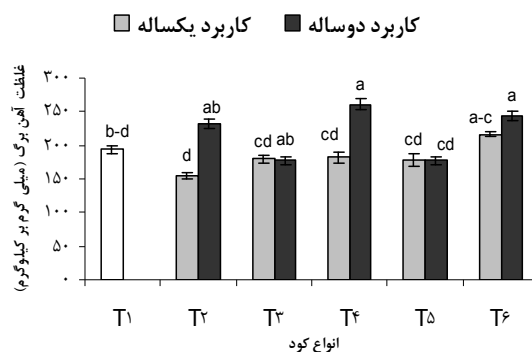
\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد، n.s برابر با عدم تفاوت معنی دار.

**جدول ۴.** ضرایب همبستگی غلظت عناصر کم مصرف برگ و دانه و عملکرد دانه ذرت (n=۳۶)

عملکرد دانه (تن بر هکتار)	منگنز	مس	روی	آهن		
				دانه (میلی گرم بر کیلوگرم)	برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)	عملکرد دانه (تن بر هکتار)
آهن برگ	۰/۵۲**	۰/۶۲**	۰/۳۰n.s	۰/۵۵**	۰/۵۱**	۰/۲۴n.s
روی برگ	۰/۱۱n.s	-۰/۱۸n.s	۰/۲۸n.s	۰/۴۵**	۰/۴۷**	۰/۱۶n.s
مس برگ	۰/۰۵n.s	۰/۱۹n.s	۰/۳*	۰/۳۱n.s	۰/۳۶*	۰/۲۶n.s
منگنز برگ	-۰/۰۵n.s	۰/۲۷n.s	۰/۳۶*	۰/۴۷**	۱	-۰/۰۵n.s
آهن دانه	۰/۱۴n.s	۰/۵۶**	۰/۳۶*	۱		۰/۱۴n.s
روی دانه	۰/۰۶n.s	۰/۶۲**	۰/۲۸n.s			۰/۰۶n.s
مس دانه	۰/۲۰n.s	۰/۴۱*	۱			۰/۲۰n.s
منگنز دانه	-۰/۰۴n.s	۱				-۰/۰۴n.s
عملکرد دانه	۱					۱

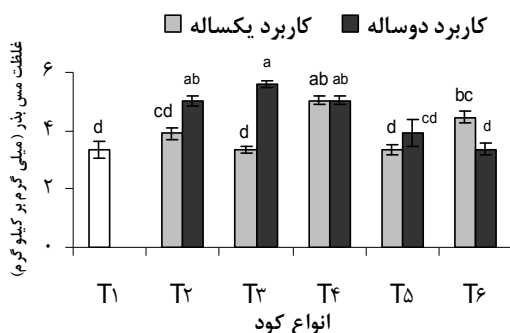
#### غلظت روی در برگ و دانه: اثر نوع کود مصرفی بر

غلظت روی در برگ و دانه ذرت از لحاظ آماری معنی دار بود ولی استفاده آن به مدت یکسال و یا دوسال متوالی فقط بر غلظت روی در برگ ذرت معنی دار بود و نشان داد که مصرف لجن فاضلاب به مدت دو سال متوالی بهتر از مصرف یکساله آن بر افزایش غلظت روی در برگ مؤثر می‌باشد. اثر متقابل نوع کود در مدت مصرف آن نیز فقط مقدار روی در دانه از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۳) و بالاترین مقدار غلظت روی در دانه متعلق به مصرف لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار به مدت دو سال متوالی بود که با کلیه تیمارهای مورد بررسی تفاوت معنی داری را در سطح ۵ درصد نشان داد (شکل ۲). هیچ رابطه مثبت و معنی داری بین غلظت عنصر روی در برگ و غلظت عنصر روی در دانه مشاهده نشد که



**شکل ۱.** اثر متقابل مقادیر مختلف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی و کاربرد یکساله و دوساله آن بر غلظت آهن در برگ ذرت. T1: شاهد یا (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، T2: کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، T3: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T4: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، T5: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T6: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی.

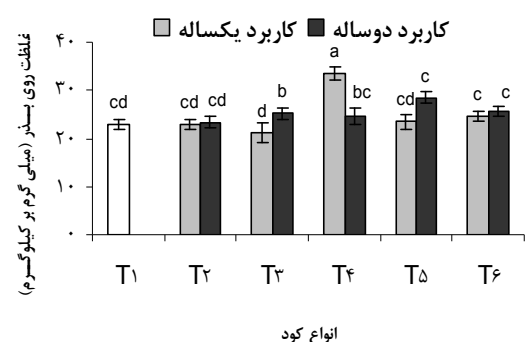
شیمیایی و مصرف یکساله کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار نشان نداد (شکل ۳).



شکل ۳. متقابل مقادیر مختلف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی و کاربرد یکساله و دوساله آن بر غلظت مس در بذر ذرت. T<sub>1</sub>: شاهد یا (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، T<sub>2</sub> کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، T<sub>3</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T<sub>4</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، T<sub>5</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T<sub>6</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی.

**غلظت منگنز برگ و دانه:** مقدار غلظت منگنز برگ و دانه ذرت تحت تأثیر نوع کود مصرفی و مدت مصرف آن قرار گرفت بدین ترتیب که هر دو نوع تیمار از لحاظ آماری بر غلظت منگنز دانه مؤثر بودند. اثر متقابل بین نوع کود مصرفی و مدت مصرف آن نتوانست بر میزان غلظت برگ و دانه از نظر آماری معنی دار باشد (جدول ۳). استفاده از لجن فاضلاب به مدت دو سال متوالی اثر معنی داری در افزایش منگنز برگ و دانه ذرت نشان داد به طوری که مصرف یکساله نسبت به مصرف دو ساله باعث افزایش غلظت منگنز دانه (۲۴/۳۹ میلی گرم بر کیلوگرم) و کاهش منگنز برگ (۱۵/۱۳ میلی گرم بر کیلوگرم) گردید (جدول ۵).

این امر می تواند با تحرک بسیار کم عنصر روی در بافت های گیاهی توجیه شود (جدول ۵).



شکل ۲. اثر متقابل مقادیر مختلف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی و کاربرد یکساله و دوساله آن بر غلظت روی در بذر ذرت. T<sub>1</sub>: شاهد یا (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، T<sub>2</sub> کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، T<sub>3</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T<sub>4</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، T<sub>5</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T<sub>6</sub>: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی.

**غلظت مس برگ و دانه:** نوع کود مصرفی نتوانست تأثیر معنی داری را بر غلظت مس در برگ و دانه داشته باشد، همچنین غلظت مس برگ و دانه نیز با مصرف یکساله و یا دوساله کمپوست لجن فاضلاب به صورت غنی شده با کودهای شیمیایی و یا جداگانه تفاوت معنی داری را نشان نداد. اثر متقابل نوع کود مصرفی و مدت مصرف آن نیز فقط بر غلظت مس در دانه از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۳) از این رو بالاترین غلظت مس دانه مربوط به مصرف دوساله کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار بود و از نظر آماری تفاوت معنی داری را با استفاده دوسال متوالی کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، کود

جدول ۵. مقایسات میانگین اندازه‌گیری شده در مقادیر مختلف کود و کاربرد سالانه کود

تیمار	کود*			دانه (میلی گرم بر کیلوگرم)			برگ (میلی گرم بر کیلوگرم)		
	آهن	روی	مس	منگنز	آهن	روی	مس	منگنز	عملکرد دانه (تن بر هکتار)
T1	۱۶/۲۱b	۲۲/۹۱b	۳/۳۵b	۴/۴۷bc	۱۹۳/۴۶bc	۳۹/۰۲b	۱۳/۸۳b	۴۰/۹ab	۷/۶۹d
T2	۱۷/۴۷b	۲۲/۸۷b	۴/۰۵ab	۴/۱۹c	۱۹۲/۹۷bc	۴۲/۹۳b	۱۷/۷۴b	۴۰/۱۹ab	۸/۰۸d
T3	۱۷/۰۴b	۲۳/۱۹b	۴/۴۷a	۴/۱۷c	۲۰۳/۴۹ab	۳۹/۰۲b	۲۰/۲۲b	۳۵/۲۶b	۹/۹۶b
T4	۲۰/۳۲b	۲۶/۵۳a	۴/۶۱a	۵/۰۳ab	۲۲۱/۴۱a	۴۳/۴۳b	۲۰/۹۳b	۴۰/۳۷ab	۹/۴۴b
T5	۱۸/۴۴b	۲۵/۹۸a	۳/۶۳ab	۷/۵۸a	۱۷۷/۷۶c	۴۴/۳۵b	۴۴/۳۵b	۳۹/۶۶b	۱۰/۰۱a
T6	۲۴/۵۳a	۲۴/۸۱ab	۴/۰۲ab	۴/۶۹bc	۲۲۹/۷۴a	۶۲/۰۹a	۳۲/۲۸a	۴۶/۰۴b	۹/۲۸b
کاربرد سالانه کود									
مصرف یکساله	۱۷/۹۷b	۲۳/۶۳b	۴/۲۶b	۱۵/۱۳b	۱۸۳/۹۱b	۴۱/۹۷b	۱۸/۸۶a	۴۲/۶۰b	۹/۸۵b
مصرف دوساله	۷۶/۱۹a	۲۵/۱۸a	۴/۳۲a	۲۴/۳۹a	۲۱۹/۳۶a	۴۸/۳۹a	۲۳/۴۱a	۳۸/۲a	۸/۳a

\*در هر ستون و برای هر تیمار اعداد دارای حروف مشابه تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون دانکن ندارند.

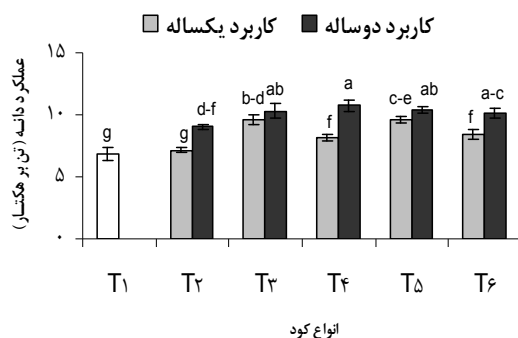
T1: شاهد یا (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، T2 کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، T3: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T4: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، T5: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T6: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی.

شکل ۴. اثر متقابل مقادیر مختلف لجن فاضلاب و کودهای شیمیایی و کاربرد یکساله و دوساله آن بر عملکرد دانه در ذرت. T1: شاهد یا (بدون مصرف کود شیمیایی و کمپوست)، T2 کود شیمیایی (سولفات پتاسیم، سوپر فسفات تریپل به میزان ۷۵ و اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار)، T3: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار، T4: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار، T5: کمپوست لجن فاضلاب ۲۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی، T6: کمپوست لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی.

#### بحث

مقادیر فلزات سنگین لجن فاضلاب بر اساس منشأ و روند تولید متفاوت است. نتایج تحقیقی نشان داد که لجن فاضلاب دارای حد مجاز فلزات سنگین بوده و اثرات مثبتی از نظر روند رشدی بر بوته‌های خیار داشت (Turkmen et al., 2004). همچنین نشان داده شده است که در چاودار ۲۰-۱۰ درصد کمپوست لجن فاضلاب توانست عناصر غذایی مورد نیاز این گیاه را فراهم نموده بدون اینکه بر افزایش مقدار نمک

عملکرد دانه: نوع کود مصرفی، مدت مصرف و همچنین اثر متقابل بین این دو تیمار از نظر آماری بر عملکرد دانه ذرت معنی‌دار بود و اختلاف معنی‌داری نیز بین تیمار شاهد و مصرف یکساله کود شیمیایی با سایر مقادیر کمپوست لجن فاضلاب و کود شیمیایی مشاهده گردید (جدول ۳). مصرف دو ساله کودهای مورد بررسی اثر بهتری را بر افزایش عملکرد دانه ذرت نشان داد (جدول ۴). همچنین بالاترین عملکرد دانه هنگامی به دست آمد که از کمپوست لجن فاضلاب به مدت دو سال متوالی استفاده شد. بین عملکرد دانه و کلیه عناصر کم مصرف موجود در برگ و دانه ذرت نیز همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).



روی در ذرت ۲۰۰-۳۰۰ پی پی ام گزارش شده است (Jarausch-Wehrheim and Mocquot, 1999). نتایج این تحقیق نشان داد که بیشترین میزان روی در بذر ذرت برابر با ۳۵/۲ پی پی ام بود. واثقی و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند که مقدار بیش از حد روی در گیاه موجب جلوگیری از طویل شدن ریشه و ساقه می گردد و ممکن است مقدار فتوستتوز و کلروفیل را در برگها کاهش دهد.

مصرف لجن فاضلاب در خاک می تواند منجر به افزایش مقدار روی در بافت های گیاهی گردد (Dvorak et al, 2003). از این رو Nyamangara و Mzezewa (1999) گزارش کردند که افزودن لجن فاضلاب به خاک موجب افزایش ۲/۲ برابری روی قابل جذب در خاک شده که این مقدار نسبت به کودهای آلی همچون بقایای گیاهی و دامی بسیار بیشتر بود. این افزایش باید به دلیل افزودن مستقیم روی در خاک توسط لجن فاضلاب باشد، همچنین کاهش اسیدیته خاک هم بر افزایش غلظت روی در خاک مؤثر است (واثقی و همکاران، ۱۳۸۴).

مقدار مس قابل جذب در خاک های تحت کشت ذرت به طور معنی داری متناسب با افزایش مقدار لجن فاضلاب افزایش نشان داد و این افزایش متناسب با کاهش اسیدیته خاک بود زیرا رسوب مس به صورت هیدروکسیدها و کربنات های نامحلول و کمپلکس های آلی با افزایش اسیدیته خاک کاهش یافت، بنابراین قابلیت جذب این عنصر در اسیدیته کم نسبت به اسیدیته زیاد بیشتر بود (واثقی و همکاران، ۱۳۸۴). آزمایشات بر روی سه نوع خاک لومی نشان دادند که کاربرد ۴۴ تن لجن فاضلاب در هکتار، عنصر مس را در همه بخش های خاک افزایش داد. برخی محققین معتقدند که کاربرد مواد آلی در خاک نمی تواند مقدار مس را در بافت های گیاهی افزایش دهد (واثقی و همکاران، ۱۳۸۴). ولی برخی دیگر گزارش کرده اند که با افزایش مقدار مس در خاک، قابلیت دسترسی

و عناصر سنگین خاک مؤثر باشد (et al., 2007). Morera و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که غلظت عناصر کم مصرف در گیاهان مرتعی با افزایش مقدار لجن فاضلاب افزایش یافت، البته اثر نوع خاک بر غلظت عناصر کم مصرف در اغلب گیاهان از اهمیت بیشتری نسبت به مقدار لجن فاضلاب در خاک برخوردار بود.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد بیشترین غلظت آهن برگ هنگامی به دست آمد که از لجن فاضلاب ۴۰ تن در هکتار به مدت دو سال متوالی استفاده شد. واثقی و همکاران (۱۳۸۴) در بررسی اثر لجن فاضلاب بر مقدار آهن خاک در ۴ شهر رشت، لنگرود، لاهیجان و اصفهان گزارش کردند که مقدار آهن قابل جذب در خاک های زیر کشت ذرت با افزایش مقدار لجن فاضلاب در هر ۴ خاک افزایش نشان داد. این افزایش در همه خاک ها بین تیمارهای مختلف لجن فاضلاب و شاهد معنی دار بود. همچنین نامبردگان نشان دادند که بیشترین مقدار آهن و کمترین میزان اسیدیته در خاک لنگرود مشاهده شد. کمترین مقدار آهن و بیشترین میزان اسیدیته نیز در خاک اصفهان به دست آمد. البته مطالعات نشان می دهد که به ازای هر واحد کاهش اسیدیته میزان حلالیت آهن ۱۰۰۰ برابر افزایش می یابد، بنابراین نقش لجن در کاهش اسیدیته خاک می تواند در افزایش قابلیت جذب آهن خاک مؤثر باشد. افزون بر این وجود مقدار قابل توجه آهن در لجن فاضلاب باعث افزایش قابلیت جذب آهن خاک می شود (واثقی و همکاران، ۱۳۸۴). Jarausch-Wehrheim و Mocquot (۱۹۹۹) گزارش کردند که مقدار آهن موجود در بوته های ذرت تحت تیمار مصرف لجن فاضلاب در حد نیاز رشد بوته های ذرت بوده و لجن فاضلاب توانست به عنوان منبع ارزشمند تأمین آهن برای کشت ذرت باشد.

مقدار بحرانی عنصر روی در بافت های گیاهی ۱۵-۳۰ پی پی ام می باشد. از طرفی مقدار نهایی غلظت



این عنصر افزایش یافته و مقدار آن در اندام‌های گیاهی افزایش می‌یابد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که تمایل جذب سطحی خاک‌ها به مس بیشتر از روی بوده و عنصر روی، قابلیت جذب بیشتری را نسبت به مس توسط گیاهان دارد (Zheljazkova and Warman, 2004). همچنین Nyamangara و Mzezewa (1999) دریافتند که لجن فاضلاب مقدار مس را از ۲۰ پی‌پی‌ام در تیمار شاهد به ۲۳۲ پی‌پی‌ام افزایش داد. مصرف دو سال متوالی لجن فاضلاب در خاک اثر بهتری بر قابلیت جذب مس و روی نسبت به مصرف یک‌ساله آن داشت.

همچنین نتایج تحقیقی نشان داد که مصرف لجن فاضلاب در سال اول موجب افزایش معنی‌داری در منگنز و روی در درخت سیب گردید اما تأثیر آن بر غلظت آهن و مس معنی‌دار نبود و با ادامه مصرف در سال دوم عناصر مس، منگنز، روی و آهن به‌طور معنی‌داری در برگ‌های سیب نسبت به شاهد افزایش یافتند (Bozhkurt, 2003).

Bozhkurt و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که عملکرد دانه ذرت به‌طور معنی‌داری با کاربرد ۱۹ تن لجن فاضلاب در هکتار افزایش یافت اما تیمارهای مورد بررسی بر غلظت عناصر سنگین برگ و دانه مؤثر نبود.

همچنین گزارش شده است بوته‌های باقلایی که با لجن فاضلاب تیمار شدند، بزرگ‌تر، سبزتر و دارای سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی بیشتری نسبت به تیمار شاهد بودند. همچنین کمپوست لجن فاضلاب عملکرد باقلا را ۳ برابر نسبت به شاهد افزایش داده که دلیل آن را فراهم نمودن عناصر غذایی مورد نیاز باقلا دانستند (Gardio et al., 2005).

#### نتیجه‌گیری نهایی

مصرف لجن فاضلاب نسبت به مصرف کودهای شیمیایی موجب فراهم نمودن عناصر ریز مغذی

بیشتری در تولید ذرت شد. بنابراین به دلیل افزایش میزان عناصر ریز مغذی در خاک، میزان جذب در گیاه نیز افزایش یافت. این امر ممکن است در کیفیت علوفه مؤثر باشد. از آنجا که در این مطالعه مشاهده شد، حتی با کاربرد دو سال متوالی از لجن فاضلاب میزان افزایش غلظت عناصر ریز مغذی در برگ و دانه ذرت از حد مجاز افزایش نیافت. بنابراین می‌توان از لجن فاضلاب برای بهبود کیفیت علوفه استفاده نمود. البته پیشنهاد می‌گردد که کاربرد دراز مدت آن نیز مورد بررسی قرار گیرد.

در مجموع می‌توان گفت که استفاده از لجن فاضلاب توانست موجب غنی‌سازی آهن و روی در برگ و مس و روی در دانه ذرت نسبت به شاهد گردد. به‌علاوه کاربرد لجن فاضلاب با کاهش آلودگی محیط زیست نقش مؤثری در افزایش عملکرد ذرت نیز ایفا می‌کند.

#### منابع

- امامی، ع. (۱۳۷۵). روش‌های تجزیه گیاه. نشریه فنی. مؤسسه تحقیقات آب و خاک، تهران. جلد ۱. شماره ۸۲ صفحه ۱۲۰.
- بینا، ب.، موحیدیان عطار، ح. و امینی، ا.ع. (۱۳۸۲). بررسی کیفیت لجن خشک شده تصفیه خانه‌های فاضلاب اصفهان و کاربرد آن برای مصارف مختلف. مجله آب و فاضلاب. جلد ۱۵. صفحات ۴۳-۳۴.
- نظری، م.ع.، شریعتمداری، ح.، افیونی، م.، مبلی، م. و راحیلی، س. (۱۳۸۵). بررسی اثر مصرف شیرابه و کمپوست لجن فاضلاب حاصل از بقایای صنعتی بر غلظت برخی از عناصر غذایی و عملکرد گندم، جو و ذرت. مجله علوم و تکنولوژی کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۰. صفحات ۹۷-۱۱۰.

- Gardio, S., Martin del campo, G., Esteller, M.V., Vaca, R. and Luggedo, J. (2005).** Heavy metals in soil treated with sewage sludge composting, their effect on yield and uptake of broad bean seeds (*Vicia faba* L.). *Water, Air, and Soil Pollution*. 166: 303–319.
- Jarusch-Wehrheim, B. and Mocquot, M. (1999).** Absorption and translocation of sludge-borne zinc in field-grown maize (*Zea mays* L.). *European Journal of Agronomy*. 11: 23–33.
- Moreno Pires, A. M., Marchi, G., Mattiazzo, M.E. and Guimarães Guilherme, L.R. (2007).** Organic acids in the rhizosphere and hytoavailability of sewage-sludge-borne trace elements. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 42 (7): 917-924.
- Morera, M.T., Echeverría, J., and Garrido, J. (2002).** Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge. *Canadian Journal of Soil Science*. 82: 433-438.
- Nyamangara, J., and Mzezewa, J. (1999).** The effect of long-term sewage sludge application on Zn, Cu, Ni and Pb levels in a clay loam soil under pasture grass in Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*. 73: 199–204.
- SAS Institute. Inc. (1997).** SAS/STAT Users Guide, Version 6.12. SAS Institute. Inc. Cary, NC.
- Turkmen, O., Sensoy, S., Dursan, A. and Turan, M. (2004).** Sewage sludge as a substitute for mineral fertilization of spinach at two growing periods. *Plant and Soil Science*. 54:102-107.
- Zheljaskova, V.D. and Warman, P.R. (2004).** Phytoavailability and fractionation of copper, manganese, and zinc in soil following application of two composts to four crops. *Environmental Pollution*. 131: 187-195.
- واتقی، س.، افیونی، م.، شریعتمداری، ح. و مبلی، م. (۱۳۸۴). بررسی اثر کمپوست لجن فاضلاب بر غلظت برخی عناصر و خصوصیات شیمیایی خاک. مجله آب و فاضلاب. جلد ۶. صفحات ۲۲–۱۵.
- هودجی، م.، عابدی، م.ج.، افیونی، م. و موسوی، س.ف. (۱۳۸۰). تأثیر مصرف لجن فاضلاب و کادمیوم بر غلظت کادمیوم در شاهی، کاهو و اسفناج. مجله علوم کشاورزی. ۹ جلد. صفحات ۷۲–۵۷.
- Bozhkurt, M.A. (2003).** The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. *Turkish Journal of Agriculture*. 27: 285-292.
- Bozkurt, M.A., Hakki Akdeniz, H., Keskin, B. and Yilmaz, I. (2006).** Possibilities of using sewage sludge as nitrogen fertilizer for maize. *Plant Soil Science*. 56 (2):143 – 149.
- Chena, W., Chang, C., Wu, L. and Zhang, Y. (2008).** Metal uptake by corn grown on media treated with particle-size fractionated biosolids. *Science of the Total Environment*. 392:166 – 173.
- Cheng, H., Xu, W., Liu, J., Zhao Vanqing, H. and Chen, G. (2007).** Application of composted sewage sludge (CSS) as a soil amendment for turf grass growth. *Ecological Engineering*. 2:96–104.
- Dvorak, P., Tlustos, P., Szakova, J., Cerny, J. and Balik, J. (2003).** Distribution of soil fraction of zinc and its uptake by potatoes, maize, wheat and barley after soil amendment by sludge and inorganic Zn salt. *Plant Soil Environment*. 49:203–212.