

اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب عناصر توسط بوته جو مطالعه موردی: لجن تصفیه‌خانه شهر اهواز

مصطفی چرم^۱ محدثه آقایی فروشانی^۲

(دریافت ۸۵/۷/۲۴ پذیرش ۸۶/۲/۲)

چکیده

یکی از جنبه‌های مورد مطالعه درباره کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب که به اراضی کشاورزی افزوده می‌شوند، بررسی مسائلی زیست‌محیطی مرتبط با استفاده از این کودها همانند میزان جذب عناصر سنگین توسط محصولات که در خاکهای تیمار شده با این کودها کشت می‌گردند، می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی اثرات لجن فاضلاب بر جذب عناصر پر مصرف (K, P, N) و عناصر کم مصرف (Zn, Fe) و عناصر سنگین سمی (Cd, Pb) و عملکرد کل گیاه جو بود. این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی اهواز با دو سطح لجن ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار و تیمار شاهد (بدون کود) در چهار تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. آزمایش در طول یک دوره رشد گیاه جو انجام گرفت. نمونه‌برداریهای گیاه در سه زمان علوفه تازه (۵۰ روز پس از کشت)، قبل از خوشه رفتن (۹۰ روز پس از کشت) و موقع برداشت (۶ ماه پس از کشت) انجام شد. نمونه‌برداریهای گیاه جهت تعیین غلظت عناصر پر مصرف و عناصر سنگین در بخشهای ساقه، برگ، کاه و دانه جو انجام شد. نتایج تجزیه گیاه نشان می‌دهد لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کادمیوم در مقایسه با شاهد در بخشهای رویشی گیاه می‌شود. تجزیه دانه جو هم نشان داد که افزودن لجن فاضلاب موجب افزایش معنی‌دار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و آهن در دانه، نسبت به شاهد می‌شود. عملکرد علوفه جو هم در تیمار لجن ۱۰۰ تن در هکتار در مقایسه با شاهد افزایش معنی‌دار داشت. عملکرد دانه جو در دو سطح لجن با شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که لجن فاضلاب غلظت عناصر سنگین را در گیاه افزایش داده و از حد مجاز بیشتر بود ولی در حد سمیت نبوده است. بنابراین برای استفاده از لجن فاضلاب در خاکها با توجه به مقدار افزایش عناصر مذکور به خاک و مقدار جذب شده توسط گیاهان، لازم است که حد آستانه سمیت برای هر فلز، بسته به نوع گیاه و نوع خاک و شرایط محیطی مکان کاربرد لجن فاضلاب تعیین گردد و مقادیر کاربرد لجن براساس آن ارزیابی شود. ضمناً به دلیل شوری موجود در لجن فاضلاب، کاربرد آن فقط برای کشت‌های آبی با آب مناسب توصیه می‌گردد. استفاده از لجن برای پرورش محصولات که مستقیماً توسط انسان مصرف نمی‌شود، پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: عناصر پر مصرف، عناصر سنگین، عملکرد جو، لجن فاضلاب.

Effects of Amended Sewage Sludge Application on Yield and Heavy Metal Uptake of Barley: A Case Study of Ahvaz Sewage Treatment Plant

Mostafa Chorom¹ Mohadese Aghaei Froushani²

(Received Oct. 16, 2006 Accepted Apr. 22, 2007)

Abstract

One aspect of sewage sludge application as an organic fertilizer on agricultural farms is environmental pollution concerns such as heavy metals uptake by plants. The aim of this study was to investigate the influence of amended sewage sludge application on yield and heavy metal uptake of Barley. This study was carried out over a period of barley growth with two treatments of sewage sludge (50 and 100 ton/ha) and control treatment with four replicates arranged in a randomized complete block design. Plant samples were taken at three intervals (50, 90, and 180 days after sowing). The samples were prepared for measuring nutrients and heavy metals in stem, leaf, straw, and grain. Results of plant analysis showed that application of sewage sludge increased nitrogen, phosphorous, potassium and cadmium in vegetative parts compared to control. Grain analysis showed that application of sewage sludge significantly increased nitrogen, phosphorous, potassium, iron, and zinc. Grass yield significantly increased in the plot treated with 100 ton/ha sewage sludge. Grain yield in the two treatments significantly increased. The results revealed that the sewage sludge increased heavy metals uptake by plants but

1. Assistant Professor of Soil Science, College of Agric.,
Shahid Chamran University, mchorom@yahoo.com
2. MSc Graduate, College of Agric., Shahid Chamran University

۱- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز،
mchorom@yahoo.com
۲- دانش‌آموخته دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

still below standard levels. It is, therefore, necessary to use the quantities of the elements introduced into soil and absorbed by plants in order to determine the toxicity level for each metal taking into account factors such as plant and soil types as well as environmental conditions. This information can then be used to determine sludge application quantities in each case. Meanwhile, sludge application may only be recommended for irrigated crops receiving adequate irrigation water due to its salinity. Moreover, it cannot be recommended for irrigated crops directly consumed by man.

Keywords: Macroelement, Heavy Metals, Barley Yield, Sewage Sludge.

۱- مقدمه

افزایش بازدهی محصولات کشاورزی در واحد سطح جهت تهیه غذای مورد نیاز برای جمعیت در حال رشد کشور از اولویتهای مهم برخوردار است. یکی از راهکارهای این مسئله افزودن کود در شکلها و ترکیبات مختلف به خاک می باشد که این امر جهت افزایش عملکرد محصولات و تقویت خاک از سالهای دور در تمام دنیا رایج بوده است. استفاده کشاورزی از لجن فاضلاب به خاطر وجود عناصر غذایی و مواد آلی در آن فواید اقتصادی بی شماری دارد. لجن علاوه بر عناصر غذایی پر مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم، حاوی عناصر غذایی کم مصرف شامل آهن، روی، مس و منگنز است. همچنین وجود مواد آلی در لجن فاضلاب، سبب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک شامل ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب و پایداری خاکدانه ها و همچنین باعث افزایش مواد آلی خاک می شود [۱ و ۲]. نظری و همکاران در سال ۱۳۸۵ در مطالعات خود نشان دادند که کاربرد پساب و لجن فاضلاب پلی اکریل اصفهان می تواند بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی گندم، جو و ذرت اثرات مناسبی داشته باشد؛ اگرچه گیاهان متفاوت پاسخ متفاوتی داشتند. آنها این امر را به دلیل وجود عناصر غذایی و همچنین مواد آلی لجن می دانند که باعث بهبود شرایط عمومی خاک جهت رشد بهتر گیاهان شده است [۳]. مقدار فلزات سنگینی که در لجن یافت می شود قابل توجه است و منشأ این عناصر در لجن متفاوت است. در کل می توان گفت که غلظت عناصر سنگین در لجن فاضلاب با نوع و مقدار پساب مانده های شهری و صنعتی که وارد سیستم های فاضلاب می گردند رابطه دارد [۴]. غلظت فلزات سنگین به طور محسوسی در فاز جامد فاضلاب زیادتر از فاز مایع آن است. این عناصر به شکل های معدنی و در فرم های مختلف در لجن یافت می شوند. از جمله: گونه های تبادل، جذب سطحی شده، کلات شده با مواد آلی، فرم های کربناتی، سولفیدی و اکسیدهای آهن و منگنز. فرم غالب هر عنصر با توجه به نوع لجن متفاوت است و هر فلز در لجن های متفاوت در چندین فرم وجود دارد [۵]. در این مورد باید توجه داشت که گونه های موجود در لجن فاضلاب به نوع عمل آوری و هضم لجن، مقدار فاضلاب اضافه شده و نوع فاضلاب بستگی دارد. اگر چه برخی از فلزات سنگین برای رشد بیولوژیکی لازم اند ولی غلظت های بالاتر از

حد آستانه می تواند برای حیات گیاهی و جانوری خطر آفرین باشد. در میان فلزات سنگین، کادمیوم و سرب مهم ترین تهدید کننده زنجیره های غذایی به شمار می روند. این فلزات دارای اثر بیولوژیکی مفید نیستند و اگر غلظت این عناصر در حد آسیب رسانی هم نباشد، توسط گیاهان جذب شده و در بافت های گیاهی تجمع می یابد که در نهایت برای مصرف کنندگان این گیاهان مضر خواهد بود. عناصر پر مصرف موجود در لجن به راحتی از طریق چرخه های بیوشیمیایی جذب خاک می شوند، ولی عناصر کم مصرف لجن در سطح خاک تجمع می یابند و ممکن است از طریق انتقال به چرخه غذایی خود را نشان دهند [۶، ۷ و ۸]. یکی از جنبه های مورد مطالعه درباره کودهای آلی نظیر لجن فاضلاب که به اراضی کشاورزی افزوده می شوند، بررسی مسائل زیست محیطی و بهداشتی مرتبط با استفاده از این کودها همانند میزان جذب عناصر سنگین توسط محصولاتی که در خاکهای تیمار شده با این کودها کشت می گردند، می باشد. این مسئله از اهمیت خاصی برخوردار بوده و از جهات مختلفی همچون تأثیر آنها بر رشد و عملکرد گیاه و کیفیت محصولات رشد یافته قابل توجه است. زیرا ورود عناصر سنگین به چرخه غذایی تهدیدی جدی برای سلامت انسان و حیواناتی است که از این محصولات استفاده می کنند. با گذشت چندین سال از شروع به کار تصفیه خانه فاضلاب اهواز، لجن فاضلاب فراوانی تولید گردیده که باید به طریقی مناسب، به منظور بهره برداری مجدد، از آن استفاده کرد. از طرفی استفاده از لجن فاضلاب در امر کشاورزی امری پذیرفته شده و مورد توصیه می باشد. البته لزوم انجام آزمایش های منطقه ای به خصوص با توجه به نوع خاک های منطقه و ترکیب متفاوت لجن حاصله امری ضروری است. لذا هدف از این تحقیق بررسی اثرات کاربرد لجن فاضلاب بر جذب عناصر پر مصرف (K, P, N) و عناصر کم مصرف (Zn, Fe) و عناصر سنگین سمی (Cd, Pb) و عملکرد کل گیاه جو بود.

۲- مواد و روشها

در شهر اهواز یک واحد تصفیه خانه فاضلاب لجن فعال دایر است که سالانه مقادیر قابل توجهی لجن اصلاح شده تولید می نماید. لجن مزبور، از فرآیند چرخه تصفیه فیزیکی شامل ته نشینی مقدماتی، پمپاژ به حوضچه های تغلیظ و سپس انتقال به مخازن هاضم

آسیاب شده و بوسیله ترازوی دیجیتال توزین و به بشرهای ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شده، سپس در کنار مخلوط سه اسید توسط حرارت هضم شده و بعد از صاف کردن با کاغذ صافی، عصاره حاصل جمع‌آوری شد. در عصاره حاصل عناصر آهن، روی، سرب و کادمیوم با دستگاه جذب اتمی و فسفر به روش رنگ سنجی اندازه‌گیری شد و برای اندازه‌گیری پتاسیم از دستگاه فیلم فتومتری استفاده گردید [۹]. غلظت تمام این عناصر بر حسب وزن خشک گیاه محاسبه و گزارش شده است. محاسبات آماری با نرم‌افزار SPSS انجام گرفت و در بلوک‌های کامل تصادفی از طرح اندازه‌گیری تکراری^۱ استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات خاک و خصوصیات لجن فاضلاب مورد استفاده خصوصیات خاک مورد مطالعه و نتایج تجزیه شیمیایی لجن فاضلاب خشک شده در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول آمده است بافت خاک، لومی رسی، pH قلیایی، شوری خاک نسبتاً زیاد و درصد مواد آلی آن کم بود. درصد نیتروژن این خاک پایین، و مقدار آهن این خاک و همچنین بقیه عناصر سنگین هم پایین بود. همچنین خصوصیات شیمیایی لجن فاضلاب نشان می‌دهد که مقدار ماده آلی نسبتاً زیاد لجن می‌تواند اثرات مطلوبی بر خواص شیمیایی و فیزیکی خاک بگذارد و این خصوصیات در خاکهای ایران که با کمبود مواد آلی مواجه هستند

بی‌هوایی به مدت ۶۰ روز جهت فرآیند تصفیه زیستی و پس از آن آبیگری و نهایتاً انتقال به بستر خشک کننده است. به طور کلی در این تصفیه‌خانه دو نوع لجن اولیه خام و ثانویه یا فعال و زائد تولید می‌گردد. این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی اهواز با دو سطح لجن ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار و تیمار شاهد (بدون کود) در کرت‌های آزمایشی در چهار تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. پس از انجام عملیات خاک‌ورزی مورد نیاز، زمین به ۱۲ کرت (۲×۵/۵ متر) تقسیم شد. حدود دو هفته قبل از کشت، مقدار محاسبه شده هوا خشک لجن فاضلاب به خاک افزوده شد و تا عمق ۳۰ سانتی متری با خاک مخلوط گردید. کشت جو به صورت ردیفی در ۱۰ ردیف و آبیاری به روش غرقابی هفتگی صورت گرفت. آزمایش در طول یک دوره رشد گیاه جو انجام گرفت. نمونه برداریهای گیاه در سه زمان علوفه تازه (۵۰ روز پس از کشت)، قبل از خوشه رفتن (۹۰ روز پس از کشت) و موقع برداشت (۶ ماه پس از کشت جو) انجام شد. به منظور تعیین عملکرد علوفه، پس از مرحله دوم، دو ردیف علوفه برداشت و بلافاصله توزین شد. برای بررسی عملکرد دانه پس از برداشت نهایی جوهای مربوط به سه ردیف مرحله سوم، دانه‌های آن جدا شده و توزین شدند. نمونه برداریهای گیاه جهت تعیین غلظت عناصر پر مصرف و عناصر سنگین در بخشهای ساقه، برگ، کاه و دانه جو انجام شد. برای استخراج آهن، روی، کادمیوم، سرب، فسفر و پتاسیم از نمونه‌های گیاهی مقدار یک گرم نمونه خشک گیاهی،

^۱ Repeated Measures

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک و لجن فاضلاب خشک شده مورد مطالعه

پارامتر	واحد	میانگین خاک	میانگین لجن
بافت خاک	-	لومی رسی	-
ماده آلی	درصد	۱	۱۹/۸۵
هدایت الکتریکی	دسی زیمنس بر متر	۴/۲۹	۱۰/۴
pH	-	۷/۷۵	۶/۵
نیتروژن کل	درصد	۰/۰۲۲۵	۱/۸
فسفر	میلی گرم بر کیلوگرم	۱۵/۸۴	۲۸۶
پتاسیم قابل جذب	میلی گرم بر کیلوگرم	۳۴۰/۵	۱۹۵۰
کلسیم*	میلی اکی والان بر لیتر	۱۶/۷	۵۵
منیزیم*	میلی اکی والان بر لیتر	۸/۵	۱۱۷
سدیم*	میلی اکی والان بر لیتر	۲۴/۸	۱۵۰
کلر*	میلی اکی والان بر لیتر	۵۱/۵	۲۴۵
بیکربنات*	میلی اکی والان بر لیتر	۳/۸	۱۸
سولفات*	میلی اکی والان بر لیتر	۲۶/۶۲	۹۰
آهن	میلی گرم بر کیلوگرم	۳/۶۵	۶۶/۵
روی	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۶۵۶	۱۳۴
سرب	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۶۹۹	۴/۳
کادمیوم	میلی گرم بر کیلوگرم	۰/۰۷	۰/۶

* به صورت محلول در عصاره ۱:۱ استخراج با آب اندازه‌گیری شدند.

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر لجن فاضلاب بر میزان عناصر پر مصرف و سنگین در خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	نیترژن (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
تکرار	۳	۰/۰۰۷۲**	۲۸۱۰/۳۸**	۲۹۷۹۷/۱۴۵**	۵۴/۳۴*	۱۱۰۸/۸۳**	۰/۰۲۷	۰/۴**
تیمار	۲	۰/۰۱**	۷۳۶۴/۳۸**	۷۷۹۲/۳۶۱**	۵۹۰/۵۷**	۳۳۰۴/۳۵**	۰/۱۳**	۰/۰۰۳**
زمان	۱	۰/۰۱۵**	۲۷۵۶/۲۸**	۱۲۹۴/۶۵**	۲۶۷/۱۹**	۱۳۱۹۵/۶**	۲/۳۴	۰/۰۸۳**
تیمار× زمان	۲	۰/۰۰۶**	۱۷۶۷/۱۸*	۱۴/۸۵	۸۶/۷۳**	۱۴۱۹/۳۷**	۱/۲۸	۰/۰۰۱۴
خطا	۳۰	۰/۰۰۰۲	۱۳۹/۳۵	۱۶۸۷/۷۸۱**	۱۳/۲۹	۲۵۳/۳۹۱	۰/۰۲	۰/۰۰۰۴

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است ** در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است

جدول ۳- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر تیمارها بر غلظت عناصر پر مصرف و کم مصرف بخشهای رویشی گیاه جو

منابع تغییر	درجه آزادی	نیترژن (درصد)	فسفر (درصد)	پتاسیم (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
تکرار	۳	۰/۳۵	۱/۴۸۲**	۸/۲۲۳**	۳۱۲۷۰/۰۲**	۳۹۳۱۰۸/۱۹	۲۰۴/۴۵۵	۳/۱۲۹
تیمار	۲	۱/۰۹۸**	۱/۴۷۹**	۱/۰۸۳*	۱۰۱۶۰/۱۲	۴۲۴۰۹۳/۰۸	۳۶/۴۹۴	۶/۲۷۱*
زمان	۱	۱۲۱/۰۶**	۳۲۸/۳۵۷**	۲۷۶/۱۲۳**	۳۲۱۲۹۳/۱۳**	۸۰۷۹۰۳/۰۹	۱۹۸۹/۹۱۷**	۱۶/۹۲۱*
تیمار× زمان	۲	۰/۷۱**	۰/۹۵*	۲/۶۰۶**	۱۵۸۰۰/۴۷۸	۸۰۴۸۹۳/۵۴	۴۶/۶۴۱	۴/۶۶
خطا	۳۰	۰/۱۸۶	۰/۰۹۵	۰/۲۵۸	۴۱۵۲/۶۵۳	۴۰۰۹۲۰/۴۹	۱۲۷/۰۶۲	۱/۲۱۵

* در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار است ** در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است

همکاران نیز افزایش غلظت Cu, Zn و Cd در خاک را با کاربرد لجن گزارش کردند [۱۰].

۳-۳- اثر لجن فاضلاب بر مقدار جذب عناصر پر مصرف و کم مصرف در گیاه

اثر لجن فاضلاب بر مقدار جذب عناصر در مرحله رویشی و زایشی مورد بررسی قرار گرفته است. مرحله رویشی شامل تجزیه گیاه در مرحله شروع علفه (pl) حدود ۵۰ روز پس از کشت، مرحله دوم تجزیه گیاه ۹۰ روز پس از کشت قبل از به خوشه رفتن گیاه شامل مخلوط ساقه و برگ^۱ و تجزیه کاه^۲ در موقع برداشت بود و مرحله زایشی شامل تجزیه دانه^۴ بود.

۳-۳-۱- نیترژن

غلظت نیترژن جذب شده بخشهای رویشی گیاه نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳)، به طوری که تیمار ۵۰ تن در هکتار لجن در سطح ۵ درصد و تیمار ۱۰۰ تن در هکتار در سطح ۱ درصد با شاهد اختلاف معنی‌دار داشتند، ولی بین تیمارها هیچ اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در بررسی روند کلی میانگین‌ها اثر همزمان گذشت زمان و افزایش سطح تیمار سبب کاهش در غلظت نیترژن بخشهای رویشی گیاه شد. بدین گونه که

حائز اهمیت می‌باشد. هدایت الکتریکی نسبتاً بالای لجن فاضلاب بیانگر وجود املاح زیاد در آن می‌باشد. املاح موجود در لجن فاضلاب عمدتاً نمکهای سدیمی می‌باشند که یا در تهیه غذا به کار رفته و یا در ترکیب شوینده‌ها و پاک‌کننده‌ها وجود دارند. لجن فاضلاب دارای pH خنثی تا اسیدی ضعیف بوده و نیترژن، فسفر و پتاسیم از مهم‌ترین عناصر موجود در لجن فاضلاب می‌باشند. مقدار کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در لجن فاضلاب هم نسبتاً زیاد می‌باشد. لجن فاضلاب مقادیر قابل توجهی آهن و روی دارد که به تدریج وارد محلول خاک شده و می‌تواند مورد استفاده گیاهان قرار گیرد.

۳-۲- اثرات لجن فاضلاب بر خصوصیات خاک

کاربرد لجن فاضلاب اثر معنی‌داری بر افزایش مقدار نیترژن و فسفر خاک داشته ولی باعث کاهش معنی‌دار پتاسیم قابل جذب خاک در سطح ۵ درصد شد (جدول ۲). مقدار آهن، روی و کادمیوم قابل عصاره‌گیری با DTPA در خاکها با افزایش سطح لجن فاضلاب مصرفی، افزایش معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). افزایش مقدار آهن قابل جذب در خاک مورد مطالعه از اهمیت فوق‌العاده زیادی برخوردار است، چرا که کمبود آهن از مهم‌ترین مشکلات تغذیه گیاهان در خاکهای آهنکی است. آنتولین^۱ و

² Stem, Leaf

³ Straw

⁴ Grain

¹ Antolin

کفایت عناصر به خصوص نیتروژن و فسفر در گیاه باید گفت غلظت نیتروژن جو حکایت از کمبود عنصر در گیاه جو دارد. اضافه کردن مواد آلی به خاک ممکن است موجب کاهش محصول شود که یکی از دلایل آن محبوس شدن نیتروژن می‌باشد [۱۲]. بنابراین در هنگام استفاده از پسماندهای آلی برای جلوگیری از کمبود نیتروژن باید از کودهای شیمیایی نیتروژن استفاده کرد.

۳-۳-۲- فسفر

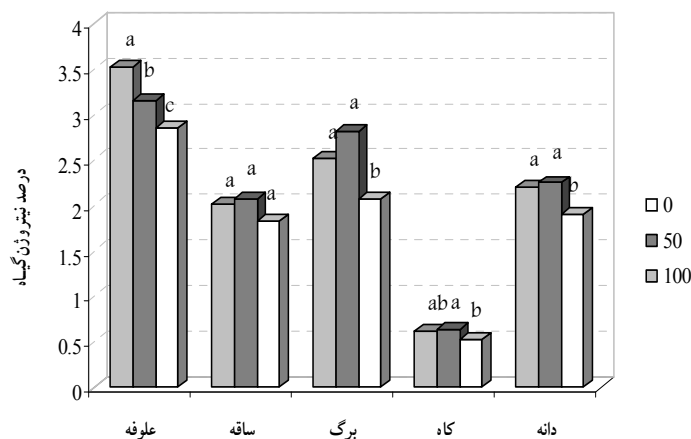
مقدار فسفر جذب شده در بخشهای رویشی گیاه نسبت به شاهد دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد بود (جدول ۳). ولی اختلاف بین تیمارها معنی‌دار نشد. با توجه به میانگین‌های اثر متقابل متوجه می‌شویم که گذشت زمان همراه با افزایش سطح تیمار باعث کاهش غلظت فسفر در اندامهای رویشی گیاه در شاهد و دو تیمار لجن فاضلاب می‌شود (شکل ۲). میزان فسفر جذب شده توسط دانه جو نسبت به شاهد معنی‌دار بود (جدول ۴). احتمالاً با گذشت زمان فسفر موجود در ترکیبات فسفات به صورت آلی و معدنی به فرم قابل دسترس آزاد شده است. در مرحله اول علوفه غلظت فسفر در گیاه با افزایش سطح لجن افزایش یافته و اختلاف

در تیمار شاهد و دو تیمار دیگر با گذشت زمان از مرحله اول به مرحله سوم غلظت نیتروژن در گیاه پایین آمد. دلیل این امر، می‌تواند این گونه توضیح داده شود که در مرحله اول مقدار نیتروژن خاک زیاد بوده پس گیاه به مقدار زیادی نیتروژن جذب کرده ولی نیتروژن به دلایل مختلفی نظیر فعالیت میکروبی توسط میکرو-ارگانیسم‌های خاک، مصرف و از سیستم خارج شده است و همچنین نیتروژن آلی به تدریج روند معدنی شدن را پیش گرفته و به نیتروژن نیتراتی تبدیل شده، که ممکن است در اثر آبشویی از دسترس گیاه خارج شده باشد [۱۱]. در مرحله سوم یعنی کاه چون مقدار زیادی از نیتروژن توسط دانه جذب شده مقدار این عنصر در کاه بسیار پایین می‌باشد. غلظت نیتروژن جذب شده در دانه جو نسبت به شاهد در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌های حاصل از آزمون دانکن غلظت نیتروژن در بخشهای رویشی به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱). حروف کوچک a و b روی نمودارها به معنای اختلاف معنی‌دار تیمارها از لحاظ آماری است. مرحله اول علوفه‌ای، مقدار نیتروژن با افزایش سطح لجن نسبت به شاهد افزایش یافته و این اختلاف معنی‌دار شد. همچنین اختلاف بین تیمارها هم معنی‌دار شد و بیشترین غلظت مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار بود. با توجه به غلظت در حد

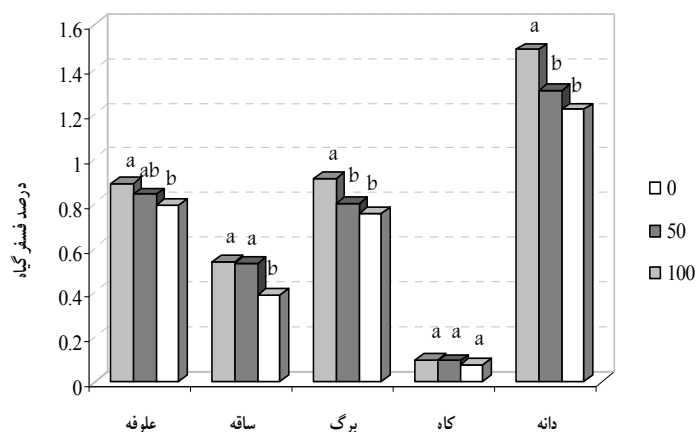
جدول ۴- تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اثر تیمارها بر غلظت عناصر پر مصرف و کم مصرف در دانه گیاه جو

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن دانه (درصد)	فسفر دانه (درصد)	پتاسیم دانه (درصد)	آهن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	سرب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کادمیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
تکرار	۳	۰/۵۳۸**	۳/۷۱۸	۰/۵۶۶**	۳۹۸۴/۶۵*	۵/۶۶۷	۱۶/۲۷**	۶/۹۷۸*
تیمار	۲	۰/۴۲۸**	۲۲/۴۱۳**	۰/۰۶۴	۳۲۵۴/۴۱*	۸۴۹/۲۵**	۳/۲۲۴	۳/۷۵۱
خطا	۳۰	۰/۰۶۴	۲/۶۵۸	۰/۰۵۳	۹۴۸/۹۷	۴۷/۵۸	۱/۹۹۱	۱/۸۱۵

*در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است **در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است



شکل ۱- میزان نیتروژن در بخشهای مختلف گیاه

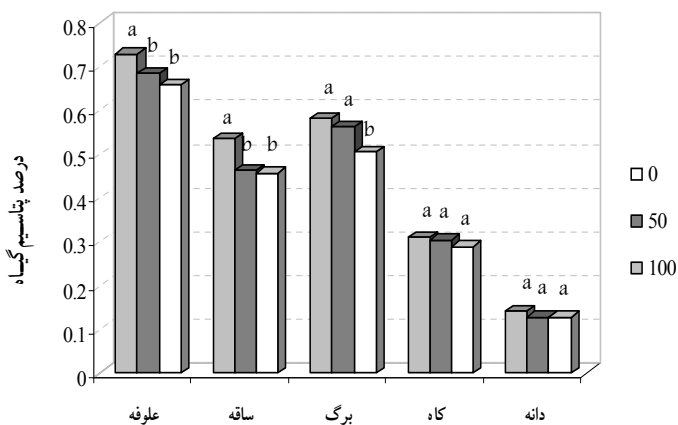


شکل ۲- میزان فسفر در بخشهای مختلف گیاه

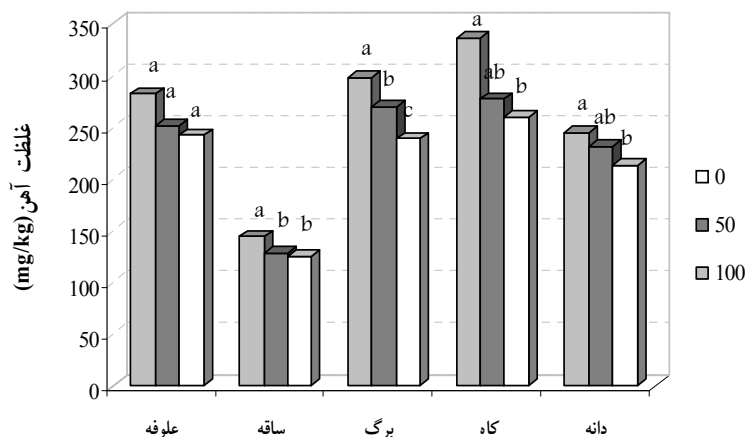
۳-۳-۳- پتاسیم

غلظت پتاسیم قابل جذب در بخشهای رویشی گیاه جو نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۳). ولی این اختلاف بین تیمارها معنی دار نشد. همین طور اثر زمان بر مقدار پتاسیم قابل جذب اندامهای رویشی گیاه هم در سطح ۱ درصد معنی دار شد و مانند نیتروژن و فسفر با گذشت زمان مقدار پتاسیم در اندامهای رویشی کاهش پیدا کرد. اثر متقابل زمان و تیمار بر روی غلظت پتاسیم جذب شده توسط اندامهای رویشی گیاه جو هم در سطح ۱ درصد معنی دار شد. به این صورت که با گذشت زمان در شاهد و دو تیمار لجن، میزان پتاسیم جذب شده توسط گیاه کاهش یافت که دلیل آن می تواند به خاطر تثبیت شدن این عنصر در بین کانیهای خاک و خارج شدن از دسترس گیاه باشد. اختلاف غلظت پتاسیم جذب شده توسط دانه جو بین شاهد و تیمارها معنی دار نشد (جدول ۴). البته با افزایش سطح لجن این غلظت افزایش یافت ولی معنی دار نبود. در شکل ۳ میزان پتاسیم قابل جذب در بخشهای مختلف گیاه جو نشان داده شده است. همان طور که مشخص است در زمان برداشت علوفه بیشترین غلظت پتاسیم مربوط به تیمار

تیمار ۵۰ تن با شاهد معنی دار نبوده ولی اختلاف تیمار ۱۰۰ تن با شاهد معنی دار بود، در حالی که بین تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت. غلظت فسفر در ساقه تیمارها با شاهد تفاوت معنی داری دارند ولی بین تیمارها هیچ اختلاف معنی دار وجود نداشت ولی با افزایش سطح لجن غلظت افزایش یافته است در صورتی که در برگ و دانه بین تیمارها تفاوت معنی دار شد. غلظت در تیمار ۱۰۰ تن بیش از تیمار ۵۰ تن بود و فقط تیمار ۱۰۰ تن با شاهد اختلاف معنی دار داشت. محققین معتقدند که کودهای آلی به تنهایی نمی توانند نیازهای گیاه به عناصر پر مصرف را برطرف کنند [۱۳]. غلظت فسفر اندازه گیری شده گیاه به استناد منابع نشان داد که گیاه نسبت به این عنصر کمبود دارد. در مورد این عنصر به جز عامل کمیّت، عوامل مختلفی از جمله کُند بودن سرعت آزادسازی این عنصر و اثرات متقابل یونی در کاهش جذب این عنصر توسط گیاه مؤثر هستند. همچنین محققان دیگر اظهار داشتند افزایش ماده آلی به خاک ممکن است توانایی خاک را در جذب فسفر کاهش دهد، زیرا اسیدهای آلی بوسیله تبادل کمپلکسی جذب سطوح می شوند و برای محلهای جذب با فسفر رقابت می کنند.



شکل ۳- میزان پتاسیم در بخشهای مختلف گیاه



شکل ۴- غلظت آهن در بخشهای مختلف گیاه

تفاوت معنی داری به دست آمد. هیگینز^۱ در سال ۱۹۸۴ نشان می‌دهد که عناصر روی و آهن به حد وفور در خاکهای تیمار شده با لجن فاضلاب وجود دارد، به طوری که تیمار لجن فاضلاب معادل ۲۲/۴ تن ماده خشک در هکتار و حتی کمتر از آن می‌تواند نیاز غذایی ذرت و چاودار به عناصر را در طی یک دوره چهارساله مرتفع نماید [۱۵].

۳-۳-۵- روی

اثر لجن فاضلاب بر روی غلظت روی قابل جذب در بخشهای رویشی گیاه نسبت به شاهد معنی دار نشد (جدول ۳)، این اختلاف بین تیمارها هم معنی دار نبود. بیشترین غلظت روی در بخشهای رویشی مربوط به تیمار ۵۰ تن در هکتار بود. در تحقیق چانگ و همکاران گزارش شد که در تیمار ۹۰ تن فاضلاب غلظت روی و مس در سورگوم و گیاه جو به حد سمیت نرسید [۱۶]. در زمان اول غلظت روی از بیشترین مقدار برخوردار بوده است. محققان گزارش کرده‌اند که با گذشت زمان عناصر، به خصوص روی، در طی پوسیده شدن مواد آلی پوسیده شده و به بخش معدنی خاک منتقل می‌شوند [۹]. غلظت روی در دانه گندم برخلاف بخشهای رویشی، نسبت به شاهد در سطح ۱ درصد معنی دار شد (جدول ۴). یانگ جی^۲ در سال ۲۰۰۵ ثابت کرد که با افزودن ۱۵۰ تن کمپوست، غلظت روی در دانه به طور معنی داری افزایش یافت [۱۷]. شکل ۵ بیانگر مقایسه میانگین‌های حاصل از آزمون دانکن می‌باشد. همان طور که مشاهده می‌شود در بخشهای رویشی گیاه بیشترین غلظت روی مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن فاضلاب می‌باشد. در مرحله اول هم بین شاهد و تیمار و هم بین تیمارها تفاوت معنی دار است. در ساقه تفاوت بین شاهد و تیمارها معنی دار شد ولی بین تیمارها

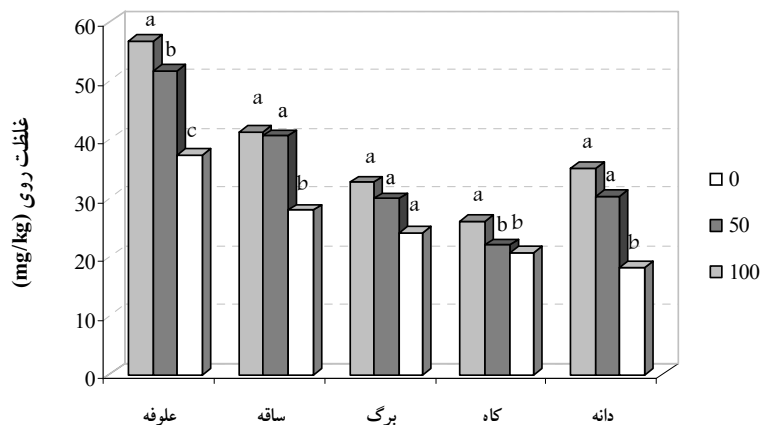
۱۰۰ تن در هکتار لجن می‌باشد. در مورد ساقه اختلاف بین شاهد و تیمار ۵۰ تن معنی دار نبوده، ولی بین تیمار ۱۰۰ تن در هکتار با شاهد و همین طور بین تیمارها اختلاف معنی دار است. در مورد برگ بین شاهد و تیمارها اختلاف معنی دار و بین تیمارها اختلاف معنی داری وجود نداشت. در مورد کاه و دانه هم با افزایش سطح لجن غلظت پتاسیم افزایش یافته ولی معنی دار نشده است.

۳-۳-۴- آهن

غلظت آهن قابل جذب در بخشهای رویشی گیاه با افزایش سطح لجن نسبت به شاهد افزایش یافت اما این اختلاف معنی دار نشد (جدول ۳). ولی اختلاف بین تیمارها در سطح ۵ درصد معنی دار شد. بیشترین غلظت مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار بود. عامل زمان بر روی غلظت آهن قابل جذب در اندامهای رویشی گیاه در سطح ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۳)، به طوری که بیشترین غلظت مربوط به زمان سوم نمونه برداری بود. ولی اثرات متقابل تیمار و زمان در مورد غلظت آهن قابل جذب معنی دار نشد (جدول ۳). در کلیه تیمارها غلظت آهن در زمان دوم نمونه برداری یعنی آخر علوفه، کمترین مقدار بود که احتمالاً می‌تواند به خاطر کاهش مقدار قابل جذب آهن در خاک به واسطه مصرف آنها توسط گیاه و موجودات دیگر و همچنین شرایط اکسیدی و احیایی خاک و تشکیل ترکیباتی پایدار از آنها در خاک باشد [۱۴]. غلظت آهن قابل جذب در دانه جو برخلاف بخشهای رویشی در سطح ۵ درصد معنی دار شد (جدول ۴) و بیشترین غلظت آهن مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار بود. شکل ۴ غلظت آهن قابل جذب تحت تیمارهای مختلف در گیاه جو را نشان می‌دهد. به طوری که ملاحظه می‌شود در تمام بخشها بیشترین مقدار آهن مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار می‌باشد. در برگ هم بین تیمارها و شاهد اختلاف معنی داری وجود دارد. در مورد کاه و دانه هم بین تیمار ۱۰۰ تن در هکتار با شاهد

¹ Higgins

² Yonggie



شکل ۵- غلظت روی در بخشهای مختلف گیاه تحت تیمارهای لجن

می باشد. چون محققان در این مورد ثابت کرده اند، انباشت عناصر در گیاهان پرورش یافته در ۲۵ درجه سانتی گراد نسبت به ۱۵ درجه سانتی گراد تحت تیمارهای کود آلی به طور قابل توجهی بیشتر است [۱۹]. اثر متقابل تیمار و زمان، بر جذب سرب توسط بخشهای رویشی گیاه معنی دار شد (جدول ۳). غلظت سرب در دانه جو با شاهد اختلاف معنی دار نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین ها در شکل ۶، مقدار سرب قابل جذب در بخشهای مختلف گیاه را نشان می دهد. علت عدم تطابق نتیجه با آنچه مورد انتظار است، وقوع مسئله ای با نام « رقت رشد »^۲ می باشد، به این معنی که با افزایش سطح کاربرد لجن، عملکرد محصول در تیمارها افزایش یافته و علی رغم افزایش جذب برخی عناصر از جمله سرب توسط گیاه، غلظت این عناصر رقیق تر شده و کمتر به نظر می رسند. در چنین مواردی که عملکرد تیمارهای مورد مقایسه با همدیگر تفاوت نشان می دهند استفاده از غلظت عناصر صحیح نبوده و بهتر آن است که از مفهوم « جذب »^۳ یعنی حاصل ضرب غلظت عنصر در عملکرد گیاه استفاده شود. فاکتورهای معین خاک و گیاه مانند pH کم، غلظت کم فسفر، و لیگاندهای آلی به عنوان عوامل پیش برنده جذب سرب توسط ریشه های گیاه و انتقال آن به قسمت های هوایی شناخته شده اند [۲۰]. خدیوی هم در تحقیقی نشان داد که با کاربرد مقادیر بالای لجن فاضلاب از میزان سرب دانه کاسته شد. تجمع سرب در بخشهای رویشی، ایجاد شرایط اسیدی توسط لجن و شستشو و انتقال سرب به اعماق پایین تر و تأثیر عامل رقت رشد، دلایل احتمالی این نتیجه ذکر گردید. در کاه جو برخلاف بقیه بخشها بیشترین مقدار سرب مربوط به تیمار ۱۰۰ تن در هکتار لجن بود ولی با شاهد و تیمار ۵۰ تن اختلاف معنی دار نداشت [۲۱].

تفاوت معنی داری وجود نداشت ولی با افزایش سطح لجن، مقدار غلظت روی افزایش یافت. به نظر می رسد که علت این افزایش، افزایش مقدار روی کل خاک و افزایش کمپلکس های آلی روی با حلالیت بالا باشد. در برگ گیاه هم با افزایش سطح لجن، میزان روی قابل جذب افزایش یافت ولی این افزایش نه با شاهد و نه بین تیمارها معنی دار نبود. یانگ هم به این نتیجه رسید که غلظتهای مس و روی در برگ گیاه جو با کاربرد لجن افزایش می یابد [۱۷]. در مورد کاه، تیمار ۱۰۰ تن در هکتار هم با شاهد و هم با تیمار ۵۰ تن در هکتار تفاوت معنی دار داشت (شکل ۵). در دانه هم غلظت روی قابل جذب با افزایش سطح لجن افزایش یافت که با شاهد، اختلاف معنی داری داشت ولی بین تیمارها اختلاف معنی دار وجود نداشت. کلر^۱ و همکاران دریافتند که جذب فلز از خاکهای تیمار شده با لجن به طور قابل توجهی بین محصولات مختلف و بخشهای مختلف یک گیاه متفاوت است [۱۸]. آنتولین و همکاران هم افزایش غلظت روی و مس در دانه جو پس از کاربرد لجن را گزارش کردند [۱۰].

۳-۴- اثر لجن فاضلاب بر مقدار عناصر سنگین جذب شده توسط گیاه

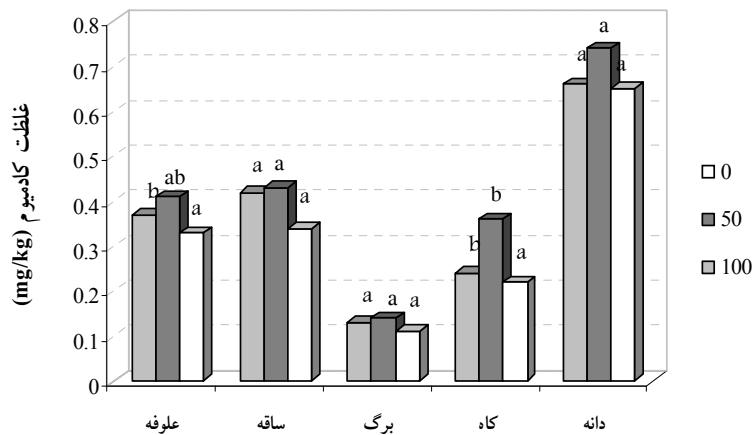
۳-۴-۱- سرب

غلظت عنصر سرب در بخشهای رویشی گیاه جو نسبت به شاهد معنی دار شد (جدول ۳). بیشترین غلظت مربوط به تیمار ۵۰ تن در هکتار بود ولی این تفاوت معنی دار نشد. اثر زمان بر غلظت سرب در بخشهای رویشی جو معنی دار شد (جدول ۳)، به طوری که با گذشت زمان بر غلظت سرب در گیاه افزوده شد. احتمالاً افزایش جذب سرب مربوط به افزایش دما در زمان سوم نمونه برداری

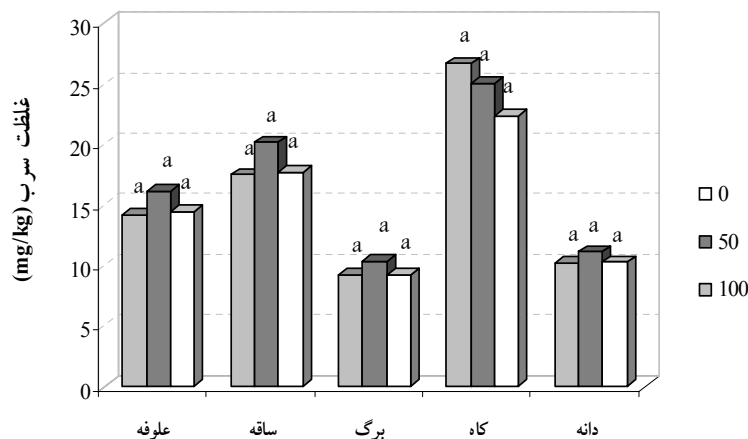
² Dillution Growth

³ Uptake

¹ Keller



شکل ۶- غلظت سرب در بخشهای مختلف گیاه



شکل ۷- غلظت کادمیوم در بخشهای مختلف گیاه

که کاربرد لجن، میزان فلزات سنگین (Cd, Cu, Zn) قابل عصارگیری با DTPA را افزایش داده که در نتیجه جذب این عناصر توسط گیاه به خصوص در دانه جو افزایش می‌یابد که این مسئله انتقال عناصر از اندامهای رویشی به زایشی را نشان می‌دهد [۱۰].

۳-۵- عملکرد علوفه تر و دانه گیاه

عملکرد علوفه با افزایش سطح لجن افزایش می‌یابد. بین تیمار ۵۰ تن در هکتار t_2 و شاهد t_1 تفاوت معنی‌دار وجود نداشت ولی بین تیمار ۱۰۰ تن در هکتار t_3 و شاهد در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت (شکل ۸). در مورد عملکرد دانه نیز در شکل ۹ مشخص شده است که با افزایش سطح لجن، عملکرد دانه جو هم افزایش می‌یابد که این تفاوت بین تیمارها با شاهد در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی تفاوت بین خود تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. مورا و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۲ گیاه آفتابگردان را

۳-۴-۲- کادمیوم

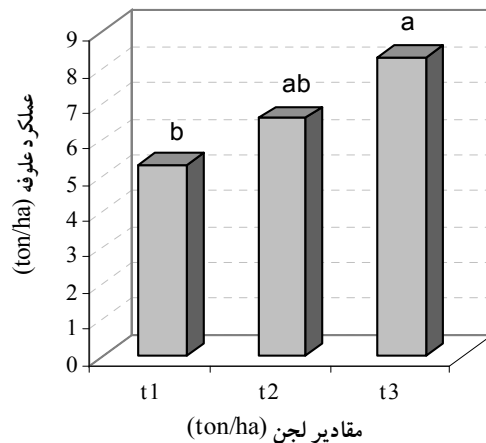
کاربرد لجن فاضلاب اثرات معنی‌داری در سطح ۵ درصد روی کادمیوم بخشهای رویشی گیاه داشت (جدول ۳). غلظت کادمیوم در تیمار ۵۰ بیشتر از تیمار ۱۰۰ بود به همین دلیل در این مورد هم به علت وجود اثر رقت بهتر است به جای استفاده از غلظت، میزان جذب کادمیوم در گیاه مورد استفاده قرار گیرد. اثر زمان بر روی غلظت کادمیوم در بخشهای رویشی نسبت به شاهد در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). به طوری که با گذشت زمان غلظت کادمیوم در بخشهای رویشی گیاه کاهش یافت. همچنین عامل آزمایشی سطح کاربرد لجن فاضلاب اثرات معنی‌داری روی کادمیوم قابل جذب دانه گیاه نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که در بخشهای مختلف گیاه جو غلظت کادمیوم ۵۰ تن بیشتر از ۱۰۰ تن می‌باشد (شکل ۷). بسیاری از تحقیقات انجام گرفته pH را به عنوان فاکتور مهم کنترل‌کننده جذب کل و جذب نسبی کادمیوم معرفی کرده‌اند و جذب کادمیوم در pH های پایین را بیش از pH های بالا دانسته‌اند [۲۲]. آنتولین و همکاران نشان دادند

¹ Morea et al.

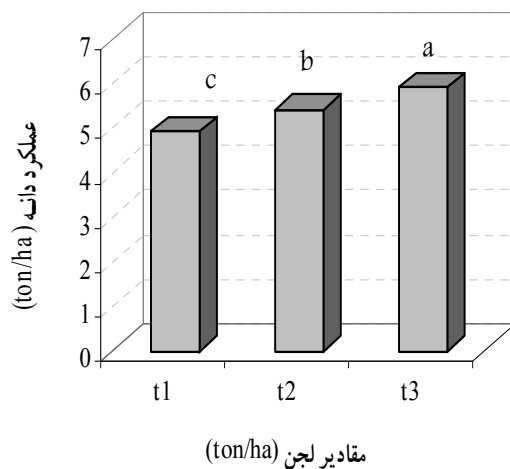
رشد گیاه را در خاکهای جیپسو فروس مناطق خشک بهبود بخشیده و عملکرد گیاه افزایش می‌یابد. در این تحقیق افزایش عملکرد در تیمار ۳۲۰ تن در هکتار لجن فاضلاب را شش برابر عملکرد در شاهد گزارش کردند و دلیل این افزایش را افزایش در تعداد جوانه، ارتفاع گیاه و بیومس گیاه قلمداد کردند [۲۴]. یانگ هم در تحقیق خود نشان داد که کاربرد ۱۵۰ تن در هکتار در لجن فاضلاب به طور مشخص وزن خوشه‌ها و دانه‌های گیاه جو را افزایش می‌دهد [۱۷].

۴- نتیجه گیری

لجن فاضلاب در دو سطح باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن، فسفر، غلظت قابل جذب عناصر سنگین (آهن، روی، سرب و کادمیوم) و کاهش معنی‌دار پتاسیم قابل جذب در خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد. نتایج تجزیه گیاه نشان می‌دهد لجن فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و کادمیوم در مقایسه با شاهد در بخشهای رویشی گیاه شد. عامل زمان بر افزایش نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، سرب و کادمیوم علوفه اثر معنی‌دار داشت. تجزیه دانه جو هم نشان داد که افزودن لجن فاضلاب، موجب افزایش معنی‌دار غلظتهای نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و آهن در دانه، نسبت به شاهد، می‌شود. عملکرد علوفه جو هم در تیمار لجن ۱۰۰ تن در هکتار در مقایسه با شاهد، افزایش معنی‌دار داشت. عملکرد دانه جو در دو سطح لجن با شاهد افزایش معنی‌داری را نشان داد. مقایسه غلظت عناصر سنگین خاک و گیاه در تیمارهای لجن با استانداردهای جهانی نشان داد که غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه به غیر از سرب گیاه و کادمیوم دانه، کمتر از استانداردهای مجاز بود. غلظت سرب هم اندکی از حد مجاز بیشتر بود ولی در حد سمیت نبود. بنابراین برای استفاده از لجن فاضلاب در خاکها با توجه به مقدار افزایش عناصر مذکور به خاک و مقدار جذب شده توسط گیاهان، لازم است که حد آستانه سمیت برای هر فلز، بسته به نوع گیاه و نوع خاک و شرایط محیطی مکان کاربرد لجن فاضلاب تعیین گردد و مقادیر کاربرد لجن براساس آن ارزیابی شود. ضمناً به دلیل شوری موجود در لجن فاضلاب، کاربرد آن فقط برای کشت‌های آبی با آب مناسب توصیه می‌گردد.



شکل ۸- اثر سطوح مختلف لجن بر عملکرد علوفه جو



شکل ۹- اثر سطوح مختلف لجن بر عملکرد دانه جو

در خاکهای تیمار شده با لجن رشد دادند و گزارش کردند که افزایش لجن فاضلاب به طور چشمگیری میانگین وزن خشک گیاه را افزایش داد. این امر در خاکهایی که بدون افزایش لجن، عملکرد کمتری داشته‌اند مشهودتر بود [۲۳]. آنتولین و همکاران در تحقیق خود که در شرایط مدیترانه‌ای نیمه خشک انجام گرفت نشان دادند که عملکرد گیاه جو در کرت‌های تیمار شده با لجن در مقایسه با کرت‌های شاهد افزایش یافت. آنها علت افزایش عملکرد دانه را به افزایش در تعداد جوانه مربوط دانستند و همچنین این افزایش را به بهبودی شرایط خاک نسبت دادند [۱۰]. ناواس و همکاران در سال ۱۹۹۸ هم به این نتیجه رسیدند که نسبت‌های کافی از کاربرد لجن،

۵- مراجع

- 1- Qasim, M., Maytallah, H., and Subhan, M. (2001). "Effect of sewage sludge on the growth of maize crop." *Online Journal of Biological Sciences*, 1(2), 52-54.

2- Tuhir, H. C. R., and Latif, I. (2002). "Influence of sewage sludge and organic manures application on wheat yield and heavy metal availability." *Asian Journal of Plant Sci.*, 1, (2), 79-81.

۳- نظری، م. ع.، شریعتمداری، ح.، افیونی، م.، مبللی، م.، و رحیلی، م. (۱۳۸۵). "اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو و ذرت." *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان*، ۳ الف، ۹۷-۱۱۳.

4- Kabata, P., and Pendias, A. H. (1992). *Trace elements in soils and plants*, 2nd Ed., New York.

5- Luo, Y.M., and Chirstie, P. (1998). "Bioavailability of copper and zinc in soils treated with alkaline stabilized sewage sludge." *H. Environ. Qual.*, 27, 335-342 .

6- Krebs, A., Gupta, S.K., Furrer, G., and Schulin, R. (1998). "Solubility and plant uptake of metals with and without liming of sludge-amended soils." *J. Environ. Qual.*, 27, 18-23.

7- Oliver, M. A. (1997) "Soil and human health: review." *European J. Soil Sci.*, 78, 573-592.

8- Bierman, P.M., and Rosen, J. (1994). "Sewage sludge incinerator ash effects on soil chemical properties and growth of lettuce and corn." *Soil Sci. Plant Anal.*, 25, 2409-2437.

9- Sparks, D.L., Page, A.L., and Sumner, M.E. (1996). *Methods of soil analysis, part 3, chemical methods*, SSA, 3rd Ed., Madfion, WA.

10- Antolin, M.C., Pascual, I., Garcia, C., Polo, A., and Sanchez –Diaz, M. (2005). "Growth, yield and solute content of barley in soils treated with sewage sludge under semiarid Mediterranean condition." *Field Crops Research*, 3, 224-237.

11- Premi, P. R., and Cornfield, A. H. (1969). "Incubation of digested sewage sludge added to soil." *Soil Soil Biochem.*, 1, 1-4.

12- Beachamp, E. G. (1987). "Corn response to residual N from urea and manure applied in previous year." *Canadim J. Soil Sci.*, 67, 931-942.

13- Hortenstine, C. C., and Rothwell, D. F. (1972). "Use of municipal compost in reclamation of phosphate mining sand tailings", *J. Environ. Qual*, 1, 415-418.

14- Bakes, A. C. (1995). "Kinetic of cadmium and cobalt desorption from iron and manganese oxides." *Soil Sic. Soc. Am.*, 59, 778-785.

15- Higgins, A.J. (1984). "Land application of sewage sludge with regard to cropping systems and pollution potential." *J. Environ. Qual.*, 13, 441-448.

16- Chang, A.C., Page, A.L., Warneke, J. E., Resketo, M.R., and Jonse, T.E. (1983). "Accumulation of cadmium and zinc in barley grown on sludge- treated soil: A long term field study." *J. Environ. Qual.*, 12, 391-394.

17- Yonggie, W. B., and Liu, Y. (2005). "Effects of sewage sludge compost application on crops and cropland in a 3- year field study." *Chemospher.*, 59 (9), 1257-1265.

18- Keller, C., Kayser, A., Keller, A., and Schulin, R. (2001). *Heavy – metal uptake by agricultural crops from sewage – sludge treated soils of the upper Swiss Rhine valley and the effect of time*, In: *Environmental restoration of metals – contaminated soil*, I. K. Iskandar, ed., Lewis Pub., Washington, D.C.

19- Hooda, P. S., and Alloway, B. J. (1993). "Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge amended soils." *J. Soil Sci.*, 44(1), 97-110.

20- Kabata A., and Pendias, H. (2000). *Trace elements in soils and plants*, 3rd Ed., CRC press, Washington, D.C.

۲۱- خدیوی بروجنی، ا. (۱۳۸۲). "اثر کودهای آلی بر اشکال شیمیایی فلزات سنگین در خاک و جذب این عناصر توسط گندم." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

22- Bingham, F. T., Page, A. L., and Strong, J. E. (1980). "Yield and cadmium content of rice grain in relation to addition rates of cadmium, copper, nickel, and zinc with sewage sludge and liming." *Soil Sci.*, 2, 130- 141.

23- Morera, M.T., Echeverria, J., and Garrido, J. (2002). "Bioavailability of heavy metals in soils amended with sewage sludge." *Canadim J. Soil Sci.*, 82, 4-14.

24- Navas, A., Bermudes, F., and Machin, J. (1998). "Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of gypsisols." *Geoderma*, 87, 123-135.