Archive of SID

تجمع عناصر منگنز، روی، مس و آهن در یک خاک آبیاری شده با فاضلاب تحت شرایط لایسیمتری

نصرالدین پارسافر[1] و صفر معروفی[2*]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا
۲*- نویسنده مسئول، استاد هیدرولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا smarofi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۲/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۸

چکیده

در این تحقیق از فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده تصفیه‌خانه سرکان واقع در ۷۰ کیلومتری غرب همدان در کشت سیب‌زمینی تحت شرایط لایسیمتری استفاده گردید. در این رابطه یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (با دو فاکتور و سه تکرار) به اجرا درآمد. بنابراین پنج تیمار آبیاری شامل: فاضلاب خام (T_1)، فاضلاب تصفیه‌شده (T_2)، ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی (T_3)، ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی (T_4) و آب معمولی (T_5) استفاده شد. همچنین دو عمق خاک سطحی شامل عمق‌های ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری بر غلظت عناصر منگنز، روی، مس و آهن معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل بر تجمع عناصر روی، مس و منگنز غیر معنی‌دار و بر تجمع آهن معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین مقادیر این عناصر به ترتیب در تیمارهای T_1 و T_5 مشاهده گردید. میزان غلظت منگنز، آهن و روی با افزایش عمق خاک کاهش، اما غلظت مس، افزایش نشان داد. همچنین براساس تجمع عناصر سنگین در خاک، ترتیب بزرگی تیمارهای آبیاری به صورت $T_1 > T_3 > T_2 > T_4 > T_5$ بود. بر اساس تجمع عناصر سنگین در خاک، ترتیب بزرگی عناصر به صورت Fe> Mn> Zn> Cu مشاهده گردید.

کلید واژه‌ها: عمق خاک، عناصر سنگین، فاضلاب، لایسیمتر.

Mn, Zn, Cu and Fe Accumulation in a Soil Irrigated With Wastewater Under Lysimetric Conditions

N. Parsafar[1] and S. Marofi[2*]

1- Ph.D. Student of Water Resource Engineering., Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University
2*- Professor of Hydrology., Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University

Received:9 October 2013 Accepted: 29 June 2014

Abstract

In this study, raw and treated wastewater of Serkan Wastewater Treatment Plant, located at 70 km east of Hamedan, were reused for potato irrigation under lysimetric conditions. The factorial experiment executed with a statistical completely randomized design in three replicates and two factors. The factor of watering programs which were categorized as follows: Raw wastewater (T_1), treated wastewater (T_2), a combination of 50% raw wastewater and 50% fresh water (T_3), a combination of 50% treated wastewater and 50% fresh water (T_4), and fresh water (T_5). The factor of soil cores depths which were depths of 0-10 cm and 10-20 cm. The effects of watering treatments were significant on accumulation of Mn, Fe, Cu and Zn in the soil layers. Also the interaction effects were non-significant on accumulation of Mn, Cu and Zn. The interaction effect was significant on the Fe concentration. The maximum and minimum Mn, Fe, Cu and Zn concentration in the soil was

www.SID.ir

Archive of SID

obtained in T_1 and T_5, respectively. Also, the Mn, Fe and Zn concentration decrease with soil depth but concentration of Cu increase. Overall, based on the accumulation of heavy metal in the soil, the watering treatments were ranked as follows: T_1> T_3> T_2> T_4> T_5. Based on the accumulation of heavy metal in the soil, heavy metals were ranked as follows: Fe> Mn> Zn> Cu.

Keywords: Soil depth, Heavy metals, Wastewaters, Lysimeter

مقدمه

یکی از مشکلات احتمالی کاربرد فاضلاب در آبیاری تأثیر احتمالی آن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک است. چنانچه غلظت برخی عناصر موجود در پساب از میزان استاندارد بیشتر باشد، غلظت این عناصر در خاک نیز به تدریج افزایش یافته و از حد آستانه تحمل گیاه فراتر خواهد رفت. در عین حال ممکن است موجب آلودگی آب‌های زیرزمینی و بروز مشکلات زیست محیطی شوند. تجمع املاح و نمک‌ها موجب شور شدن خاک‌ها و کاهش حاصل‌خیزی آنها می‌شود. تجمع بیش از حد برخی عناصر نیز می‌تواند برای گیاهان ایجاد مسمومیت کند. دانستن واکنش‌های متفاوت گیاهان به تغییراتی که در نتیجه استفاده از این آب‌ها در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک بوجود می‌آید، حائز اهمیت است (مارتینز[۱]، ۱۹۹۹).

فارکویت و همکاران[۲] (۲۰۰۲) بیان کردند که در داکار سنگال، بیش از ۶۰ درصد سبزیجات مصرفی در شهر، با استفاده از مخلوط آب زیرزمینی و فاضلاب تصفیه نشده رشد داده شده‌اند. اسمیت و نصر[۳] (۱۹۹۲) گزارش کردند که یک دهم یا بیشتر جمعیت جهان، غذایی که با فاضلاب آبیاری شده است را مصرف می‌کنند. در استفاده از فاضلاب، ظاهراً مسائل روانی از مهمترین عوامل محدود کننده است.

در زمینه اثر فاضلاب‌ها بر تجمع عناصر سنگین در خاک‌ها مطالعاتی در سطح دنیا صورت گرفته است که از جمله سیبه[۴] (۱۹۹۸) افزایش غلظت سرب و کادمیوم در لایه افقی خاک (۳۰-۰ سانتی‌متر) را تحت آبیاری با فاضلاب در مقایسه با آب چاه برای دوره بیش از ۸۰ سال گزارش نمود. برار و همکاران[۵] (۲۰۰۲) نیز نتایج مشابهی را به دست آوردند. محمد و مظهره[۶] (۲۰۰۳) بیان کردند که غلظت سرب و کادمیوم خاک به طور معنی‌دار تحت تأثیر آبیاری با فاضلاب قرار نگرفتند. همچنین گزارش کردند که آبیاری فاضلاب، غلظت منگنز و آهن را در خاک افزایش داده و هیچ واکنشی نسبت به غلظت روی و مس خاک نداشته است. استرک و ریچر[۷] (۱۹۹۷) گزارش کردند که حرکت عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب بسیار کند بوده به طوری که بیش از ۹۰ درصد تجمع غلظت عناصر سنگین نیکل، کادمیوم و سرب در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری خاک مشاهده گردید. همچنین صابر[۸] (۱۹۸۶) نشان داد که کاربرد هفت سال آبیاری فاضلاب اثر معنی‌دار روی غلظت مس در خاک نداشته است. بول و همکاران[۹] (۱۹۸۶) نیز گزارش کردند که کاربرد ۱۶ سال آبیاری فاضلاب غلظت روی را در خاک تا حد سمیت افزایش داده است.

عابدی کوپایی و همکاران[۱۰] (۲۰۰۶) در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده روی خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک در یک منطقه خشک نتیجه گرفتند که سیستم‌های آبیاری اثر معنی‌دار روی استخراج فلزات سنگین در خاک نداشته است. تجمع سرب، منگنز، نیکل و کبالت در خاک به طور معنی‌دار در تیمار فاضلاب در مقایسه با تیمار آب زیر زمینی افزایش یافته است. تجمع سرب، منگنز، نیکل، کبالت، مس و روی با عمق خاک کاهش یافته است. فاضلاب تصفیه شده هیچ تأثیری در افزایش آهن، کادمیوم، نیکل، مس و روی در طول فصل رشد نشان نداد.

نتایج آلهم و همکاران[۱۱] (۲۰۰۷) یک افزایش در غلظت مس، منگنز و آهن در خاک را در ارتباط با غلظت‌های بالای موجود در فاضلاب نشان داد. بهمنیار (۱۳۸۶) تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین در خاک و گیاهان را مورد بررسی قرار داد. نتایج وی نشان داد که استفاده از فاضلاب شهری برای کمک در آبیاری اراضی، میزان کادمیوم، نیکل، سرب و کروم در خاک را افزایش داد. با افزایش مقدار آهک و مواد آلی خاک، میزان سرب کل تجمع یافته در خاک افزایش معنی‌دار نشان داد و سایر عناصر با مقدار آهک و مواد آلی همبستگی معنی‌دار نشان نداده‌اند.

1- Martinez
2- Faruqui *et al.*
3- Smit and Nasr
4- Siebe
5- Brar *et al.*
6- Mohammad and Mazahreh
7- Streck and Richter
8- Saber
9- Boll *et al.*
10- Abedi-Koupai *et al.*
11- Al-Lahham *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

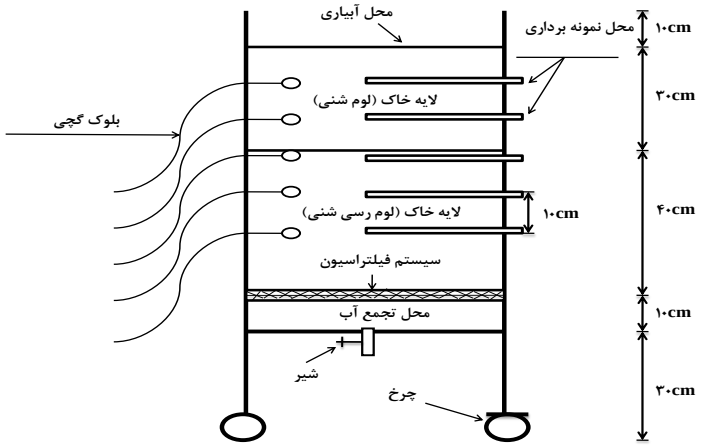
جدول ۱- درصد ذرات تشکیل دهنده خاک

بافت خاک	عمق خاک (سانتی‌متر)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
لوم شنی	۳۰-۰	۶۰/۷۷	۲۰/۲۶	۱۸/۹۷
لوم رسی شنی	۷۰-۳۰	۵۲/۵۶	۲۱/۹۲	۲۵/۵۲

جدول ۲- غلظت متوسط عناصر سنگین فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده (میلی‌گرم در لیتر) و مقایسه آنها با استانداردهای ملی و بین‌المللی (بر حسب میلی‌گرم در لیتر)

عنصر	تیمارهای آبیاری			میزان مجاز استاندارد	
	خام	تصفیه‌شده	آب معمولی	سازمان محیط زیست[×]	فائو[××]
مس	۰/۰۷۰	۰/۰۵۲	۰/۰۳۱	۰/۲	۰/۲
روی	۰/۶۱۵	۰/۳۷۵	۰/۱۱۰	۲	۲
منگنز	۰/۰۵۶	۰/۰۲۸	۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۲
آهن	۰/۶۰۴	۰/۲۶۲	۰/۰۴۰	۵	۵

[×] استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (برای کشاورزی)، [××] بر اساس پسکاد[1] (۱۹۹۲).



شکل ۱- شمایی از لایسیمتر و لایه‌های خاک به کار رفته در تحقیق

1- Pescod

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	آهن	روی	مس	منگنز
کیفیت آب	۴	۱۹۸۰/۴**	۳/۵**	۴/۶**	۲۴۳/۷**
عمق	۱	۳۶۸۶/۳**	۱۲/۱**	۷/۲**	۲۳۲/۵**
کیفیت × عمق	۴	۲۱۴/۸*	۰/۱ns	۰/۲ns	۱۳/۹ns
خطا	۲۰	۶۷/۲	۰/۲	۰/۱	۸/۷

**: معنی‌دار در سطح یک درصد، *: معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: غیر معنی‌دار

جدول ۴- مقایسه میانگین مقادیر غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری خاک و در بین تیمارهای آبیاری

تیمار	روی	مس	آهن	منگنز
T_1	۹/۶۷^{a*}	۹/۷۱^{a}	۱۶۲/۱۱^{a}	۶۵/۸۳^{a}
T_2	۸/۵۴^{bc}	۸/۳۹^{bc}	۱۲۸/۷۲^{c}	۵۴/۱۵^{bc}
T_3	۸/۹۲^{b}	۸/۷۹^{b}	۱۴۱/۲۹^{b}	۵۵/۸۶^{b}
T_4	۸/۲۷^{c}	۸/۰۲^{c}	۱۲۷/۱۵^{c}	۵۱/۳۶^{cd}
T_5	۷/۶۳^{d}	۷/۳۶^{d}	۱۱۳/۹۰^{d}	۴۹/۴۴^{d}

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح پنج درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند.

مرادمند و بیگی هرچگانی (۱۳۸۷) در بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر توزیع سرب در اندام فلفل سبز و خاک نتیجه گرفتند که علی‌رغم غلظت کمتر از حد مجاز عناصر سنگین در پساب تصفیه شده شهری شهرکرد، غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه نسبت به شاهد افزایش نشان داده است که بیانگر تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه با گذشت زمان است. نتایج این تحقیق به یک فصل رشد محدود بوده لذا با ادامه کاربرد پساب شهری شهرکرد ممکن است غلظت سرب در خاک و سپس در گیاه افزایش یابد. کلی و همکاران[1] (۲۰۱۰) با بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده نشان دادند که محتوی فلزات سنگین به خصوص برای سرب و کادمیوم با دوره آبیاری افزایش یافته است. غلظت فلزات سنگین در خاک نشان داد که تحرک و جذب سطحی آنها وابسته به محتوی (مقدار) فلزی فاضلاب تصفیه‌شده، حرکات کربن آلی، درصد بخش رس و زمان آبیاری است. آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند شوری و محتوی فلزات سنگین خاک را افزایش دهد.

جمع‌بندی تحقیقات قبلی در زمینه تجمع عناصر سنگین در خاک در اثر کاربرد فاضلاب نشان می‌دهد که پژوهش‌های قبلی انجام شده عمدتاً اثر فاضلاب‌های تصفیه‌شده و تا حدی خام بررسی گردیده است و با توجه به اینکه در حاشیه برخی شهرهای کشور، از فاضلاب خام به صورت غیر اصولی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی در امر آبیاری استفاده می‌گردد. در این پژوهش سعی گردید که تیمارهای مورد استفاده حتی‌المقدور از گستردگی بیشتری برخوردار باشند. بنابراین علاوه بر فاضلاب تصفیه‌شده، فاضلاب خام و ترکیب این فاضلاب‌ها با آب معمولی نیز در نظر گرفته شد. در این تحقیق میزان تجمع چهار عنصر منگنز، روی، مس و آهن در دو عمق ۰-۱۰ و ۱۰-۲۰ سانتی‌متری با هم مقایسه گردید. و همچنین اثر ترکیب فاضلاب‌ها با آب معمولی در مقایسه با کاربرد جداگانه آنها مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت بین چهار عنصر مذکور از نظر میزان تجمع در خاک، مقایسه‌ای صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی بستر کشت

در اجرای این پژوهش به منظور کنترل هر چه مطلوب‌تر کلیه عوامل موثر، از لایسیمتر حجمی استفاده گردید. تعداد ۱۵ عدد لایسیمتر استوانه‌ای فلزی حجمی (عایق‌بندی شده) با ظرفیت ۲۵۴ لیتر (قطر ۶۰ و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر) استفاده شد. علت انتخاب سیب‌زمینی، به دلیل اهمیت آن در استان همدان و سطح زیر کشت آن وسیع در منطقه و کشور می‌باشد. برای زهکشی آب موجود در قسمت پائین لایسیمترها، از یک سیستم زهکشی ویژه‌ای استفاده شد

و

1-Klay *et al.*

www.SID.ir

Archive of SID

زه‌آب‌ها در محفظه مخصوصی که بدین منظور تعبیه شده بود، جمع‌آوری گردید. در شکل (۱) شمای کلی از لایسیمتر مورد استفاده نشان داده شده است.

پس از طراحی، ساخت و استقرار لایسیمترها در محل مورد نظر، به‌منظور حصول به شرایطی واقعی خاک، پر نمودن آنها در طی چند مرحله و به تدریج توأم با آبیاری صورت گرفت، تا تراکم خاک لایسیمترها در حد شرایط طبیعی خاک‌های منطقه صورت گیرد. به منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت دانه آن، از الک با قطر روزنه‌های یک سانتی‌متر استفاده گردید (حسین پور و همکاران، ۱۳۸۶). ضمناً با توجه به خاک‌های منطقه، از یک خاک دو لایه که لایه فوقانی (۳۰-۰ سانتی‌متر) با بافت لومی شنی و لایه زیرین (۷۰-۳۰ سانتی‌متر) با بافت لوم رسی شنی بود، استفاده گردید. در نهایت کلیه لایسیمترها تا ارتفاع تقریبی ۱۰ سانتی‌متر پایین‌تر از قسمت فوقانی خود، بر اساس جرم مخصوص ظاهری (که برابر ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود) از دو لایه مذکور خاک پر شدند. در جدول (۱) بافت و درصد ذرات تشکیل‌دهنده خاک، در دو عمق ۳۰-۰ و ۷۰-۳۰ سانتی‌متری ارائه شده است. شایان ذکر است که بافت خاک مورد استفاده به روش هیدرومتری تعیین گردید.

پس از پر شدن لایسیمترها در مهر ماه ۱۳۸۸، برای جلوگیری از شستشوی خاک، عملیات آبیاری به روش آبیاری سطحی و با استفاده از یک آبپاش دستی در شرایط بدون کشت گیاه، به‌طور منظم و پیوسته (هفتگی) در طی یک بازه زمانی پنج ماهه صورت گرفت تا شرایط طبیعی و ایجاد مجاری رخنه و ترجیحی در خاک صورت گردید. پس از کشت گیاه در اسفند ۱۳۸۸ عملیات آبیاری لایسیمترها با توجه به شرایط رطوبتی خاک توسط بلوک‌های گچی کنترل شد و به طور متوسط هر ۱۱ روز یکبار انجام گرفت. به همین منظور، برای هر دوره آبیاری، فاضلاب تصفیه‌خانه شهر سرکان (به صورت خام و تصفیه‌شده و به طور جداگانه از فاصله ۸۵ کیلومتری همدان) به محل اجرای تحقیق (گلخانه دانشکده کشاورزی) حمل گردید و بلافاصله عملیات آبیاری صورت گرفت. حجم آب استفاده‌شده در هر مرحله در حدود ۳۰ الی ۳۵ لیتر بود و در مجموع هشت آبیاری برای همه تیمارها صورت گرفت. در اسفند ۱۳۸۸ غده‌های سیب‌زمینی (رقم مارفونا) به فاصله مساوی از هم و در عمق ۱۰ سانتی‌متری در هر لایسیمتر کشت گردیدند.

بدین منظور، غده‌ها چند روز قبل از کشت در یک محیط گرم و بدون نور مستقیم خورشید نگهداری شدند تا جوانه زده و آماده کشت شوند.

اندازه‌گیری عناصر سنگین در خاک

به‌منظور تعیین عناصر سنگین در خاک در اثر کاربرد فاضلاب، نمونه‌های خاک هر تیمار از دو عمق ۱۰-۰ و۲۰-۱۰ سانتی‌متری جمع‌آوری و در آزمایشگاه در محل سرپوشیده و در هوای آزاد خشک شدند. نمونه‌ها پس از خرد شدن مکانیکی از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند و سپس پنج گرم از آن در ظرف پلی اتیلنی ریخته و برای تهیه عصاره خاک از مخلوط دو اسید (اسید سولفوریک و اسید کلریدریک) استفاده گردید. و عصاره جمع‌آوری شده و عناصر سنگین اندازه‌گیری گردیدند. برای تعیین غلظت عناصر سنگین در خاک از روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی استفاده شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۷).

طرح آماری

این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار (در شرایط کشت گیاه) به اجرا درآمد. برای اجرای این تحقیق پنج تیمار آبیاری شامل: فاضلاب خام (T_1)، فاضلاب تصفیه‌شده (T_2)، ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب خام و آب معمولی (T_3)، ترکیب ۵۰ درصد فاضلاب تصفیه‌شده و آب معمولی (T_4) و آب معمولی (T_5) بود. همچنین دو عمق خاک سطحی که شامل ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متری می‌باشند، در نظر گرفته شد.

تحلیل داده‌ها

در این تحقیق به منظور مقایسه میانگین‌های تجمع عناصر سنگین در دو عمق خاک (در تیمارهای مختلف فاضلاب) و مقایسه آنها با تیمار شاهد (آب معمولی) از آزمون دانکن و در محیط نرم-افزارSAS 9.1 استفاده شد. ضمناً معنی‌داری نتایج در سطح پنج درصد (p <۰/۰۵) در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

غلظت عناصر سنگین در فاضلاب خام و تصفیه‌شده

در جدول (۲) غلظت عناصر سنگین در فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده همراه با مقادیر مجاز آنها (با توجه به استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران و سازمان فائو) ارائه گردیده است. همان طور که در این جدول مشاهده می‌شود در فاضلاب خام و تصفیه‌شده کلیه عناصر در حد مجازمی‌باشند.

اثر تیمارهای آبیاری بر تجمع عناصر سنگین در اعماق خاک

نتایج این تحقیق نشان داد که اثرکیفیت آب بر غلظت روی در خاک در سطح یک درصد معنی‌دار (p <۰/۰۱) و اثر عمق خاک در سطح پنج درصد معنی‌دار (p <۰/۰۵) مشاهده گردید. همچنین اثر متقابل عمق خاک و کیفیت آب بر غلظت روی غیر معنی‌دار بوده است (جدول ۳).

در این تحقیق اثرکیفیت آب و عمق خاک بر غلظت آهن در خاک در سطح یک درصد معنی‌دار (p <۰/۰۱) مشاهده گردید. همچنین اثر

www.SID.ir

Archive of SID

متقابل عمق خاک و کیفیت آب بر غلظت آهن در سطح پنج درصد معنی‌دار (p <۰/۰۵) بوده است (جدول ۳). اثرکیفیت آب و عمق خاک بر غلظت مس و منگنز در خاک در سطح یک درصد معنی‌دار (p <۰/۰۱) مشاهده گردید. همچنین اثر متقابل عمق خاک و کیفیت آب بر غلظت دو عنصر مذکور غیر معنی‌دار بوده است (جدول ۳). مانسینو و پپر[1] (۱۹۹۲) دریافتند که کاربرد فاضلاب سبب تجمع معنی‌دار دو عنصر مس و روی در لایه بالایی خاک (۳۰-۲۵ سانتی متری) شده است اما صابر (۱۹۸۶) گزارش کرد که کاربرد فاضلاب اثر معنی‌دار بر غلظت مس در خاک نداشته است.

جدول (۴) مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر سنگین خاک را در کیفیت‌های مختلف آب نشان می‌دهد. طبق این جدول، بیشرین غلظت عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب خام و کمترین غلظت در خاک آبیاری شده با آب معمولی مشاهده گردید. ترکیب فاضلاب خام+آب معمولی، فاضلاب تصفیه شده و ترکیب فاضلاب تصفیه شده + آب معمولی به ترتیب بعد از تیمار فاضلاب خام دارای بیشترین میانگین غلظت است. همچنین نتایج نشان داد که بین تیمار فاضلاب خام و تیمار شاهد (آب معمولی)، بین تیمار فاضلاب تصفیه شده و تیمار شاهد و همچنین بین تیمار فاضلاب خام و تیمار فاضلاب تصفیه شده در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید. بهاتی و سینگ[2] (۲۰۰۳) افزایش غلظت عناصر مس، آهن، منگنز و روی در خاک آبیاری شده با فاضلاب کارخانه فولاد را نشان دادند. بول و همکاران (۱۹۸۶) گزارش کردند که کاربرد فاضلاب در آبیاری غلظت روی را در خاک، تا حد سمیت افزایش داده است. همچنین محمد و مظهره (۲۰۰۳) افزایش غلظت آهن و منگنز در خاک را در اثر آبیاری با فاضلاب گزارش کردند. کلی و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی کاربرد فاضلاب نشان دادند که محتوی عناصر سنگین به خصوص عناصر سرب و کادمیوم در خاک با دوره آبیاری افزایش یافته‌اند. سیبه (۱۹۹۸) افزایش غلظت عناصر مس، آهن، منگنز و روی در خاک آبیاری شده با تیمار فاضلاب در مقایسه با آب معمولی را گزارش کرد. نتایج آلهم و همکاران (۲۰۰۷) یک افزایش در غلظت مس، منگنز و آهن در خاک را در ارتباط با غلظت‌های بالای موجود در فاضلاب نشان داد.

نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب فاضلاب‌های خام و تصفیه شده با آب معمولی تجمع غلظت عناصر مورد مطالعه را نسبت به استفاده منفرد این فاضلاب‌ها در خاک را کاهش داده است. در این تحقیق ترتیب غلظت عناصر سنگین (تجمع یافته در خاک) در همه تیمارهای آبیاری (به جزء تیمار فاضلاب خام) به صورت Fe> Mn> Zn> Cu مشاهده گردید. اما در تیمار فاضلاب خام این ترتیب به صورتZn> Cu> Mn> Fe بود که نشان دهنده تجمع بیشتر غلظت عنصر آهن در خاک در مقایسه با سایر عناصر مورد بررسی می‌باشد. گوپتا و همکاران[3] (۲۰۱۰) نشان دادند که ترتیب تجمع عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب به صورت Fe> Pb> Mn> Cr> Cd می‌باشد.

جدول (۵) مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر سنگین خاک را در دو عمق مختلف خاک نشان می‌دهد. طبق این جدول، بیشرین غلظت عناصر سنگین در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری خاک (به جزء مس که در عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متری بیشتر بود) مشاهده گردید. همچنین نتایج نشان داد که بین دو عمق مورد نظر در سطح پنج درصد اختلاف معنی دار وجود دارد. استرک و ریچر (۱۹۹۷) گزارش کردند که حرکت عناصر سنگین در خاک آبیاری شده با فاضلاب بسیار کند بوده به طوری که بیش از ۹۰ درصد تجمع غلظت عناصر سنگین نیکل، کادمیوم و سرب در عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متری خاک مشاهده گردید. عابدی کوپایی و همکاران (۲۰۰۶) نتیجه گرفتند که غلظت عناصر سنگین سرب، منگنز و روی با افزایش عمق کاهش می‌یابند. اما توزیع آهن و مس در خاک غیر یکنواخت مشاهده گردید. بهبهانی‌نیا و همکاران[4] (۲۰۰۹) نیز نشان داد که تجمع بیشتر عناصر سنگین در لایه سطحی خاک است. تحقیقات برخی محققان دیگر نیز کاهش غلظت عناصر سنگین را با افزایش عمق خاک گزارش کردند (برار و همکاران، ۲۰۰۲).

در مقایسه میانگین غلظت عناصر سنگین با حدود معمولی و بحرانی (آلوی[5]، ۱۹۹۰؛ پندیاس و پندیاس[6]، ۱۹۹۲) ارائه شده در جدول (۶) نتیجه‌گیری می‌شود که غلظت کلیه عناصر در حد مجاز بوده است.

غلظت عناصر سنگین تحت تأثیر تیمارهای کیفیت آب و عمق خاک در شکل‌های (۲) الی (۵) در ادامه نشان داده شده است. طبق این شکل‌ها خواهیم داشت:

اثر تیمارهای کیفیت آب در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر بر غلظت روی در سطح پنج درصد معنی‌دار مشاهده گردید (شکل ۲).

اثر تیمارهای مجموع فاضلاب خام و آب معمولی، مجموع فاضلاب تصفیه و آب معمولی، فاضلاب تصفیه شده، و همچنین فاضلاب خام در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰سانتی‌متر بر غلظت آهن در سطح پنج درصد معنی‌دار و اثر تیمار شاهد در سطح پنج درصد غیر معنی‌دار مشاهده گردید (شکل ۳).

اثر تیمارهای شاهد، فاضلاب تصفیه شده، مجموع فاضلاب تصفیه و آب معمولی و همچنین فاضلاب خام در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر بر غلظت مس در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده و اثر تیمار

1- Mancino and Pepper
2- Bahati and Singh
3- Gupta *et al.*
4- Behbahaninia *et al.*
5- Alloway
6- Pendias and Pendias

www.SID.ir

Archive of SID

مجموع فاضلاب خام و آب معمولی در سطح پنج درصد غیر معنی‌دار مشاهده گردید (شکل ۴).

اثر تیمارهای فاضلاب خام، مجموع فاضلاب خام و آب معمولی و همچنین فاضلاب تصفیه شده در دو عمق ۱۰-۰ و ۲۰-۱۰ سانتی‌متر بر غلظت منگنز در سطح پنج درصد معنی‌دار و اثر تیمارهای مجموع فاضلاب تصفیه شده و آب معمولی و همچنین شاهد در سطح پنج درصد غیر معنی‌دار مشاهده گردید (شکل ۵).

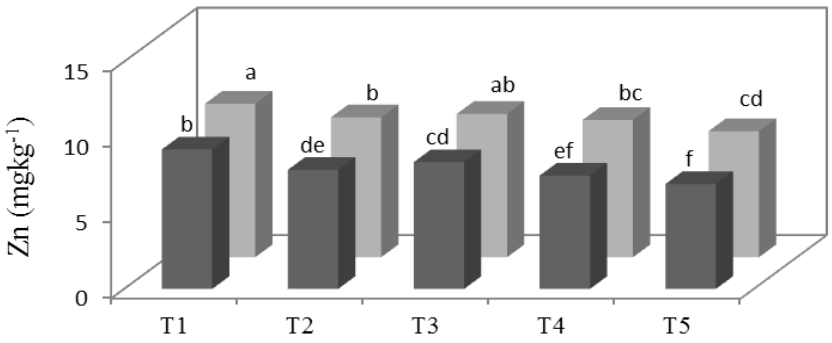
جدول۵- مقایسه میانگین مقادیر غلظت عناصر سنگین (میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) در دو عمق خاک

عمق خاک (سانتی‌متر)	روی	مس	آهن	منگنز
۱۰-۰	۹/۲۴[a*]	۷/۹۶[b]	۱۴۵/۷۲[a]	۵۸/۱۱[a]
۲۰-۱۰	۷/۹۷[b]	۸/۹۴[a]	۱۲۳/۵۵[b]	۵۲/۵۴[b]

*: میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک می‌باشند، در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

جدول ۶- حدود غلظت معمولی (طبیعی) و بحرانی عناصر سنگین (بر حسب میل‌گرم بر کیلوگرم خاک) در نمونه‌های خاک(آلوی، ۱۹۹۰؛ پندیاس و پندیاس، ۱۹۹۰)

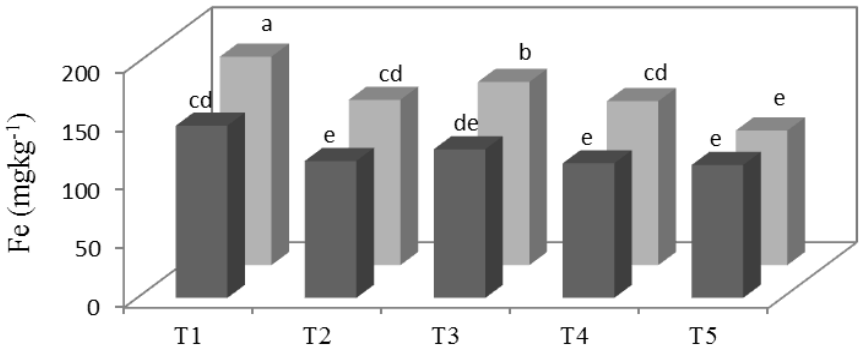
عنصر	حدود غلظت در خاک	
	معمولی	بحرانی
روی	۹۰۰- ۱	۴۰۰- ۷۰
مس	۲۵- ۲	۱۲۵- ۶۰
آهن	-	-
منگنز	۴۰۰- ۱۰۰	-



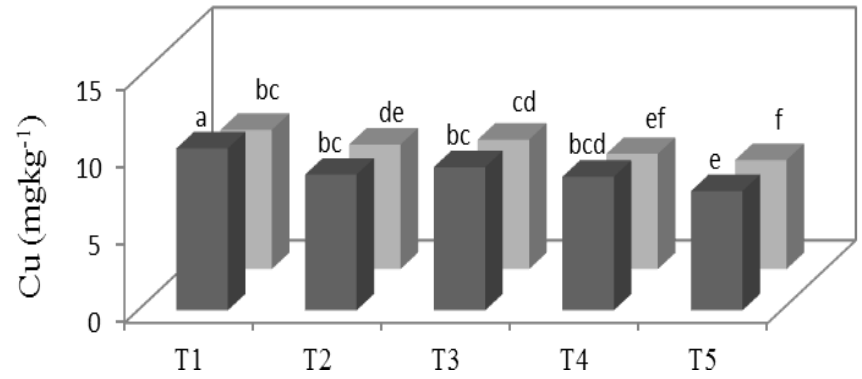
شکل ۲- اثر کیفیت آب (در تیمارهای آبیاری مورد بررسی) بر غلظت روی، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر (ستون‌های کم رنگ) و عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر (ستون‌های پر رنگ)

www.SID.ir

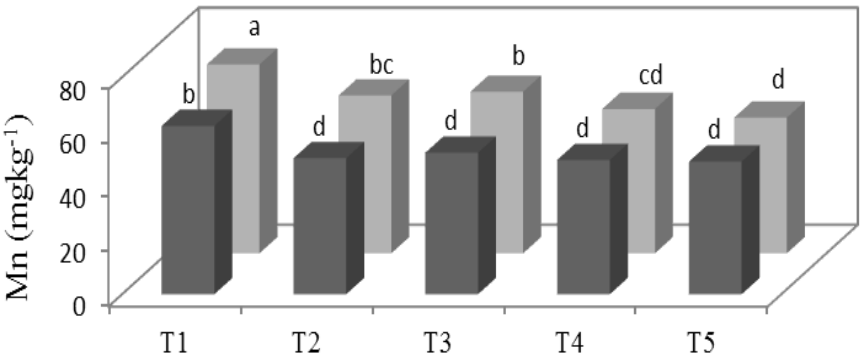
Archive of SID



شکل ۳- اثر کیفیت آب (در تیمارهای آبیاری مورد بررسی) بر غلظت آهن، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر (ستون‌های کم رنگ) و عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر (ستون‌های پر رنگ)



شکل ۴- اثر کیفیت آب (در تیمارهای آبیاری مورد بررسی) بر غلظت مس، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر (ستون‌های کم رنگ) و عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر (ستون‌های پر رنگ)



شکل ۵- اثر کیفیت آب (در تیمارهای آبیاری مورد بررسی) بر غلظت منگنز، در عمق ۱۰-۰ سانتی‌متر (ستون‌های کم رنگ) و عمق ۲۰-۱۰ سانتی‌متر (ستون‌های پر رنگ)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر تیمارهای آبیاری بر میزان تجمع عناصر آهن، روی، منگنز و مس در خاک مورد بررسی قرار گرفت. بیشترین و کمترین مقادیر عناصر سنگین به ترتیب در تیمارهای فاضلاب خام و آب معمولی مشاهده گردید. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب فاضلاب با آب معمولی می‌تواند از میزان اثرات زیان‌آور (از

www.SID.ir

Archive of SID

قبیل جذب عناصر سنگین در خاک) کاربرد آنها به منظور آبیاری گیاهان بکاهد و در درازمدت می‌توان از فاضلاب‌ها بدین صورت به عنوان منابع جدید آب استفاده نمود. زیرا بر اساس نتایج به دست آمده، استفاده از فاضلاب خام می‌تواند امکان آلودگی منابع خاک را افزایش دهد. همچنین بر اساس این پژوهش، آهن و مس به ترتیب دارای بیشترین و کمترین مقادیر تجمع در خاک (به جزء تیمار فاضلاب خام) بودند. مقایسه غلظت عناصر آهن، روی و منگنز بین دو عمق خاک نشان داد که با افزایش عمق مقدار آنها کاهش نشان داد. در مورد عنصر مس با افزایش عمق، غلظت آن افزایش یافت. به طورکلی استفاده از فاضلاب سبب تجمع این عناصر در خاک می‌شود و هر چه میزان این عناصر در خاک بیشتر باشد، احتمال جذب آن توسط گیاه نیز افزایش می‌یابد. در این تحقیق مقادیر غلظت عناصر مورد بررسی (تجمع‌یافته در خاک) در دوره کاربرد فاضلاب در حد مجاز قرار داشتند. شایان ذکر هست که این تحقیق در یک فصل کشت اجرای گردیده و دوره طولانی کاربرد فاضلاب می‌تواند بر میزان این تجمع بیفزاید که برای اظهار نظر دقیق‌تر به بررسی‌های بیشتر نیاز است.

منابع

۱- بهمنیار، م. ع. ۱۳۸۶. تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان. مجله محیط‌شناسی، ۳۳(۴۴): ۲۶-۱۹.

۲- حسین پور، ا.، حق نیا، غ.، علیزاده، ا. و ا. فتوت. ۱۳۸۶. تأثیر آبیاری با فاضلاب خاک و پساب شهری بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱(۲): ۸۵-۷۳.

۳- علیزاده، م.، فتحی، ف. و ع. ترابیان. ۱۳۸۷. بررسی مقدار تجمع فلزات سنگین در گیاهان علوفه‌ای تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران مطالعه موردی ذرت و یونجه. مجلهٔ محیط‌شناسی، ۳۴(۴۸): ۱۴۸-۱۳۷.

٤- مرادمند، م. و ح. ا. بیگی هرچگانی. ۱۳۸۷. اثر آبیاری با پساب تصفیه‌شده شهری بر توزیع سرب در اندام فلفل سبز و خاک. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

5- Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M. and M. R. Bagheri. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant, Soil and Environment, 52(8): 335-344.

6- Al-Lahham, O., El Assi, N. M. and M. Fayyad. 2007. Translocation of heavy metals to tomato (Solanum lycopersicom L.) fruit irrigated with treated wastewater. Scientia Horticulturae, 113: 250-254.

7- Alloway, B. J. 1990. Heavy metal in soil. Blackie and Son Ltd, Lonodon, 339p.

8- Bahati, M. and G. Singh. 2003. Growth and mineral accumulation in Eucalyptus camaldulensis Seedlings irrigated with mixed industrial effluents. Bioresource Technology, 88: 221-228.

9- Behbahaninia, A., Mirbagheri, S. A., Khorasani, N., Nouri, J. and A. H. Javid. 2009. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. Journal of Food, Agriculture and Environment, 7(3&4): 851-856.

10- Boll, R., Dernbach, H. and R. Kayser. 1986. Aspects of land disposal of wastewater as experienced in Germany. Journal of Water Science and Technology, 18: 383-390.

11- Brar, M.S., Khurana, M.P.S. and B. D. Kansal. 2002. Effect of irrigation by untreated sewage effluents on the micro and potentially toxic elements in soils and plants. Department of Soils, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India.

12- Faruqui, N., Niang, S. and M. Redwood. 2002. Untreated wastewater reuse in market gardens :A case-study of Dakar, Senegal. Paper Presented at The International Water Management Institute Workshop

www.SID.ir

Archive of SID

on Wastewater Reuse in Irrigated Agriculture: Confronting the Livehood and Environmental Realities. International Water Management Institute, Hyderabad, India.

13- Gupta, S., Satpati, S., Nayek, S. and D. Garai. 2010. Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. Environmental Monitoring and Assessment, 165(1-4): 169-77.

14- Klay, S., Charef, A., Ayed, A., Houman, B. and F. Rezgu. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination, 253: 180-187.

15- Mancino, C. F. and I. L. Pepper. 1992. Irrigation of turfgrass with secondary sewage effluent. Soil quality, Agronomy Journal, 84(4): 650-654.

16- Martinez, J. 1999. Irrigation with saline water. Agricultural Water Management, 40: 213-225.

17- Mohammad, M. and N. Mazahreh. 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Communications in Soil Science and Plant Analalysis, 34 (9 & 10): 1281-1294.

18- Pendias, A. K. and H. Pendias. 1992. Trace elements in soils and plants. 2nd ed. Boca Raton Arbor, London, Pp. 187-198.

19- Pescod, M. B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 47, Rome, Italy.

20- Saber, M. S. M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Journal of Water Science and Technology, 18: 371-374.

21- Siebe, C. 1998. Nutrient inputs to soils and their uptake by alfalfa through long-term irrigation with untreated sewage effluent in Mexico. Soil-Use-Management CAB International, Oxford, Pp. 119-122.

22- Smit, J. and J. Nasr. 1992. Urban agriculture for sustainable cities: Using wastes and idle land and water bodies as resources. Environmental Urban, 4(2): 141-152.

23- Streck, T. and J. Richter. 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality, 26: 49-56.

www.SID.ir