مجله پژوهشهای گیاهی (مجله زیست شناسی ایران) جلد ۳۸، شماره ۱، ۱۴۰۴
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

اثر لجن فاضلاب و کود شیمیایی (NPK) بر جذب عناصر سنگین در گیاه ریحان

طاهره رضایی، علی اکبر کریمیان* و حمید سودایی زاده

ایران، یزد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی، گروه گیاهان دارویی و صنعتی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

چکیده

در طی تصفیه فاضلاب، حجم عظیمی از لجن تولید می‌شود که به دلیل وجود مواد مغذی، میتواند در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، وجود فلزات سنگین مضر و سایر ترکیبات سمی در لجن، استفاده از آن را به‌عنوان کود محدود می‌کند. انجام تحقیق حاضر باهدف دستیابی به اطلاعات برهمکنش برخی از خصوصیات ریحان در شرایط کاربرد لجن فاضلاب بهداشتی شهر یزد که به مدت چند سال دپو شده و پوسیده بود انجام شد. در این راستا ، اثرات کاربرد کود شیمیایی و لجن در قالب چهار تیمار کود NPK، لجن، لجن + کود NPK و شاهد در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۴ تکرار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین تیمارهای مختلف از نظر مقدار جذب و غلظت عناصر سنگین اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در بخش ریشه ریحان تنها مقدار عنصر بور در تیمارهای لجن و کود + لجن و همچنین عنصر لیتیوم در تیمار کود+ لجن به طور معنی داری از مقدار شاهد بیشتر بود. در بخش هوایی ریحان میزان تجمع آهن، آلومنیوم و منگنز در تیمار کود، مس در تیمار لجن و کود، لیتیوم در تیمار کود+لجن و درنهایت روی و منیزیم در تیمارهای لجن و کود+لجن از مقدار شاهد بیشتر بود. با اینحال مقدار تجمع عناصر در اندام‌های مختلف ریحان از حد استاندارد کمتر بود. بطور کلی نتایج تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب بهداشتی باعث افزایش رشد گیاه ریحان شده و با توجه به پایین‌تر بودن غلظت عناصر سنگین از حد استاندارد، کاربرد این ماده از نظر جذب فلزات مورد بررسی در این آزمایش و با این نوع فاضلاب مشکلی برای پرورش این گیاه فراهم نمی‌کند.

واژه های کلیدی: پسماند فاضلاب، عناصر سنگین، عناصر غذایی، لجن

* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۵۳۸۲۱۰۳۱۲ ، پست الکترونیکی: akarimian@yazd.ac.ir

مقدمه

با پیشرفت علم و فناوری و ارتقا سطح رفاه عمومی، مواد زائد تولید شده از جوامع شهری و روستایی رو به افزایش است. حجم قابل توجهی از این مواد زائد، فاضلاب تولیدی در مناطق شهری است که می‌بایست سالانه حجم بالایی از آن تصفیه شود (۲۳). یکی از مواد حاصل از تصفیه فاضلاب، لجن آن است که ضروری است تحقیقات کافی در زمینه دفع یا استفاده از آن در کاربری‌های مختلف بخصوص بخش کشاورزی انجام پذیرد.. امروزه ابداع شیوه‌های نوین مدیریت بهره برداری از منابع و استفاده از سیستم‌های زراعی کم‌نهاده به‌منظور دست‌یابی به اهداف کشاورزی پایدار و حفظ محیط‌زیست، اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. لجن فاضلاب دارای مواد آلی فراوان و عناصر ضروری مورد نیاز گیاه مانند نیتروژن و فسفر است (۱). کاربرد لجن فاضلاب به‌عنوان کود در زمین‌های کشاورزی علاوه بر داشتن برتری‌های اقتصادی، گزینه مناسبی نیز برای رفع مشکل زیست‌محیطی آن است. از طرفی کشاورزی فشرده (Intensive farming) معمولاً برای حفظ باروری و افزایش عملکرد محصول نیاز به افزودن مواد آلی زیادی دارد. لجن فاضلاب با محتوای بالای مواد آلی، مواد درشت و ریز مغذی می‌تواند به‌عنوان کود برای تأمین مواد

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

غذایی سبزیجات، گیاهان باغی و زراعی مورد استفاده قرار گیرد که در این صورت می‌تواند به‌طور کامل بازیافت شود (۸). در گذشته لجن فاضلاب به دلیل سطح بالای آلاینده‌های مورد انتظار مانند پاتوژن ها، آلاینده‌ها و مواد مصنوعی خارج شده در فاضلاب منازل و صنایع اغلب سوزانده می‌شدند، در مواقعی در زمین‌ها تخلیه می‌شدند، و در مجموع به‌عنوان یک محصول زائد در نظر گرفته می‌شد (۷). در حال حاضر استفاده از لجن فاضلاب در اراضی کشاورزی، جنگل‌ها، و شاید اراضی دیم می تواند به‌عنوان راهکاری مناسب جهت بازگردادن عناصر غذایی به خاک و افزایش قدرت باروری باشد (۱۵). گزارشات مختلفی نیز در رابطه با استفاده از لجن فاضلاب برای تولید گیاهان ارائه شده است.(۱ ، ۳ و ۶). محدودیت اصلی مصرف لجن فاضلاب وجود غلظت‌ها ی مختلفی از فلزات سنگین مانند سرب و کادمیوم می‌باشد(۲۲). در هر صورت کاربرد لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی باید با در نظر گرفتن تمامی جنبه‌های مفید و مضر آن صورت گیرد و حفظ سلامت مصرف کنندگان محصولات کشاورزی باید در اولویت همه برنامه‌ها باشد (۵ و۱۲).

مطالعات انجام شده بطور جسته و گریخته تأثیر لجن فاضلاب را بر جذب تعدادی از فلزات سنگین در برخی گونه های گیاهی مورد مطالعه قرار داده اند در این تحقیق قصد بر آن است تا لجن فاضلاب بهداشتی شهر یزد مستقیما بر روی میزان جذب فلزلت سنگین توسط اندام های مختلف گیاه ریحان که یکی از سبزیجات پر مصرف است مورد آزمون و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روشها

آماده سازی بستر کاشت: به‌منظور آماده سازی و بررسی امکان استفاده از لجن فاضلاب بر شاخص های عملکردی گیاهان، گونه ریحان که یکی از گونه های دارویی و سبزیجات معطر پر مصرف است انتخاب شد. نمونه‌های گیاهی در گلخانه دانشگاه یزد در سینی نشاء با بستر کوکوپیت (Coco Peat) ساخت کشور سریلانکا مستقر شدند. پس از گذشت ۲۰ روز و رسیدن بذور به مرحله دو برگی، نشاءها از سینی نشاء خارج شده و وارد گلدان‌های پلاستیکی به ارتفاع ۲۵ و قطر ۲۰ سانتی متر شدند. بستر کشت گلدان‌ها شامل نسبت ۱:۱ ماسه و خاک لومی دارای هدایت الکتریکی ۳/۷ (ds/m) و PH ۶/۹۳ بود، تعیین شدند. حجم هر گلدان ۲۰± ۵۰۰۰ میلی لیتر انتخاب گردید. تیمارهای مورد بررسی در این تحقیق شامل کود NPK، به مقدار ۲۰۰ کیلو گرم در هکتار، (۲ گرم در هر گلدان) لجن فاضلاب، به مقدار ده تن در هکتار (۵۰ گرم در هر گلدان) و ادغام لجن فاضلاب و کود NPK (۵۰ گرم لجن فاضلاب و ۲ گرم کود در گلدان) بر اساس منابع موجود و شاهد بدون استفاده از کود و لجن در ۴ تکرار در نظر گرفته شد که در قالب طرح بلوک کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند.

لجن مورد استفاده از نوع فاضلاب شهری، و تهیه شده از ایستگاه فاضلاب شهری استان یزد واقع در جنوب شرقی این استان انتخاب شد. لجن‌ها به روش احمدِ و همکاران (۲۰۱۰) با اندکی تغییر خشک و به گلدان‌ها اضافه شد، به این صورت که لجن‌ها در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید و سپس با مش ۲ میلی متر الک شدند، در انتها ۵۰ گرم از پودر لجن خشک به خاک گلدان در تیمار لجن اضافه و به‌خوبی مخلوط گردید. پس از استقرار نشاءهای گیاه ریحان به مدت یک هفته، به تیمار مربوطه کود NPK به مقدار ۲ گرم در هرگلدان‌ها اضافه شد.

آبیاری و نگهداری گیاهان: در طی دوره رشدی ۳ ماهه گیاهان در گلخانه، آبیاری گلدان‌ها با آب لوله کشی با میزان شوری ۷۰۰ میکروزیمنس بر متر مربع، انجام شد. در ابتدای دوره کشت آبیاری به‌صورت روزانه و از میانه دوره رشد به بعد با رسیدن رطوبت به ۸۰ درصد FC برای هر گلدان اعمال شد (۱۰).

DOI: 10.22034/jpr.2025.2272 مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶

پاکسازی ریشه ها: جهت پاک‌سازی گل و لای از ریشه گیاه، و به‌منظور عدم آسیب دیدگی ریشه‌ها جهت اندازه گیری هر چه‌بهتر صفات، ابتدا ریشه‌ها با جریان ملایم آب شهری شستشو داده شد، سپس ریشه‌ها در بشر با حجم ۲۰۰۰ میلی لیتر آب مقطر معلق گشت و پس از جدا شدن کامل ذرات خاک، ریشه‌ها برای اندازه گیری فلزات سنگین، مورد استفاده قرار گرفتند.

آماده سازی نمونه‌ها برای اندازه گیری فلزات سنگین : بدین منظور نمونه‌های گیاهی که در مرحله گلدهی کامل بودن جمع آوری شده و در آون با دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت به‌طور کامل خشک شدند. سپس با استفاده از روش هضم خشک ۵۰۰ میلی گرم نمونه خشک گیاهی درون بوته چینی ریخته و دما به‌تدریج و در طی دو ساعت به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. سپس به مدت ۴ ساعت در این دما باقی ماند. پس از مشاهده خاکستر سفید رنگ و سرد شدن نمونه‌ها در بالون آزمایشگاهی، ۱۰ میلی لیتر اسیدکلریدریک ۲ نرمال افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه بر روی اجاقک با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و سپس به حجم ۲۵ سی سی رسید (۹). سپس مقدار و نوع فلزات سنگین با دستگاه جذب اتمی مدل ICP OES variant شرکت خدمات مهندسی نوین پایش گستران اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده ها: داده های بدست آمده با استفاده از آزمون تجزیه واریانس در نرم افزار SPSS و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون توکی و رسم نمودار ها در نرم افزار Excel انجام شد.

نتایج

خصوصیات لجن فاضلاب مورد استفاده: بر اساس اطلاعات موجود در سازمان آب و فاضلاب استان یزد لجن فاضلاب مورد استفاده از نظر pH، فسفر، پتاسیم، ازت و ماده آلی در دامنه مقادیر نرمال قرار داشته بنابراین کاربرد لجن از این نظر برای مصارف مختلف از جمله بعنوان کود در کشاورزی محدودیتی ایجاد نمی‌کند (جدول ۱). مقدار هدایت الکتریکی لجن بیانگر شوری نسبتا بالای آن بود که ضروری است در کاشت گیاهان حساس به شوری این پارامتر مورد توجه قرار گیرد. راهکار پیشنهادی آن است که پس از افزودن لجن به خاک با انجام یک آبیاری سنگین بصورت غرقابی میزان شوری آن را کاهش داد تا از این نظر مشکلی برای رشد محصول ایجاد نشود. غلظت عناصر سنگین موجود در لجن و مقایسه آن با مقادیر استاندارد نشان‌دهنده آن است که غلظت عناصر مورد نظر از مقادیر استاندارد (جدول ۲) پایین‌تر است.

اثر تیمارهای مختلف کودی بر غلظت (توزیع) عناصر سنگین در اندام‌های هوایی و ریشه گیاه ریحان

الف- ریشه: نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری عناصر سنگین موجود در بخش ریشه گیاه ریحان نشان داد که اثر کاربرد تیمارهای مختلف کودی، اعم از کود شیمیایی، لجن فاضلاب و مصرف توأم آنها بر مقادیر آلومینیوم، بور، مس، آهن، لیتیوم، منیزیوم و روی در سطح ۱٪ معنی دار است. (جدول ۳).

جدول ۱- خصوصیات لجن فاضلاب مورد استفاده در آزمایش

پارامترها	هدایت الکتریکی (ds/m)	pH	فسفر کل (٪)	پتاسیم کل (٪)	ازت کل (٪)	ماده آلی (٪)	سرب (mg/kg)	کادمیوم (mg/kg)	کروم (mg/kg)	نیکل (mg/kg)
مقادیر	۶/۹۴	۶/۵۳	۳/۱۶	۰/۵۱	۴/۰۲	۴۷/۰۶	۳/۲۱	۰/۴۱	۲۲/۰۲	۲۲/۷

منبع سازمان آب و فاضلاب استان یزد

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

جدول ۲- حد مجاز غلظت عناصر سنگین (mg/kg) در لجن فاضلاب مطابق استانداردهای EPA، DWAF، آمریکا و کانادا

استاندارد مورد استفاده	سرب	کادمیوم	کروم	نیکل
EPA	۳۰۰	۳۹	۱۲۰۰	۴۲۰
DWAF	۱۵۰	۵	۴۵۰	۲۰۰
آمریکا	۳۰۰	۱۰	۱۲۰۰	۴۲۰
کانادا	۲۰۰	۱۰	۱۰۰۰	۱۰۰

Environmental Protection Agency آمریکا(USEPA)

منبع: راهنمای عناصر کمیاب ترجمه اصغرنادری

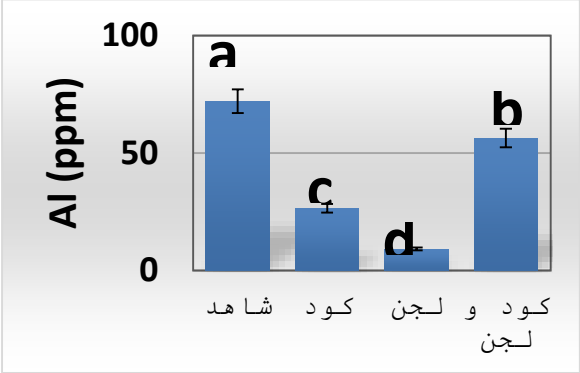
جدول ۳ - نتایج تجزیه واریانس تجمع برخی فلزات سنگین در ریشه ریحان تحت تیمارهای مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		آلومینیم	بور	مس	آهن	لیتیوم	منیزیم	روی
تکرار	۳	۱۴/۶۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴۴/۲	۰/۰۰۰۱	۰/۴۷	۰/۰۱
نوع کود	۳	۲۴۲۱/۹**	۰/۰۵**	۰/۱۴۷**	۱۵۵۵/۴**	۰/۱۳**	۴/۱۳**	۰/۲۱**
خطا آزمایشی	۶	۵۲/۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۱۰/۸	۰/۰۰۰۳	۰/۴۲	۰/۰۰۹
ضریب تغییرات	-	۱۷/۷	۴/۳۱	۱۴/۹	۱۵/۴	۷/۶۸	۲/۰۹	۱۶/۵۷

** معنی‌دار در سطح معنی‌دار ۱ درصد

شایان ذکر است بر اساس گزارش آزمایشگاه جذب اتمی شرکت خدمات مهندسی نوین پایش گستران عناصری همچون سرب، کادمیوم و کروم که از عناصر سنگین مهم هستند بدلیل پایین بودن غلظت آن‌ها در نمونه ها قابل اندازه گیری نبودند. همچنین با توجه به تفاوت نور گلخانه به دلیل رنگ پاشی ناهمگن تصور می شد که تفاوت بین تکرار را وجود داشته باشه ولی نتایج تفاوتی را نشان نداد.

-آلومینیوم: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر آلومینیوم در بخش ریشه تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم آنها بیانگر اثرگذاری منفی کود و لجن فاضلاب بر مقدار جذب آلومینیوم است. بر این اساس بیشترین مقدار آلومینیوم به میزان ۷۱/۹۹ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد اندازه‌گیری شد (شکل ۱). مشاهده مقادیر و نحوه توزیع آلومینیوم در ریشه نشان می‌دهد مصرف جداگانه کود شیمیایی و لجن بر میزان جذب آلومینیوم ریشه گیاه ریحان تأثیر منفی داشتند بطوری که تیمار شاهد بیشترین مقدار آلومینیوم را دارا بود.



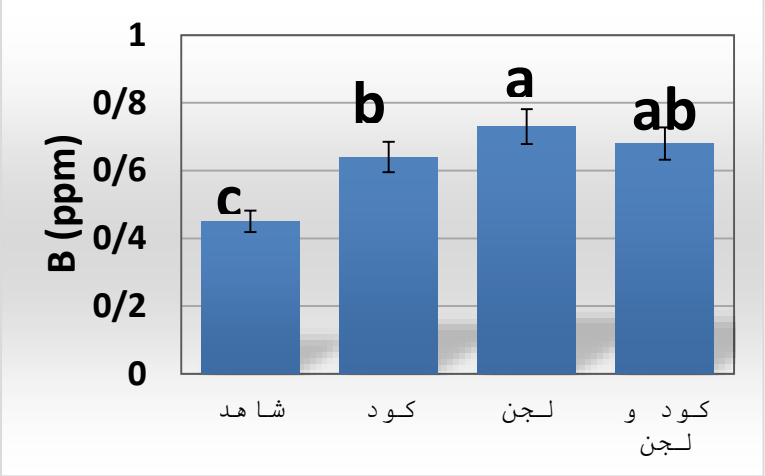
شکل ۱- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان آلومینیوم ریشه گیاه ریحان(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی-داری ندارند)

میزان جذب تیمارهای حاوی مصرف توام کود و لجن، کود شیمیایی و در نهایت لجن به ترتیب ۵۶/۴۱، ۲۶/۴۶ و ۹/۱۸ میلی گرم در کیلوگرم اندازه گیری شد. به نظر می رسد تأثیر هر کدام از تیمار ها به تنهایی باعث عدم جذب آلومینیوم در ریشه گیاه شده است اما بر هم کنش این دو

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

فاکتور احتمالا باعث آزاد شدن آلومینیوم در خاک و جذب آن توسط ریشه شده است.

– **بور:** مقایسه میانگین میزان جذب بور در ریشه گیاه نشان داد که هر چند بیشترین مقدار اندازه‌گیری شده در تیمار مصرف لجن فاضلاب اندازه‌گیری گردیده اما میزان غلظت عنصر بور در محیط بسیار اندک بوده و همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود نوسان اختلاف غلظت این عنصر از کمترین مقدار به میزان ۰/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد به اندازه ۰/۲۸ واحد با بیشترین میزان آن در تیمار مصرف لجن، تفاوت داشته است. با این وجود به جهت اینکه حد مسمومیت و کاهش عملکرد اغلب گیاهان در غلظتهای بالاتر از یک میلی‌گرم در کیلوگرم عنصر بور صورت می‌پذیرد (۲۰) کاربرد این نوع لجن فاضلاب نمی‌تواند باعث افزایش غلظت بور در حد مسمومیت برای گیاه باشد (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان بور ریشه گیاه ریحان(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

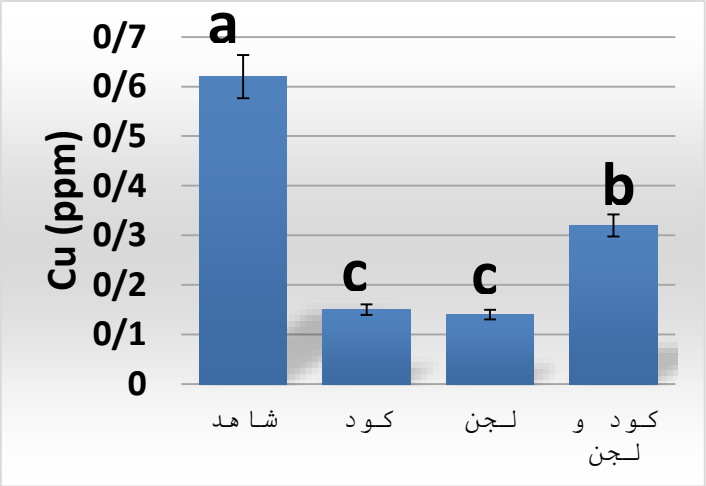
شایان ذکر است که بیشتر بودن مقادیر بور در آن دسته از تیمارهایی که لجن فاضلاب مصرف شده است بیانگر تأثیر محسوس لجن فاضلاب بر جذب این عنصر است،

– **مس:** مقایسه میانگین داده‌های حاصل از توزیع عنصر مس در ریشه گیاه، نشان از تأثیر تیمارهای مختلف بر مقدار جذب آن عنصر دارد. بیشترین مقدار عنصر مس در تیمار شاهد به میزان ۰/۶۲ میلی گرم در کیلوگرم و کمترین میزان آن به مقدار ۰/۱۴ و ۰/۱۵ میلی گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمار لجن و همچنین کود شیمیایی اندازه گیری شد (شکل ۳)

مس یکی ازعناصر ریزمغذی ضروری برای رشد گیاه است. این عنصر نقش پررنگی در انجام بسیاری از فعالیت‌های آنزیمی گیاه و تولید کلروفیل و بذر دارد. گیاهان نیاز کمی به مس دارند بنابراین محدوده مناسب این عنصر محدوده باریکی است (۵-۳ میلی گرم در کیلوگرم) و حتی اگر مقدار مس کمی بالاتر از این باشد گیاه دچار مسمومیت می‌شود (۱۹).

بنظر می رسد کاربرد کود و لجن فاضلاب مانع جذب بیش از حد مس نسبت به تیمار شاهد شده است. عنصر مس در حضور ترکیبات آلی به جهت ترکیب با بنیانهای ترکیبات آلی (لجن) و ایجاد باندهای قوی با آنها، تثبیت شده و از دسترس ریشه خارج می‌گردد. این پدیده می‌تواند کاهش غلظت مس در تیمارهای دارای لجن فاضلاب را در مقایسه با تیمار شاهد توجیه کند (۱۴).

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272



شکل ۳- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان مس ریشه گیاه ریحان(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

- **آهن**: نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر آهن تحت تأثیر تیمارهای کود، بیانگر تفاوت معنی‌دار میزان جذب آهن ریشه گیاهان مستقر در تیمارهای مورد استفاده می‌باشد. بیشترین جذب در تیمار شاهد به میزان ۵۹/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. کاهش جذب آهن ریشه گیاه ریحان تحت تیمارهای کودی می‌تواند به دلیل وجود باندهای لیگاندی کمپلکس مولکول‌های درشت ترکیبات آلی محتوای لجن باشد که مانع آزاد سازی یون آهن و به تبع آن عدم جذب توسط ریشه میشود (۲۴). عدم تفاوت مقادیر آهن تیمار مصرف توام لجن و کود و جداگانه لجن می‌تواند مؤید این موضوع باشد. همچنین برهمکنش جذب یونهای عناصر غذایی و اختلال احتمالی در جریان جذب متناسب عناصر غذایی به جهت مصرف کودهای شیمیایی می‌تواند دلیل غلظت کم آهن در ریشه تحت تیمار مصرف کود شیمیایی باشد. باید در نظر داشت که در بررسی نحوه توزیع عناصر ضروری باید غلظت این عنصر در سایر اندامها به ویژه بخش هوایی نیز مشخص شود تا علت‌های احتمالی کاهش غلظت در بخش ریشه تبیین گردد از آنجاییکه احتمال افزایش رشد رویشی گیاه به جهت افزایش عناصر تحریک کننده رشد از قبیل نیتروژن باعث می‌شود که بخش هوایی نیاز به مصرف توام سایر عناصر پیدا کند از این رو ریشه بخش اعظمی از عناصر را به بخش هوایی منتقل نموده لذا کاهش غلظت آهن در تیمارهای بکارگرفته شده را شاهد هستیم (شکل ۴).

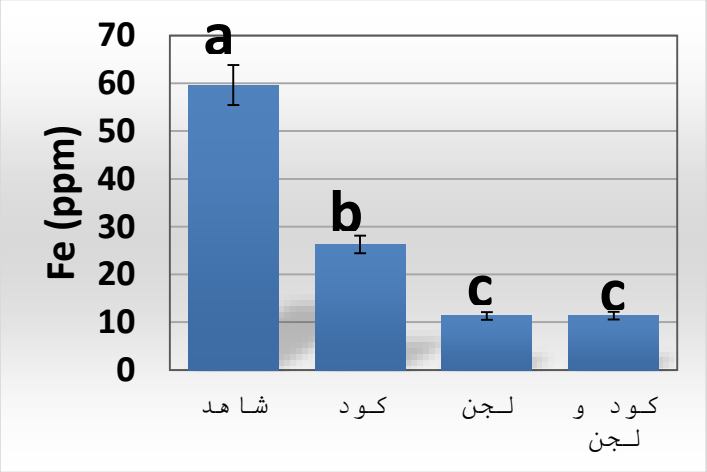
- **لیتیوم**: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر لیتیوم تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم آنها بیانگر اختلاف معنی دار توزیع این عنصر در مقیاس تغییرات ۰/۳ الی ۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (شکل ۵). میزان ضریب تغییرات آزمایشی برابر ۷/۶۸ درصد بیانگر دقت مطلوب آزمایش می‌باشد. عنصر لیتیوم از جمله عناصری است که ضرورت عمومی آن برای گیاهان به اثبات نرسیده است و میزان آن غالباً مرتبط با سنگ بستر سازنده خاک مورد استفاده می‌باشد در غیر اینصورت مقادیر لیتیوم در خاکها بسیار ناچیز می‌باشد (۱۳). با این وجود در خصوص بالا بودن میزان جذب در تیمار کاربرد توأم کود و لجن فاضلاب و سطح پایین جذب لیتیوم در تیمارهای لجن فاضلاب می‌توان به تحریک تجزیه میکروبی توسط عناصر کودی سهل الوصول برای جامعه میکروبی تجزیه کننده و نتیجتاً آزاد شدن لیتیوم موجود در ساختار آلی لجن فاضلاب اشاره نمود که باعث شده است بیشترین سطح جذبی و غلظت لیتیوم در بخش

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

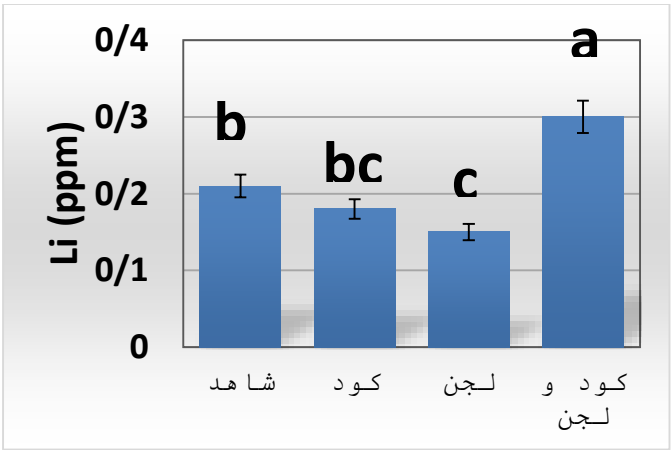
ریشه گیاه ریحان رشد یافته در بستر دارای کود و لجن فاضلاب بدست آید (شکل ۵).

– **منیزیم**: مقایسه میانگین داده‌ها نشان دهنده تغییرات و اختلاف معنی‌دار در غلظت و نحوه توزیع منیزیم ریشه در تیمارهای اعمال شده می‌باشد. هر چند که میزان تأثیر لجن فاضلاب و کود شیمیایی دارای نوسان اندک "۲/۷۵" واحدی می‌باشد (بیشترین میزان ۳۲/۰۸ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف توأم کود و لجن فاضلاب و کمترین میزان ۲۹/۳۳ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف کود شیمیایی) اما اختلافات معنی دار به جهت دقت بالای اندازه‌گیری‌ها است. میزان ۲/۰۹ درصدی ضریب تغییرات بیانگر این موضوع می‌باشد.

– **منگنز**: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر منگنز تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم آنها نشان داد که بیشترین جذب صورت گرفته به میزان ۲/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد وجود دارد که با میزان منگنز تیمار مصرف توام لجن و کود با میزان ۲/۰۰ میلی گرم در کیلوگرم اختلاف معنی داری نداشت. همچنین تیمار مصرف کود و تیمار مصرف لجن به ترتیب دارای ۱/۰۷ و ۰/۷۱ میلی گرم در کیلوگرم منگنز بودند که کمترین مقادیر در این تیمارها گزارش شده است (شکل ۷).

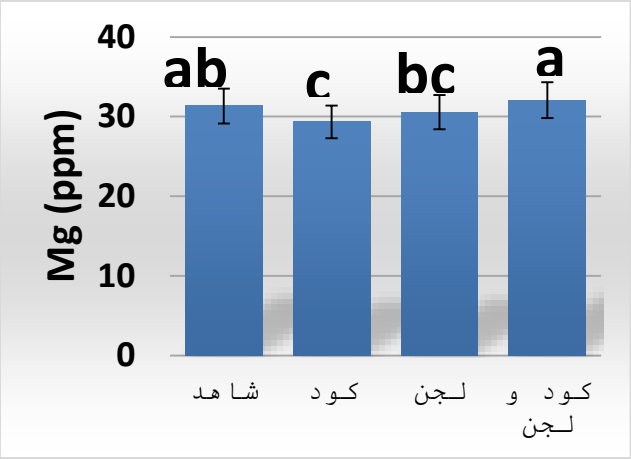


شکل ۴–مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان آهن ریشه گیاه ریحان(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

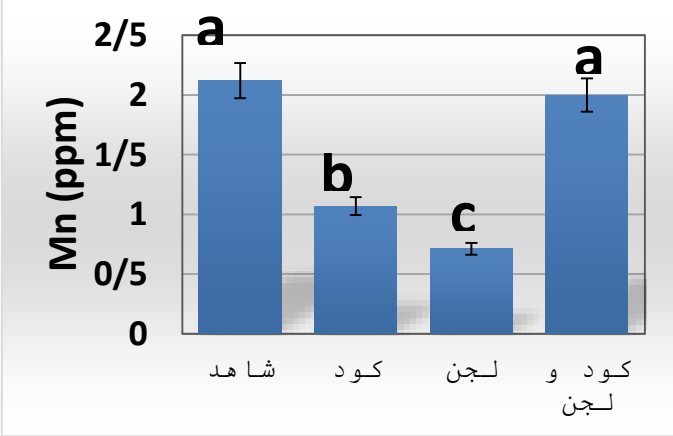


شکل ۵– مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان لیتیوم ریشه گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272



شکل۶- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان منیزیم ریشه گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل ۷- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان منگنز ریشه گیاه ریحان

(میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

برهمکنش کود شیمیایی و مواد آلی (لجن) در بستر رشد و مقایسه میزان منگنز تیمارهای حاوی توأم کود و لجن فاضلاب با سایر تیمارها نشان می‌دهد که ترکیبات لجن می‌تواند در کوتاه مدت نقش کنترل کننده مناسبی را در جهت آزادسازی تدریجی و متوازن عناصر در محیط ریشه جهت جذب داشته باشد. بنظر می رسد عدم اختلاف معنی دار مقدار منگنز تیمار مصرف توام لجن و کود با تیمار شاهد به دلیل نقش تحریک کننده اثر کود شیمیایی بر معدنی شدن ترکیبات آلی لجن باشد. همچنین بنظر می رسد با توجه به خواص کنترل کننده ترکیبات آلی در آزادسازی تدریجی عناصر غذایی، مصرف توام لجن و کود و همچنین تیمار حاوی لجن در دراز مدت توانایی تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان را داشته باشد.

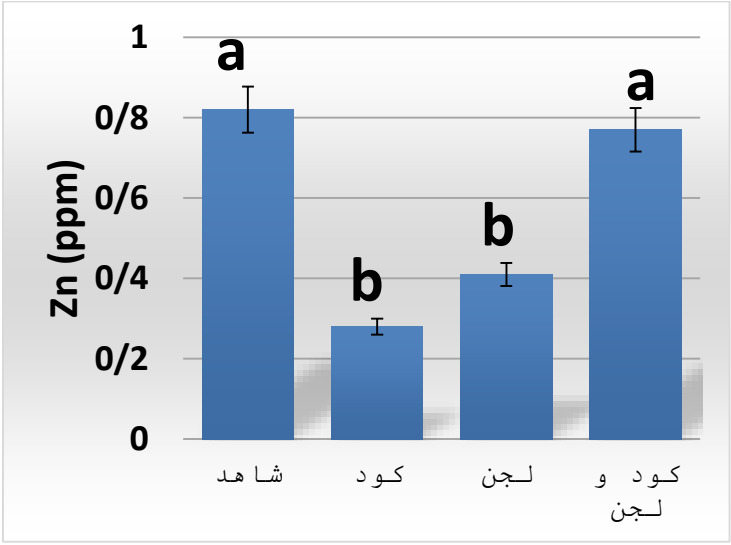
روی: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر روی تحت تأثیر تیمارهای مختلف بیانگر اثرگذاری کود و لجن فاضلاب بر مقدار جذب روی است. تغییرات روی در ریشه گیاه تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب فاحش نبوده و تنها در حد ۰/۵۴ واحد است. بیشترین مقدار عنصر روی

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

به میزان ۰/۸۲ و ۰/۷۷ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار مصرف توأم کود و لجن اندازه‌گیری شد (شکل ۸).

روی یکی از عناصر ضروری جهت رشد گیاهان به شمار می‌رود. میزان عنصر روی در گیاهان بین محدوده ۲۵ الی ۱۵۰ میلی گرم در کیلوگرم در نوسان می‌باشد. همچنین میزان روی در پوسته زمین (شامل خاک) بین ۱۰ الی ۳۵۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است. میزان روی در بخش هوایی گیاهان در محدوده ۱۰ الی ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم بسته به نوع گیاه می‌تواند متغیر باشد و حد مسمومیت آن در غلظتهای بالای ۴۰۰ میلی گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۲۱).

ب- اندام هوایی: نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به اندازه‌گیری عناصر سنگین موجود در بخش هوایی گیاه ریحان نشان داد که اثر کاربرد تیمارهای مختلف کودی، اعم از کود شیمیایی، لجن فاضلاب و مصرف توأم آنها بر مقادیر آلومینیوم، مس و آهن در سطح ۱٪ و بر مقادیر عناصر لیتیوم، منیزیم و روی در سطح ۵٪ معنی دار است. در خصوص عنصر بور هم هیچگونه تاثیر معنی داری در تیمارها مشاهده نشد (جدول ۴).



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان عنصر روی ریشه گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

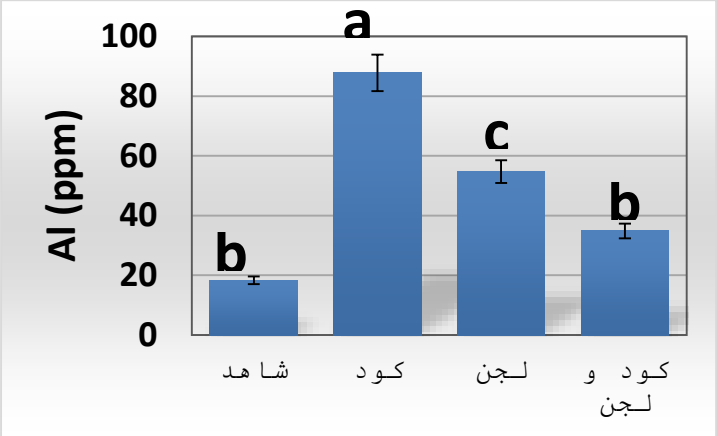
جدول ۴ نتایج تجزیه واریانس تجمع برخی فلزات سنگین در اندام هوایی ریحان تحت تیمارهای مختلف

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		آلومینیم	بور	مس	آهن	لیتیوم	منیزیم	روی
تکرار	۲	۲۸/۴۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۴۴/۵۵	۰/۰۰۱	۰/۰۸	۰/۰۰۶
نوع کود	۳	۲۶۷۸/۷۲**	۰/۰۷ns	۰/۰۴۷**	۲۰۲۶/۱۷**	۰/۰۰۸*	۱۱/۲۴*	۱/۱۳*
خطا آزمایشی	۶	۶۲/۸۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۱	۶۱/۷۵	۰/۰۰۱	۱/۲۱	۰/۰۱۵
ضریب تغییرات	-	۱۶/۱۸	۲۳/۵۳	۱۰/۵۹	۱۶/۵۹	۱۲/۲۹	۳/۵	۱۲/۱

*، ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد. ns عدم اختلاف معنی‌دار

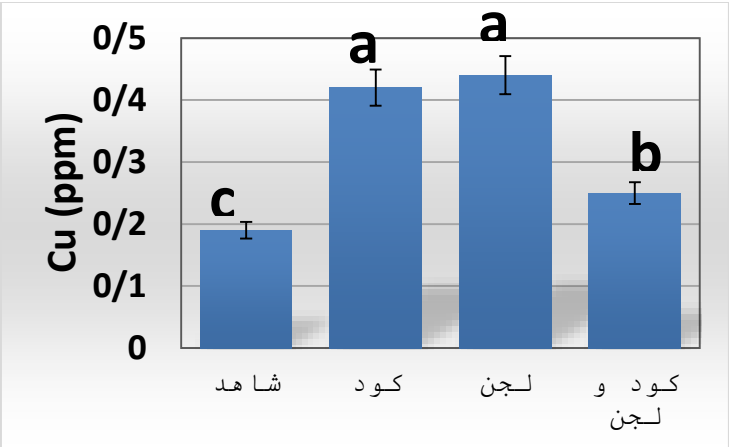
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

آلومینیوم: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر آلومینیوم تحت تأثیر تیمارهای مختلف کودی بیانگر تأثیر معنی دار کود و لجن فاضلاب در توزیع این عنصر در بخش‌های هوایی می‌باشد. بیشترین مقدار آلومینیوم به میزان ۸۷/۸ میلی گرم در کیلوگرم در بخش هوایی در تیمار مصرف کود شیمیایی اندازه‌گیری شد (شکل۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان آلومینیوم بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

– **مس**: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از توزیع عنصر مس در اندام هوایی گیاه، تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم آنها بیانگر تأثیر نوع ماده افزوده شده بر روی غلظت این عنصر می‌باشد. بیشترین مقدار عنصر مس در تیمار کود و تیمار لجن به ترتیب به میزان ۰/۴۴ و ۰/۴۲ میلی گرم در کیلوگرم و کمترین میزان آن به مقدار ۰/۱۹ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد اندازه گیری شد (شکل ۱۰).

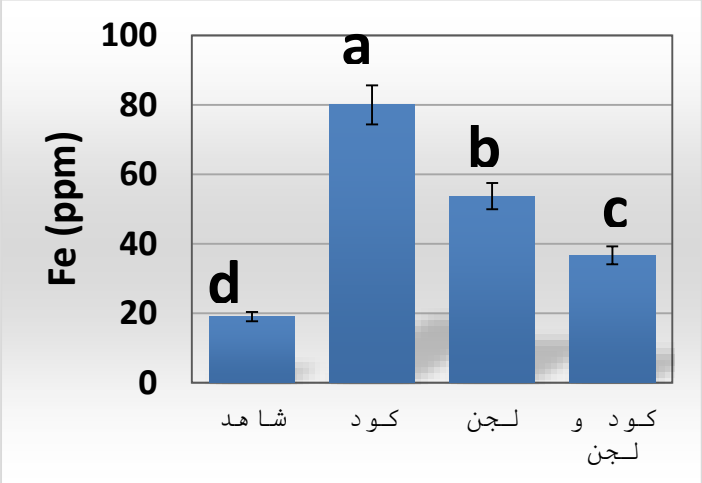


شکل ۱۰- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان مس بخش هوایی گیاه ریحان (**میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند**)

شکل۱۰ نشان می‌دهد که استفاده از کود شیمیایی و لجن فاضلاب بطور جداگانه باعث تحریک برداشت مس موجود در بستر رشد شده که این افزایش جذب در بخش‌های هوایی تیمارهای مذکور مشاهده شد. اما در خصوص تیمارهایی که دارای لجن فاضلاب هستند برهمکنش مثبت کاربرد توأم کود و لجن فاضلاب مانع جذب بیش از حد مس در تیمار کاربرد توام کود و لجن فاضلاب شده است.

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

- **آهن:** نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر آهن تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم این مواد، بیانگر تفاوت معنی‌دار میزان جذب آهن گیاهان مستقر در تیمارهای مورد استفاده است. بیشترین جذب در تیمار مصرف جداگانه کود شیمیایی به میزان ۸۰/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد. این امر به جهت مصرف کود شیمیایی و تحریک رشد رویشی گیاه و نهایتاً نیاز به جذب آهن که به عنوان عنصر ریزمغذی ضروری در رشد گیاهان لازم است مربوط می‌شود (شکل ۱۱). نقش کنترل کننده ترکیبات آلی محتوای لجن در تیمارهای حاوی این ماده باعث شده است که مقادیر آهن موجود در بخش هوایی تیمارهای مورد اشاره کمتر از تیمار مصرف جداگانه کود شیمیایی باشد.



شکل ۱۱- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان آهن بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

مصرف لجن فاضلاب منجر به کاهش ورود آهن در گیاه شده است به عبارت دیگر لجن فاضلاب باعث متعادل شدن جذب آهن و بهبود توزیع و جذب آن در گیاه شده است. مقادیر آهن موجود در بخش‌های هوایی تیمارهای مختلف نشان می‌دهد که مصرف کود، لجن فاضلاب و توأم آنها باعث افزایش غلظت آهن در بخش هوایی گیاه شده است در این خصوص حضور لجن فاضلاب به جهت باند شدن آهن خاک و همچنین آهن موجود در لجن فاضلاب با ترکیبات آلی موجود در لجن فاضلاب باعث کاهش جذب آهن در بخش هوایی در مقایسه با تیمار شاهد شده است (۱۶). همانطور که ذکر شد حضور لجن فاضلاب و خاصیت کلاته نمودن منابع آلی موجود در آن باعث توزیع متعادل عناصر منجمله آهن شده است (شکل ۱۱).

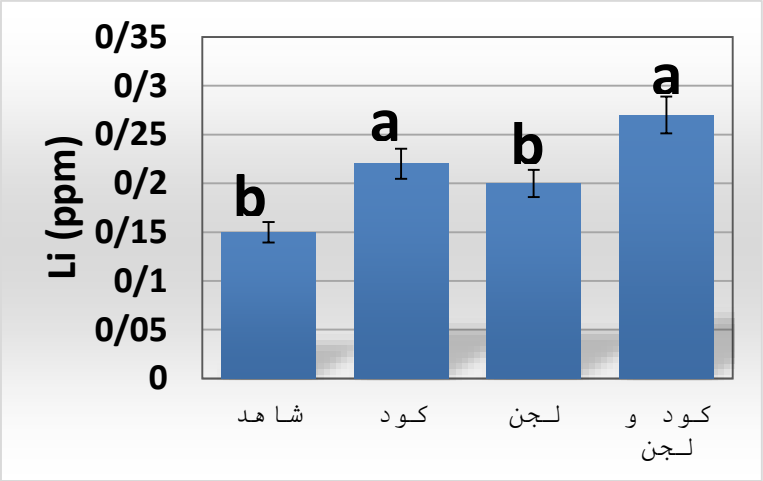
لیتیوم: مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر لیتیوم تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن و همچنین مصرف توأم آنها بیانگر اختلاف معنی دار توزیع این عنصر در بخش هوایی در مقیاس تغییرات ۰/۲۷ الی ۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (شکل ۱۲). میزان ضریب تغییرات آزمایشی برابر ۱۲/۲۹ درصد بیانگر دقت مطلوب آزمایش می‌باشد.

نیاز و لزوم حضور لیتیوم به عنوان عنصر غذایی گزارش نشده است. مشابه وضعیت توزیع عنصر لیتیوم در بخش ریشه گیاه ریحان و در خصوص بالا بودن میزان جذب در تیمار کاربرد توأم کود و لجن فاضلاب و سطح پایین جذب لیتیوم در تیمارهای لجن فاضلاب می‌توان به تحریک میکروبی معدنی شدن ساختار آلی متصل به عناصر

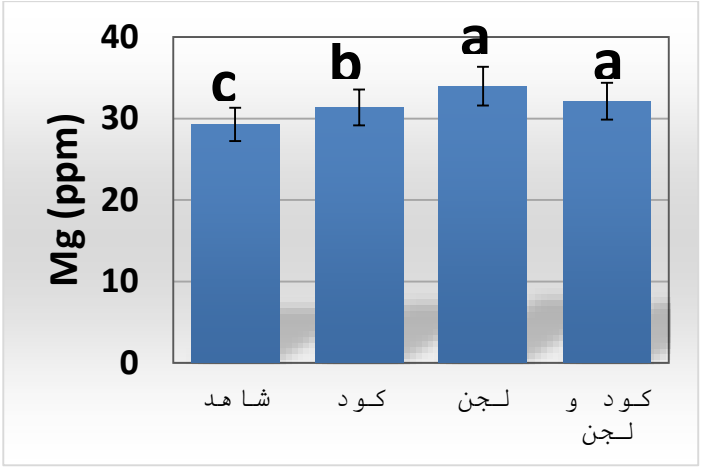
مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

غذایی و سایر فلزات و نتیجتاً آزاد شدن لیتیوم موجود در ساختار آلی لجن فاضلاب اشاره نمود که باعث شده است بیشترین سطح جذبی و غلظت لیتیوم در بخش هوایی گیاه ریحان رشد یافته در بستر دارای کود و لجن اندازه گیری شود (شکل ۱۲).

- **منیزیم**: مقایسه میانگین داده‌ها نشان دهنده تغییرات و اختلاف معنی‌دار در غلظت و نحوه توزیع منیزیم در بخش هوایی تیمارهای اعمال شده می‌باشد. هر چند که میزان تأثیر لجن فاضلاب و کود شیمیایی دارای نوسان اندک ۴/۷۲ واحدی است (بیشترین میزان ۳۴ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف توأم کود و لجن فاضلاب و کمترین میزان ۲۹/۲۸ میلی گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد) اما اختلافات معنی دار به جهت دقت بالای اندازه-گیری‌ها بوده که میزان ۳/۵۰ درصدی ضریب تغییرات (%CV) بیانگر این موضوع است



شکل ۱۲- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان لیتیوم بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)



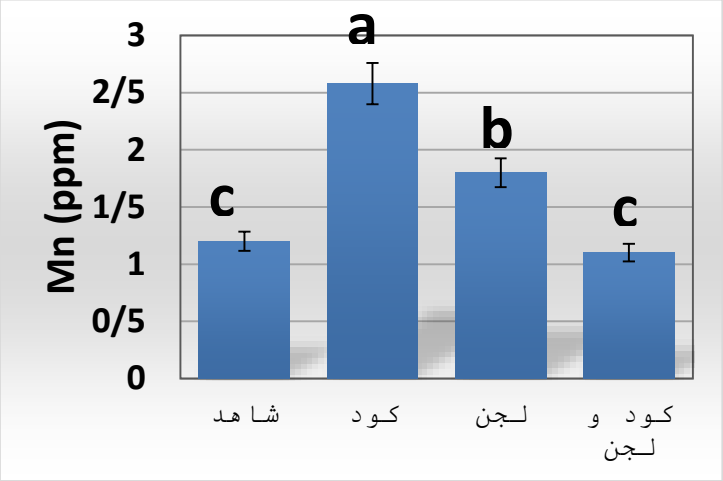
شکل ۱۳- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان منیزیم بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

علیرغم تغییرات اندک و با توجه به اختلافات معنی‌دار مقایسه میانگین‌ها (شکل ۱۳) استفاده از لجن فاضلاب منجر به افزایش جذب و متعاقب آن افزایش غلظت منیزیم در بخش هوایی تحت تأثیر تیمار لجن فاضلاب شده است.

- **منگنز:** با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده ها بیشترین جذب صورت گرفته به میزان ۲/۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار مصرف کود شیمیایی مشاهده شد (شکل ۱۴).

بررسی میزان جذب و توزیع منگنز در تیمارهایی که دارای لجن فاضلاب و کودشیمیایی بطور مجزا بودند بطور معنی-داری با تیمارهای متناظر شاهد اختلاف داشته به عبارت دیگر غلظت منگنز بخش هوایی تیمار حاوی کود و لجن فاضلاب (۲/۵۸ و ۱/۸ میلی گرم در کیلوگرم) نسبت به غلظت بخش هوایی شاهد (۱/۲ میلی گرم در کیلوگرم) بیشتراست.



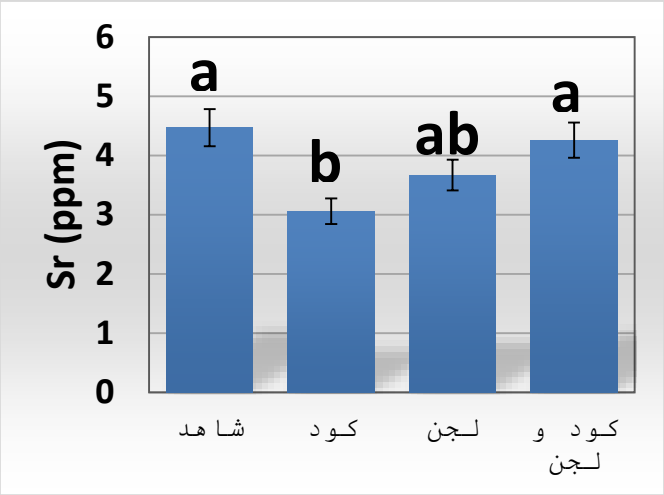
شکل ۱۴- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان منگنز بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

برهمکنش کود شیمیایی و مواد آلی (لجن فاضلاب) در بستر رشد و مقایسه میزان منگنز تیمارهای حاوی توأم کود و لجن فاضلاب با سایر تیمارها نشان می‌دهد که لجن فاضلاب می‌تواند در کوتاه مدت نقش کنترل کننده مناسبی در جهت آزادسازی تدریجی و متوازن عناصر در محیط ریشه جهت جذب داشته باشد.

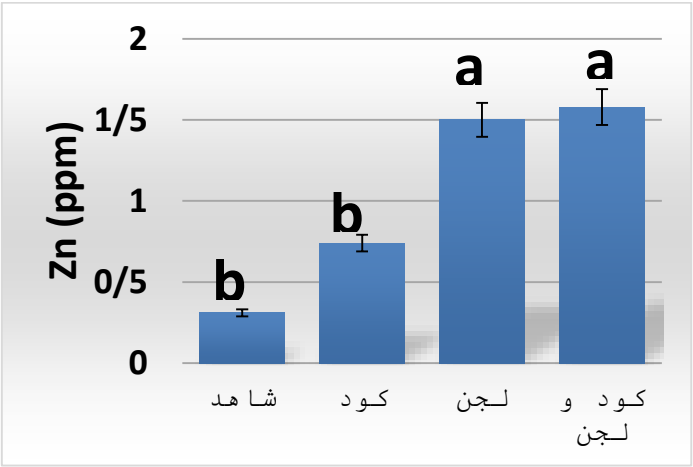
- **استرانسیوم:** نوسان غلظت و توزیع استرانسیوم در بخش‌های هوایی تیمارهای مورد بررسی حاکی از آن است که تغییرات در محدوده ناچیزی صورت گرفته، اما با این وجود مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر استرانسیوم تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم آنها بیانگر جذب بیشتر این عنصر در تیمار شاهد است اگر چه که اختلاف معنی داری با لجن و مصرف توام کود و لجن ندارد (شکل ۱۵). اندازه گیری بیشترین مقدار استرانسیوم به میزان ۴/۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در تیمار شاهد مبین آن است که اعمال تیمارهای لجن و تیمار کود شیمیایی حسب برهمکنشهای حاکم در خاک، رقابت جذب بین فلزات و همچنین رفتار شیمیایی لجن در کاهش توزیع استرانسیوم بخش هوایی تأثیر معنی داری از خود به جای گذاشته است (شکل ۱۵).

- **روی:** مقایسه میانگین داده‌های حاصل از جذب عنصر روی تحت تأثیر تیمارهای کود، لجن فاضلاب و همچنین مصرف توأم آنها بیانگر اثرگذاری کود و لجن فاضلاب می‌باشد. بیشترین مقدار عنصر روی به میزان ۱/۵۸ و ۱/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب در تیمار مصرف توأم کود و لجن فاضلاب و لجن فاضلاب در بخش هوایی گیاه اندازه-گیری شد (شکل ۱۶).

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272



شکل ۱۵- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان استرانسیوم بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)



شکل ۱۶- مقایسه میانگین تأثیر کود، لجن فاضلاب و کاربرد توأم بر میزان عنصر روی بخش هوایی گیاه ریحان (میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند)

بحث و نتیجه گیری

انجام تحقیق حاضر با هدف دستیابی به اطلاعات جذب و توزیع برخی عناصر غذایی و فلزات سنگین در گیاه داروئی ریحان در شرایط کاربرد لجن فاضلاب صورت پذیرفت. در این راستا جهت حصول نتیجه‌گیری‌های جامع‌تر، اثرات کاربرد کود شیمیایی و همچنین مصرف توأم کود شیمیایی و لجن فاضلاب نیز مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج حاصل از جذب عناصر و نحوه توزیع آنها در بخشهای هوایی و ریشه بیانگر اثرگذاری معنی‌دار کاربرد لجن فاضلاب بر ویژگی‌های فوق‌الذکر بود. بطور کلی به نظر می‌رسد غالباً لجن فاضلاب در افزایش غلظت عناصر غذایی و برخی فلزات سنگین نقش داشته و علیرغم وجود مقادیر متنابه عناصر و علی الخصوص فلزات سنگین در پیکره آلی لجن فاضلاب به جهت نوع ساختار آلی لجن فاضلاب و وجود بنیانهای آلی کلات کننده، رها سازی

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

مواد اعم از عناصر مغذی و فلزات سنگین در خاک تدریجی بوده که متعاقب این امر جذب مواد توسط ریشه‌ها بطور یکنواخت و گزینشی صورت می‌گیرد. فلاحتی و همکاران (۱۳۹۲)، افیونی و همکاران (۱۳۷۷)، رحیمی آلاشتی و همکاران (۱۳۹۰)، نجفی و همکاران (۱۳۹۰) و سهرابی و همکاران (۱۳۹۶) نتایج مشابهی را گزارش کردند. بنابراین با توجه به یافته‌های پژوهش حاضر در زمینه‌ی فلزات سنگین، توصیه می‌گردد که از لجن فاضلاب برای تولید محصولات خوراکی احتیاط شود. از طرف دیگر قبل از هرگونه توصیه‌ای جهت استفاده از لجن فاضلاب، حتماً لازم است برای هر منطقه با توجه به ترکیب لجن فاضلاب، قبل از استفاده و توصیه برای کاربرد در اراضی کشاورزی، بر اساس نوع گیاه و خصوصیات خاک منطقه، تدوین شود.

باید در نظر داشت که استفاده از کودهای شیمیایی در کنار مصرف لجن فاضلاب باعث تسریع تجزیه میکروبی ترکیبات آلی لجن فاضلاب و آزاد سازی عناصر و فلزات سنگین و در نتیجه جذب قابل ملاحظه مواد در گیاه می شود. همچنین بنظر می رسد نحوه توزیع این عناصر تحت تأثیر رفتار فیزیولوژی جذب در ریشه و بکارگیری مکانیزمهای مختلف جذب توسط ریشه گیاهان باشد که نوع ماده بکار برده شده (لجن فاضلاب، کود شیمیایی و مصرف توأم آنها) می‌تواند بر روند و چگونگی جذب مؤثر باشد.

بطورکلی و با در نظر گرفتن تحقیقات وسیع کاربرد لجن فاضلاب بر عملکرد و نحوه توزیع فلزات سنگین سایر گیاهان، تحقیق حاضر نشان داد که کاربرد لجن فاضلاب باعث افزایش رشد گیاه ریحان می‌گردد و همچنین نظر به ویژگی لجن فاضلاب، جذب فلزات سنگین در بخش‌های هوایی و ریشه محتمل بوده اما در طول دوره تحقیق حاضر تأثیر قابل ملاحظه‌ای در توزیع و غلظت بیش از حد عناصر نداشته بلکه می‌تواند تأمین کننده نیاز گیاه نیز باشد.

سپاسگزاری

در پایان بر خود لازم می دانیم از مسئولین وقت حوزه پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه یزد که موجبات اجرای این تحقیق را فراهم آوردند کمال تشکر را داشته باشیم

منابع

۱-افیونی، م.، رضایی نژادی. و خیامباشی ب. ۱۳۷۷. اثر لجن فاضلاب بر عملکرد و جذب فلزات سنگین به وسیله کاهو و اسفناج. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۲۹:۱-۱۹

۲-نادری، ا و عرفانی آگاه، ع. ۱۳۸۷. راهنمای عناصر کمیاب (ترجمه)، انتشارات دانشگاه شاهرود، ۳۱۴.

۳-رحیمی آلاشتی س.، بهمنیار، م ع. و قاجار سپانلو، م.۱۳۹۰. بررسی اثرات باقی مانده و تجمعی لجن فاضلاب بر غلظت سرب و کروم در اندامهای گیاهی چمن گندمی رونده *Agropyrum repens* و شبدر برسیم *Trifolum alexandrium*. مجله علمی پژوهشی مرتع.۶۹-۵:۸۰

۴-سهرابی، ن.، عالی نژادیان، ا.، فیضیان، م. و ملکیان، ع. ۱۳۹۶. بررسی نسبی اثرات لجن فاضلاب شهری بر غلظت فلزات سنگین و برخی ویژگی‌های مرفولوژیکی کاهو. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۳۱(۲): ۳۰۳-۲۹۱

۵- فاضلی ف.، و عینی ح.، ۱۴۰۱. تاثیر آبیاری با پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری بر جذب فلزات سنگین توسط گیاه (*Trigonella foenum graceum* L.) شنبلیله، مجله پژوهشهای گیاهی(زیست شناسی ایران) (۳۵) ۲.

۶-فلاحتی، ع.، حسین پور، ع. و طباطبایی، س. ح. ۱۳۹۲. اثر شوری و لجن فاضلاب بر فراهمی و جذب فلزات سنگین توسط گیاه جو. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۷(۵): ۹۹۷-۹۸۵.

۷-ناجی راد، س. ، قویدل، ا. علیخانی، ح ع. و سلطانی طولارود، ع. ا. (۲۰۱۸). بررسی مقدار و اشکال شیمیایی فلزات سنگین در

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶
DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

لجن‌فاضلاب تهران برای کاربرد در کشاورزی. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰(۱)، ۱-۱۳.

۸-نجفی، ن.، مردمی، س و اوستان، ش. ۱۳۹۰. اثر غرقاب، لجن فاضلاب و کود دامی بر غلظت فلزات سنگین در ریشه و بخش هوایی آفتابگردان در یک خاک شن لومی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۵۸: ۱۵۶-۱۳۹.

9- Ahmed, H. K., Fawy, H. A., & Abdel-Hady, E. (2010). Study of sewage sludge use in agriculture and its effect on plant and soil. *Agric Biol JN Am*, *1*(5), 1044-1049.

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

11 - Berrow, M. L., & Stein, W. M. (1983). Extraction of metals from soils and sewage sludges by refluxing with aqua regia. *Analyst*, *108*(1283), 277-285.

12- Bufalo, J., Cantrell, C. L., Astatkie, T., Zheljazkov, V. D., Gawde, A., & Boaro, C. S. F. (2015). Organic versus conventional fertilization effects on sweet basil (Ocimum basilicum L.) growth in a greenhouse system. *Industrial crops and products*, *74*, 249-254.

13- Garnett, T. (2013). Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proceedings of the nutrition society*, *72*(1), 29-39.

14- Hudcová, H., Vymazal, J., & Rozkošný, M. (2019). Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research*, *14*(2), 104-120.

15- Kashin, V. K. (2019). Lithium in soils and plants of western Transbaikalia. Eurasian soil science. 52:359–369.

16- Khan, M. A. R., Bolan, N. S and MacKay, A. D. 2005. Adsorption and Desorption of Copper in Pasture Soils, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 36:17-18, 2461-2487, DOI: 10.1080/00103620500255824.

17- Kominko, H., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2017). The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*, *8*(5), 1781-1791.

18- Kominko, H., Gorazda, K., & Wzorek, Z. (2017). The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge. *Waste and Biomass Valorization*, *8*(5), 1781-1791.

19- Leila, s. M. Mhamed, H, Hermann, K, Mykola, W, Oliver, M, Christin, O and E, Bouchenafa. 2017. Fertilization value of municipal sewage sludge for Eucalyptus camaldulensis plants. Biotechnology Reports. 13:8-12

20- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., & Ménassieu, J. (2009). Agronomy for sustainable agriculture: a review. *Sustainable agriculture*, 1-7.

21- Mengel, K., Kirkby, E.A., Kosegarten, H., Appel, T. (2001). Soil Copper. In: Mengel, K., Kirkby, E.A., Kosegarten, H., Appel, T. (eds) Principles of Plant Nutrition. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-010-1009-2_16

22- Muhlbachova. G., Cermák, P., Kas, M., Vavera, R., Pechova, M. and Markova, K. (2020). Boron content in soils under increasing magnesium and sulphur doses in a field experiment. Plant, Soil and Environment, 66, 2020 (7): 366–373.

23- Recena, R., García-López, A.M. and Delgado, A. 2021. Zinc uptake by plants as affected by fertilization with Zn sulfate, phosphorus availability, and Soil Properties. Agronomy. 11:390. https://doi. org/10.3390/agronomy11020390

24- Udom, B., Mbagwu, J., Adesodun, J., & Agbim, N. (2004). Distributions of zinc, copper, cadmium and lead in a tropical ultisol after long-term disposal of sewage sludge. *Environment International*, *30*(4), 467-470.

25- Usman, K., Khan, S., Ghulam, S., Khan, M .U., Khan, N., Khan, M. A., & Khalil, S. K. (2012). Sewage sludge: an important biological resource for sustainable agriculture and its environmental implications.

26- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z. and Pinton, R. (2019). Humic Substances Contribute to Plant Iron Nutrition Acting as Chelators and Biostimulants. Front. Plant Sci. 10:675. doi: 10.3389/fpls.2019.00675

مقاله پژوهشی، صفحات ۳۱-۱۶ DOI: 10.22034/jpr.2025.2272

The effect of the utilization of sewage sludge and chemical fertilizer on heavy metal absorption in *Ocimum basilicum*

Rezaee Z., Karimian A.A., and Sodaeizade H.

Dept. of Medicinal and Industrial Plants, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, I.R. of Iran

Abstract

During wastewater filtration, a huge volume of sludge is produced, which can be used in agriculture. However, the presence of harmful heavy metals and other toxic compounds in sludge limits its use as a fertilizer. The present research was conducted with the aim of obtaining information on the interaction of some properties of Ocimum basilicum under the conditions of sewage sludge application. In this regard, the effects of chemical fertilizer application in the form of four treatments of NPK fertilizer, sewage sludge, sewage sludge + NPK, and control in the form of a randomized complete block design in 4 replications were investigated. The results showed that there is a significant difference between treatments in terms of absorption amount and concentration of heavy elements. In the root, only the amount of bromine element in the sludge and fertilizer + sludge, as well as the lithium element in the fertilizer + sludge treatment, was higher than the amount of the control, and the amount of accumulation of other elements had no significant difference from it. In the aerial part of the plant, the accumulation of iron, aluminum, and manganese in the fertilizer, copper in the sludge and fertilizer, lithium in the fertilizer+sludge, and finally zinc and magnesium in the sludge and fertilizer+sludge treatments were higher than the control value. In general, the results of this research showed that the application of sewage sludge increased the growth of basil plants, and due to the lower concentration of heavy elements than the standard limit, the application of this material does not cause any problem for the cultivation of this plant in terms of absorption of the studied metals.

Keywords: Sewage sludge, heavy elements, food elements, sludge