ارزیابی شاخص ریسک آلودگی محصول و خاک در کشت خطی گندم تحت سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با پساب شهری در منطقه نیمه‌خشک

کامران عسگری[۱*]، سیدحسن طباطبائی[۲]، پیام نجفی[۳] و شهرام کیانی[۱]

(تاریخ دریافت:۱۳۹۳/۱۱/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۲۲)

چکیده

استفاده مداوم از پساب فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی در بلند مدت باعث انباشته شدن عناصر سنگین و آلودگی گیاهان، حیوانات و محیط زیست در ابعاد مختلف می‌گردد. هدف از این تحقیق، ارزیابی تأثیر استفاده از آبیاری قطره‌ای عمقی در کاهش پتانسیل تجمع عناصر سنگین در خاک و محصول و همچنین شاخص ریسک آلودگی تحت آبیاری با پساب می‌باشد. مزرعه مورد آزمایش در قالب طرح اسپلیت بلوک با دو تیمار اصلی شامل آب معمولی و پساب و سه تیمار فرعی شامل عمق قطره چکان صفر، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر با چهار تکرار در شهر اصفهان قرار داشت. نمونه‌های خاک در ابتدا و پس از برداشت گندم کشت شده در دو سال متوالی در زمین مورد آزمایش از هر پلات برداشته شدند. غلظت عناصر سنگین Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, Ni در نمونه‌های خاک و دانه‌های گندم با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. شاخص افزایش آلودگی (PLI) نشان داد که افزایش میزان عناصر سنگین در خاک‌های آبیاری شده تحت تیمار پساب اختلاف معنی‌داری با آب معمولی نشان نداد (P>۰/۰۵). غلظت عناصر Cu، Pb، Cr و Zn در دانه‌های گندم کمتر از میزان حداکثر مجاز استاندارد بود ولی میزان Cr بیشتر از مقدار مجاز بود و میزان Ni چندین برابر حد مجاز بود. نتایج حاصل از آزمایشات میزان شاخص ریسک آلودگی ۵/۱۷ و ۱/۵۷ را برای عناصر Cd و Cu نشان داد. همچنین مقدار این شاخص برای عناصر Cd، Cu و Cr برای کودکان نیز بیش از یک بود. براساس نتایج ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت که عمق قطره چکان تأثیر معنی‌داری در انباشته شدن عناصر سنگین در خاک و دانه گندم ندارد.

کلمات کلیدی: شاخص افزایش آلودگی, شاخص غلظت گیاه, شاخص جذب روزانه عناصر, عناصر سنگین، اصفهان

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۲. گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۳. گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Kamran.Asgari@ stu.sku.ac.ir

مقدمه

کمبود آب امروزه یکی از مشکلات اساسی است که کشورهای خاورمیانه و شمال آفریقا با آن مواجه می‌باشند. براساس گزارش مرکز مدیریت بین‌المللی تا سال ۲۰۱۵ بیش از ۱/۸ میلیارد نفر در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند زندگی خواهند نمود (۱۴). در این شرایط استفاده از منابع آبی با کیفیت پایین می‌تواند یک راهکار برای کاهش فشار بر منابع آبی به‌شمار آید (۲۸). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منابع آب نامتعارف همانند فاضلاب تصفیه شده (پساب) بخش جدایی ناپذیری از منابع آب آبیاری به‌خصوص در فصول خشک سال به‌شمار می‌آید. در منطقه اصفهان، استفاده از پساب شهری به‌طور گسترده برای آبیاری باغ‌ها و تولید محصولات زراعی به‌کار می‌رود (۱). استفاده از پساب علاوه بر فراهم آوردن آب آبیاری و عناصر مورد نیاز گیاه، مشکل دفع فاضلاب شهری و آلوده‌سازی محیط زیست را نیز به‌نوعی مرتفع می‌سازد (۳۰). به هر حال، استفاده از پساب و لجن فاضلاب در زمین‌های کشاورزی باعث ایجاد آلودگی از جنبه‌های مختلف می‌گردد.

پساب حاوی عناصر می‌باشد و استفاده طولانی مدت از آن باعث تجمع این عناصر در خاک و ایجاد خطر برای گیاه و جانوران می‌گردد (۷). گیاهان آبیاری شده با پساب حاوی غلظت بالایی از عناصر می‌باشند ولیکن استفاده از روش خاص مدیریتی باعث می‌گردد تأثیرات مخرب این عناصر بر خاک، گیاه و سلامت انسان به حداقل خود برسد. این روش‌های مدیریتی و تکنولوژی‌های جدید می‌بایستی با سیستم‌های زراعی متناسب باشند تا بتوانند منابع آب موجود را به‌طور مؤثر و با کارآیی بالایی در راستای افزایش محصول به‌کار روند. پسکاد (۱۹۹۲) مزایا و معایب استفاده از سیستم‌های مختلف آبیاری را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که استفاده از آبیاری قطره‌ای می‌تواند اکثر مشکلات استفاده از پساب در کشاورزی را مرتفع نماید(۱۹). استفاده از آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نیز به‌خاطر نقش بیوفیلتر خاک باعث کاهش عناصر سنگین خاک می‌گردد (۲۶). حیدرپور و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که ترکیبات شیمیایی در لایه‌های خاک تحت تأثیر الگوی حرکت آب، غلظت عناصر شیمیایی در آب آبیاری و میزان قدرت جذب گیاه می‌باشند (۱۱). یکنواختی بالا در آبیاری قطره‌ای در مقایسه با آبیاری غرقابی و بارانی باعث کاهش پتانسیل آب‌شویی، کنترل شوری خاک، ارتقاء مدیریت آب و مواد غذایی و افزایش کمیت و کیفیت محصول می‌گردد (۱۰).

ورود عناصر سنگین به بدن انسان از طریق زنجیره غذایی در نتیجه تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه از نظر سلامتی انسان‌ها مهم می‌باشد. راندمان جذب عناصر سنگین توسط گیاه بستگی به گونه گیاه و همچنین مشخصات خاک دارد (۳۱). عناصر Mn، Cu و Zn تسهیل کننده فعالیت تعداد زیادی از آنزیم‌ها هستند و افزایش آنها برروی بدن انسان تأثیر منفی دارد. میزان بیش‌ازحد مس باعث آسیب به کبد می‌گردد و میزان بیش‌ازحد عنصر روی نیز باعث فعل و انفعالات نامطلوب عناصر با مس می‌گردد. عناصر دیگری از جمله سرب و کادمیم نیز در غلظت‌های کم سمی می‌باشند. افزایش جذب عناصر سنگین توسط غلات، سبزی‌ها و میوه‌ها در خاک‌های آلوده به عناصر سنگین به‌طور گسترده‌ای مشاهده شده است (۳۵). با توجه به این تأثیرات، مراکز بین‌المللی از جمله سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (US-EPA) راهنما و دستورالعمل‌هایی برای ارزیابی ریسک زیست‌محیطی پیشنهاد داده‌اند. به‌علاوه، سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا (US-EPA) و سایر سازمان‌های کنترلی میزان قابل قبول یا حداکثری از عناصر سنگین در مواد غذایی تعیین نموده‌اند (۸ و ۳۶). جهت بررسی ریسک آلودگی محصول لازم است که پتانسیل آلودگی محیط زیست توسط عناصر سنگین شناخته شود تا میزان ریسک و تأثیرات مضر آنها بر سلامتی شناسایی گردند (۱۵). هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر عمق قطره چکان در آبیاری با پساب در تجمع عناصر سنگین در خاک و محصول و ارزیابی پتانسیل ریسک سلامتی ناشی از مصرف محصول تولید شده در شرایط فوق می‌باشد.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

pH	ECe dS/m	OC g/۱۰۰g	Sand %	Silt %	Clay %
۸/۱	۲/۵	۱۲	۶۰	۲۵	۱۵

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در اراضی ایستگاه تصفیه فاضلاب جنوب شهر اصفهان (۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه و ۴۳ درجه شرقی، ۱۵۹۰ متر بالای سطح دریا) در منطقه نیمه‌خشک فلات مرکزی ایران با تابستانی با هوای خشک و گرم و زمستان‌های ملایمی قرار داشت. متوسط بارش سالیانه این منطقه حدود ۱۲۳ میلی‌متر و متوسط تبخیر و تعرق حدود ۱۵۴۷ میلی‌متر و متوسط دما بین ۳/۴ تا ۲۸/۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در طی دوران مطالعه (بهمن ۱۳۸۹ تا تیرماه ۱۳۹۱) درجه حرارت بین ۶- تا ۳۲ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی بین ۳ تا ۱۰۰ درصد بود. خاک محل آزمایش از نوع شنی لومی با ۶۰٪ شن، ۲۵٪ سیلت و ۱۵٪ رس، ۱۲ گرم بر کیلوگرم ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی برابر $2/5 dS\ m^{-1}$ بود (جدول ۱). سطح آب زیرزمینی محل مورد آزمایش بیشتر از دو متر زیر سطح خاک قرار داشت.

آماده‌سازی زمین

طرح آزمایشی در قالب طرح اسپلیت بلوک با دو تیمار اصلی کیفیت آب و سه تیمار فرعی عمق نصب قطره چکان با چهار تکرار انجام شد. زمین در ابتدا به ۲۴ پلات با ابعاد ۳×۳ متر براساس طرح اسپلیت بلوک تقسیم گردید. تیمارهای اصلی عبارتند از آب معمولی (FW) و فاضلاب تصفیه شده شهری (WW) و تیمارهای فرعی نیز عبارتند از آبیاری قطره‌ای سطحی (DI_0)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۱۵ سانتی‌متر (SDI_{15}) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق ۳۰ سانتی‌متر (SDI_{30}). قطره چکان‌ها از نوع میان‌خطی با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر با دبی چهار لیتر بر ساعت مورد استفاده قرار گرفتند. برای هر ردیف یک خط لوله استفاده شد. زمان‌بندی آبیاری براساس مدل ET-HS محاسبه گردید (۲۵). براساس تجزیه خاک، مقدار ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در ابتدای کشت به سطح خاک اضافه گردید. گیاه مورد نظر گندم (*Triticum aestivum*) رقم روشن بود که در توالی کشت گندم- ذرت مورد مطالعه قرار گرفت. گیاه گندم به‌طور خطی با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر کشت گردید. کرت‌های مورد کشت با استفاده از سیستم آبیاری نصب شده در مزرعه آبیاری گردید. این آزمایش‌ها مجدداً در سال دوم تکرار شدند.

نمونه‌برداری و تجزیه نمونه‌ها

از خروجی فاضلاب تصفیه شده تصفیه‌خانه جنوب اصفهان جهت آبیاری تیمارهای پساب استفاده گردید که این پساب، فاضلاب تصفیه شده شهری به روش لجن فعال می‌باشد. آبیاری به مدت یک ساعت در هر سه روز به میزان چهار لیتر از هر قطره چکان انجام گردید. جهت ارزیابی کیفیت آب آبیاری، در هر بار آبیاری ۲۰ میلی‌لیتر از آب آبیاری به‌عنوان نمونه برداشته شد. مقدار EC و pH نمونه‌ها بلافاصله اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد منجمد و نگه‌داری شدند. در انتهای فصل کشت تمام نمونه‌ها ذوب و مخلوط شدند و عناصر سنگین توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند (جدول ۲).

نمونه‌های گیاه گندم نیز پس از رسیدگی کامل در هر سال از مزرعه جمع‌آوری شدند. نمونه‌های خاک در ابتدای آزمایش تا عمق ۵۰ سانتی‌متر و در هر بار برداشت محصول نیز نمونه خاک از عمق ۰-۲۵ و ۲۵-۵۰ برداشته شده و بعد از خشک کردن در هوا در آزمایشگاه از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و در پاکت‌های دربسته برای آزمایش‌ها بعدی نگه‌داری شدند.

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب و پساب مورد استفاده در آبیاری (n= 45)

منبع آب	pH	EC (dS/m)	Cu (mg/l)	Zn (mg/l)	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Cr (mg/l)	Ni (mg/l)
آب معمولی	۷	۱/۲	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۱۰	۰/۰۱	۰/۰۱۰	۰/۰۱۰
پساب	۷/۵	۱/۴	۰/۱۳	۰/۳۷	۰/۰۱۲	۰/۰۲	۰/۰۱۳	۰/۰۲۲
EPA استاندارد	۹-۶	۲	۱	۵	۰/۱	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱

پ- هاش نمونه‌های خاک با استفاده از پی- اچ‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی نمونه‌ها نیز با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد (۳۲). جهت اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سنگین نمونه‌های خاک، میزان ۰/۱۰۰ گرم از نمونه‌ها توسط روش اسید نیتریک هضم و سپس توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شدند (۳). نمونه‌های گیاه نیز پس از شستشو توسط آب مقطر در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شده و سپس با استفاده از آسیاب، پودر شدند. مقدار ۰/۲۰۰۰ گرم از نمونه‌ها توسط اسید نیتریک هضم و پس از عصاره‌گیری مقدار عناصر سنگین آنها توسط دستگاه جذب اتمی قرائت شد (۳۳).

آنالیز داده‌ها

جهت اندازه‌گیری میزان آلودگی خاک، از شاخص افزایش آلودگی مطابق معادله ۱ استفاده گردید (۲۳). که C_{WW} و C_{FW} به ترتیب غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های آبیاری شده با پساب و آب معمولی می‌باشند. شاخص غلظت گیاه نیز مطابق معادله ۲ محاسبه گردید (۶). که C_{plant} و Csoil به ترتیب غلظت عناصر سنگین استخراج شده از نمونه گیاه و نمونه خاک خشک می‌باشند. مقدار شاخص جذب روزانه عناصر با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید:

$$PLI = C_{WW} / C_{FW} \quad [۱]$$

$$PCF = C_{plant}/C_{soil} \quad [۲]$$

$$DIM = (C_{metal} \times C_{factor} \times D_{food\ intake})/B_{average\ weight} \quad [۳]$$

در معادله فوق C_{metal} مقدار غلظت عنصر سنگین در گیاه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، C_{factor} فاکتور تبدیل، $D_{food\ intake}$ مقدار روزانه مصرف گیاه توسط انسان (کیلوگرم) و $B_{average\ weight}$ متوسط وزن بدن فرد (کیلوگرم) می‌باشند. فاکتور تبدیل را معادل ۱- ۰/۰۸۵ به کار می‌برند که بیانگر میزان تبدیل وزن‌تر به وزن خشک گیاه می‌باشد (۳۱). همانند سایر مطالعات انجام شده، مقدار روزانه مصرف نیز برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب برابر ۰/۳۴۵ و ۰/۲۳۲ کیلوگرم برای هر انسان در روز و میزان متوسط وزن انسان بالغ و کودک نیز به ترتیب برابر ۵۵/۹ و ۳۲/۷ کیلوگرم درنظر گرفته شدند (۲۱ و ۳۹).

$$HRI = DIM/RfD \quad [۴]$$

که در آن شاخص ریسک آلودگی (HRI)، DIM مقدار شاخص جذب روزانه عناصر و بر RFD مقدار مرجع مصرف می‌باشد.

مقادیر شاخص ریسک آلودگی بیشتر از یک (HRI>۱) سلامت جامعه را تهدید می‌نماید (۳۶). تجزیه آماری نیز با استفاده از بسته نرم‌افزاری STATISTICA ۱۰ انجام شد (۳۴). تفاوت‌های آماری نیز با استفاده از آزمون مستقل T و تجزیه واریانس مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک

جدول (۳) خصوصیات شیمیایی و غلظت عناصر سنگین تحت تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد. پ- هاش خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کیفیت و عمق آبیاری قرار نگرفته بود (P>۰/۰۵). مقدار EC تحت تیمار آبیاری با پساب به‌طور معنی‌داری از تیمارهای آبیاری با آب معمولی بیشتر و برابر ۴/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود (P<۰/۰۱) که بنابر استاندارد USDA

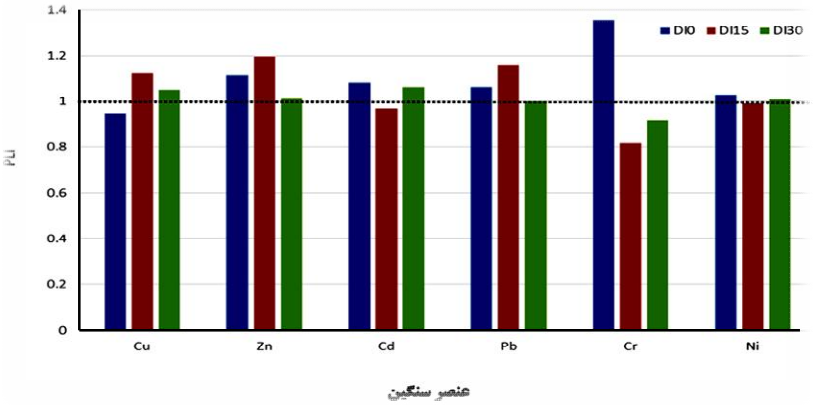
جدول ۳. خصوصیات شیمیایی خاک مورد آبیاری با آب معمولی و پساب پس از خاتمه آزمایش در سال دوم

مشخصه	خاک اولیه	خاک آبیاری شده با آب معمولی			خاک آبیاری شده با پساب			EPA Soil MCL
		DI_{30}	DI_{15}	DI_{0}	DI_{30}	DI_{15}	DI_{0}	
pH	۸/۱	۸/۳^{a}	۸/۲^{a}	۸/۳^{a}	۸/۱^{a}	۸/۲^{a}	۸/۲^{a}	-
(dS/m) EC	۲/۵	۲/۲^{b}	۲/۵^{b}	۲/۱^{b}	۴/۳^{a}	۴/۰^{a}	۳/۷^{a}	-
(g/۱۰۰g) OC	۱۲	۳/۷^{a}	۳/۷^{a}	۳/۸^{a}	۳/۵^{a}	۳/۸^{a}	۳/۹^{a}	-
(mg/kg) Cu	۲۷/۶	۵۷/۱^{a}	۵۴/۰^{a}	۶۴/۵^{a}	۶۰/۴^{a}	۶۰/۰^{a}	۵۷/۷^{a}	۱۷۰
(mg/kg) Zn	۸۱/۹	۱۵۴/۶^{b}	۱۵۳/۷^{b}	۱۵۶/۸^{b}	۱۶۰/۷^{b}	۱۹۰/۱^{a}	۱۶۱/۱^{b}	۳۵۰
(mg/kg) Cd	۲/۳	۵/۰^{a}	۵/۵^{a}	۵/۳^{a}	۴/۹^{a}	۵/۴^{a}	۵/۵^{a}	۳
(mg/kg) Pb	۷/۴	۲۰/۲^{a}	۱۷/۵^{a}	۱۸/۹^{a}	۲۰/۸^{a}	۱۹/۸^{a}	۲۰/۲^{a}	۲۵۰
(mg/kg) Cr	۱۳/۸	۳۱/۹^{a}	۳۳/۹^{a}	۲۹/۳^{a}	۲۷/۲^{a}	۲۶/۸^{a}	۲۹/۱^{a}	۱۰۰
(mg/kg) Ni	۱۸/۷	۲۴/۲^{a}	۲۴/۴^{a}	۲۵/۰^{a}	۲۴/۶^{a}	۲۳/۵^{a}	۲۵/۶^{a}	۱۰۰

MCL: حداکثر غلظت مجاز در خاک (۳۶). میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ردیف فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد هستند

بیانگر وجود مشکل شوری می‌باشد (۵). محمد و مظاهر (۲۰۰۳) بیان نمودند که افزایش EC خاک در خاک‌های آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک‌های آبیاری شده با آب معمولی بیشتر بودند(۲۴). در این مطالعه نیز استفاده از پساب باعث افزایش معنی‌دار سدیم و پتاسیم در خاک شد که با مطالعه خان و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت داشت. ولیکن مقدار EC در عمق‌های مختلف نصب قطره چکان اختلاف معنی‌داری نداشت. مقدار ۴ گرم بر کیلوگرم کربن آلی خاک بیانگر سطح پایین آن در خاک تحت کشت می‌باشد. به‌دلیل سرعت بالای معدنی شدن مواد آلی در شرایط خشک و نیمه‌خشک مقدار به‌دست‌آمده دور از انتظار نبود (۹). نتایج تجزیه آماری نیز اختلاف معنی‌دار بین کیفیت‌های مختلف آب آبیاری و عمق‌های مختلف نصب قطره چکان از نظر مقدار ماده آلی نشان نداد. در انتهای برداشت گندم به‌طورکلی در همه تیمارها سطح کربن آلی به‌دلیل ورود بقایای گیاه مقداری افزایش نشان داد و این روند در بلند مدت باعث افزایش مقدار آن در خاک گردید (۱۶).

در تیمار عمق‌های مختلف قطره چکان، غلظت عناصر سنگین تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به‌دلیل تناوب بالای آبیاری جهت تأمین آب مورد نیاز گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، جبهه رطوبتی خاک در تیمارهای عمق مختلف آبیاری تقریباً مشابه یکدیگر بودند که این امر تأثیر کم‌عمق آبیاری بر میزان عناصر در خاک را می‌تواند توجیه نماید. مقدار برخی از عناصر سنگین در خاک‌های تحت تیمار پساب بیشتر از تیمار آب معمولی بودند (جدول ۲) ولیکن اختلاف معنی‌داری میان کیفیت مختلف آب دیده نشد. مطالعه قبلی (۲ و ۲۳) نشان داد که در تیمارهای تحت آبیاری با پساب مقدار بیشتری ماده خشک در مقایسه با آب معمولی تولید می‌نماید در نتیجه مقدار بیشتری از عناصر از جمله عناصر سنگین از خاک جذب و صرف تولید ماده خشک می‌شود و باعث کاهش غلظت آن در خاک می‌گردد. به‌طورکلی میانگین مقدار Cu در خاک به‌عنوان عنصر مورد نیاز برای ادامه حیات جانداران برابر ۵۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که این غلظت زیر مقدار استاندارد تعیین شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا بود (۳۶). مقدار عناصر Zn و Ni که جزو عناصر مورد نیاز می‌باشند به‌ترتیب برابر ۱۶۲/۸ و ۲۷/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که زیر حد استاندارد بودند. مقدار متوسط عنصر Cd نیز برابر ۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. برخلاف مقادیر پایین کادمیم، غلظت‌های پایین این عنصر سمیتی بیشتری در مقایسه



شکل ۱. شاخص افزایش آلودگی (PLI) عناصر مس، روی، کادمیم، سرب، کروم و نیکل در عمق‌های مختلف آبیاری قطره‌ای
DI۰: آبیاری در سطح، DI۱۵ : آبیاری در عمق ۱۵ سانتی‌متری، DI۳۰: آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری

با سایر عناصر ایجاد می‌کند و غلظت آن نیز بیش‌ازحد استاندارد می‌باشد. مقادیر عناصر Pb و Cr که جزو عناصر ضروری نمی‌باشند برابر ۲۹/۷ و ۱۹/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود و این مقادیر زیر حد استاندارد بودند.

شاخص‌های آلودگی

شاخص افزایش آلودگی (PLI) در شکل (۱) نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در تجمع عناصر سنگین در خاک بین دو تیمار آبیاری با آب معمولی و پساب مشاهده نگردید. همچنین اختلاف معنی‌داری بین عمق‌های مختلف نصب قطره چکان نیز به‌دست نیامد. در آبیاری مداوم با پساب انتظار می‌رود که مقادیر عناصر سنگین در خاک افزایش یابد ولیکن شاخص افزایش آلودگی در این مطالعه برای تیمارها و عناصر مختلف نزدیک به عدد یک بودند. این نتایج را می‌توان از یک جهت به‌علت غلظت نه‌چندان بالای عناصر سنگین در نمونه‌های آب آبیاری مورد آنالیز قرار گرفته شده دانست و از طرف دیگر نیز تا حدودی به‌علت استفاده از سیستم آبیاری زیرسطحی و به طبع کارآیی بالاتر مصرف آب و تولید بالاتر ماده خشک در این سیستم آبیاری و همچنین محدودیت در حجم پیاز رطوبتی و تمرکز ریشه‌ها و جذب عناصر موجود در این محدوده باشد (۳۷). در نتیجه مقدار کمتری آب آبیاری برای به‌دست آوردن محصولی مشابه با سیستم‌های دیگر آبیاری مورد نیاز می‌باشد (۲ و ۲۵). به‌علت مقدار کمتر آب مورد استفاده، مقدار کمتری از عناصر سنگین در اثر آبیاری با پساب وارد خاک می‌شود. همچنین مقدار برخی از عناصر سنگین در پساب مشابه آب معمولی است که در نتایج حاصل بی‌تأثیر نبود. کاباتاپندیس و پندیاس (۲۰۰۱) نشان داد که ریشه و برگ‌ها مقدار معنی‌داری کادمیم جذب می‌نماید (۱۷). هینزلی و همکاران (۱۹۸۴) گزارش نمودند که پ- هاش خاک تأثیر زیادی بر جذب کادمیم در ذرت دارد (۱۲).

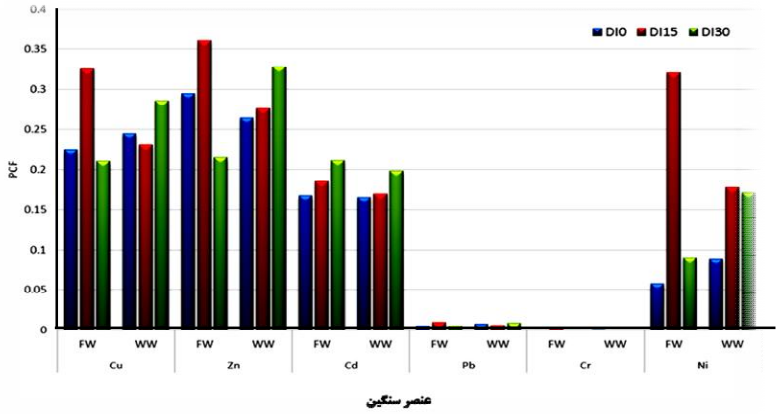
عناصر سنگین در محصول

غلظت عناصر سنگین در دانه گندم در جدول (۴) نشان داده شده است. تفاوت معنی‌داری بین کیفیت‌های مختلف آب و همچنین عمق‌های مختلف قطره چکان مشاهده نگردید. عمق‌های مختلف قطره چکان به‌دلیل دور آبیاری کوتاه و رشد ریشه‌ها در ناحیه خیس خاک حول قطره چکان باعث عدم تأثیر عمق قطره چکان بر میزان عناصر سنگین جذب شده در گیاه می‌گردد. نتایج این آزمایش (در این مقاله گزارش نشده است) نشان داد که به‌دلیل مقدار بالاتر عناصر به‌خصوص نیتروژن و فسفر در تیمارهای آبیاری شده با پساب، مقدار ماده خشک تولید شده در واحد سطح بیشتر از آب معمولی بود که این

جدول ۴. غلظت عناصر مس، روی، کادمیم، سرب، نیکل و کروم در دانه گندم آبیاری شده توسط آب معمولی و پساب

مشخصه	خاک آبیاری شده با آب معمولی			خاک آبیاری شده با پساب			EPA Soil MCL
	$DI_{۳۰}$	$DI_{۱۵}$	$DI_{۰}$	$DI_{۳۰}$	$DI_{۱۵}$	$DI_{۰}$	
(mg/kg) Cu	۱۳/۵	۱۲/۴	۱۲/۵	۱۳/۸	۱۲/۸	۱۱/۷	۲۰
(mg/kg) Zn	۲۷/۷	۲۹/۶	۲۸/۰	۳۹/۲	۳۴/۸	۳۲/۷	۵۰
(mg/kg) Cd	۱/۲	۱/۰	۱/۲	۰/۹	۱/۱	۱/۱	۰/۱
(mg/kg) Pb	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۲
(mg/kg) Cr	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱	۱
(mg/kg) Ni	۳/۴	۳/۳	۲/۹	۳/۲	۳/۰	۲/۳	۰/۰۴

MCL: حداکثر غلظت مجاز در محصول (۳۶)



شکل ۲. شاخص غلظت عناصر مس، روی، کادمیم، سرب، کروم و نیکل در گیاه برای تیمار آبیاری شده توسط آب و پساب فاضلاب شهری در عمق‌های مختلف آبیاری

DI۰: آبیاری در سطح، DI۱۵ : آبیاری در عمق ۱۵ سانتی‌متری، DI۳۰: آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری،

FW: آب معمولی، WW: پساب تصفیه شده

نتایج مطابق سایر مطالعات انجام گرفته بود (۲ و ۳۸). مقدار بالای ماده خشک محصول تولیدی در واحد سطح تحت آبیاری با پساب می‌تواند عامل جذب بالاتر عناصر از خاک و عامل عدم تفاوت معنی‌دار در نتایج حاصله گردد.

حداکثر مجاز عناصر سرب، کادمیم، مس، روی، کروم و نیکل به‌ترتیب برابر ۰/۰،۱/۲، ۲۰، ۵۰، ۱ و ۰/۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک می‌باشد (۳۶). مقدار متوسط عناصر مس، روی و سرب کمتر از مقدار مجاز بود ولیکن غلظت کروم، کادمیم و نیکل از حد مجاز بالاتر بود. میزان متوسط کادمیم ۱۰/۵ برابر و نیکل نیز ۷۵ برابر میزان حداکثر مجاز در بذر گندم برداشت شده بود. این مقادیر باعث ایجاد خطر برای سلامت عمومی می‌گردد. لی و همکاران (۲۰۱۲) نیز تأیید کرد که عناصر سنگین (Cd,Cr,Cu,Zn و Ni) از خاک به دانه برنج و ریشه سبزی‌ها منتقل می‌گردد. مطالعات متعددی نیز نشان‌دهنده جذب بالای عنصر مس در بذر گیاهان می‌گردد (۲۱ و ۲۲). در برخی مطالعات در خاک و محصول میزان سطح عناصر سنگین از جمله کادمیم و سرب بیشتر از ۰/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در سبزی‌ها بود (۱۳). مطالعه پاندی و همکاران (۲۰۱۲) بیانگر

جدول ۵. شاخص جذب روزانه عناصر مس، روی، کادمیم، سرب، کروم و نیکل گندم آبیاری شده توسط پساب فاضلاب شهری

مشخصه	سن	Cu	Zn	Cd	Pb	Cr	Ni
DI_{0}	بزرگسال	۰/۰۳۳۰	۰/۰۹۴۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۵
	خردسال	۰/۰۵۷۰	۰/۱۶۰۰	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۱۰
DI_{15}	بزرگسال	۰/۰۳۷۰	۰/۱۰۰۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۸۷
	خردسال	۰/۰۶۳۰	۰/۱۷۰۰	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۵۰
DI_{30}	بزرگسال	۰/۰۳۹۰	۰/۱۱۰۰	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۹۱
	خردسال	۰/۰۳۹۰	۰/۱۹۰۰	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۵۰
RfD		۰/۰۴	۰/۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳	۰/۰۲

تجمع بیش‌ازحد عناصر سنگین در برگ‌های اسفناج و میوه گوجه‌فرنگی و ریشه تربچه بود.

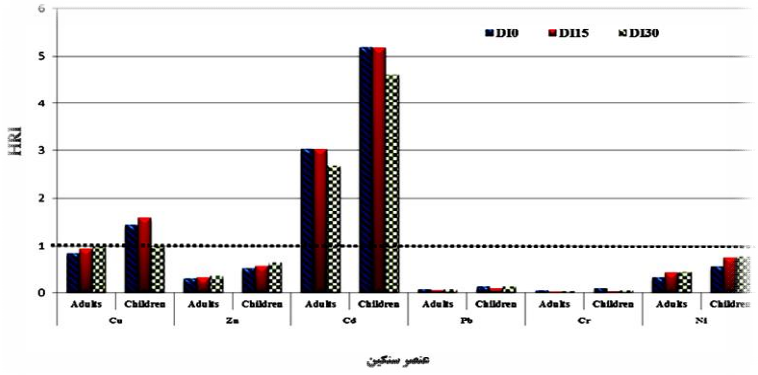
مقدار شاخص غلظت گیاه (PCF) تفاوت معنی‌داری بین کیفیت‌های مختلف آب و عمق قطره چکان مشاهده نشد. مقدار بالای محصول تولید شده در تیمارهای آبیاری با پساب در مقایسه با آب معمولی باعث این نتیجه شد. مقدار شاخص برای کروم و سرب به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر عناصر بود ولیکن جانفا و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه خود نشان داد که کادمیم و کروم مقدار بالاتری از شاخص غلظت آلودگی را در مقایسه با سایر عناصر داشت که مطابق نتایج این تحقیق نبود (۱۵).

شاخص ریسک آلودگی محصول

غذای مورد استفاده انسان از راه‌های مختلفی آلوده می‌گردند. میزان متوسط مصرف این مواد آلوده کننده براساس میزان مصرف روزانه غذای انسان مورد برآورد قرارگرفته شده است (جدول ۵). همان‌طور که مشاهده می‌گردد شاخص جذب روزانه عناصر زمانی‌که گیاه توسط پساب آبیاری شده باشد به‌طور معنی‌داری بیشتر از حالت آبیاری با آب معمولی می‌باشد. در بین مقادیر شاخص جذب روزانه، بیشترین میزان دریافت مربوط به عنصر روی برای بزرگسالان و خردسالان می‌باشد. ولکن، مقادیر به‌دست‌آمده کمتر از میزان مجاز توصیه شده توسط فائو بود. مطالعات متعدد انجام شده برروی میزان این شاخص نشان‌دهنده مقادیر مختلفی از عناصر سنگین جذب شده در گیاهان بود که این امر بسته به نوع گیاه، طول مدت رشد، توانایی گیاه در جذب عناصر، میزان موجودی عنصر در خاک و تأثیرات فصلی می‌باشد (۱۳ و ۲۰).

مقادیر شاخص ریسک آلودگی (HRI) عناصر سنگین در بذر خوراکی مصرف شده برای سنین بزرگسال و خردسال در شکل (۳) ارائه شده است. این شاخص برای ارزیابی میزان سمیت عناصر سنگین برای سلامت انسان ارائه شده است (۲۷). مقدار بالاتر از عدد یک برای این شاخص نشان‌دهنده عدم سلامت برای انسان می‌باشد (۳۶). نتایج تحقیق نشان داد جذب عنصر مس در بدن از طریق مصرف دانه‌های گندم باعث ایجاد خطر بالای در کودکان شده و تا حدودی برای سلامت بزرگسالان خطرناک می‌باشد. کادمیم نیز پتانسیل آلودگی بالاتر از یک را نشان داد که با نتایج به‌دست‌آمده در تحقیقی که در نواحی نانینگ در چین (۶)، ناحیه بولاروو در استرالیا (۱۸)، دره سوات در پاکستان (۲۰) و ژاجینگ در چین (۱۳) انجام شده است، مطابقت داشت.

هوانژ و همکاران (۲۰۱۴) تحقیقی برروی اثر آبیاری با پساب برروی برخی از سبزی‌ها انجام دادند و مقدار شاخص ریسک آلودگی بالاتر از یک را برای منگنز گزارش نمود(۱۳). درحالی‌که چن و همکاران (۲۰۱۰) مقدار شاخص کمتر از یک را برای دانه‌های خوراکی آبیاری شده با پساب گزارش نمود(۴). نتایج حاصل از تحقیقات پاندی و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان از بالا بودن شاخص ریسک آلودگی توسط عناصر کادمیم و سرب داشت (۲۹).



شکل ۳. شاخص ریسک آلودگی برای عناصر مس، روی، کادمیم، سرب، کروم و نیکل در گندم آبیاری شده با پساب در عمق‌های مختلف آبیاری

DI۰: آبیاری در سطح، DI۱۵ : آبیاری در عمق ۱۵ سانتی‌متری، DI۳۰: آبیاری در عمق ۳۰ سانتی‌متری و Adults: بزرگسال، Children: خردسال

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که اختلاف معنی‌دار از نظر تجمع عناصر سنگین در محصول برداشت شده گیاه گندم میان تیمارهای پساب و آب معمولی وجود ندارد. این نتایج می‌تواند به جهت تولید ماده خشک بیشتر در تیمارهای آبیاری شده توسط پساب و وجود مقدار بیشتر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برای تولید میزان ماده خشک بیشتر از جمله نیتروژن در پساب شهری باشد. نتایج همچنین نشان داد که گندم به‌دلیل جذب بالای برخی از عناصر سنگین، شاخص‌های ریسک سلامتی بالاتر از میزان حداکثر مجاز داشت. همچنین جذب عناصر روی و مس در مقایسه با سایر عناصر بالاتر بودند ولیکن به‌دلیل بالاتر بودن حداکثر میزان مجاز استاندارد در مقایسه با دیگر عناصر سنگین غیرضروری (Ni ,Cr ,Pb)، خطر کمتری را متوجه سلامت انسان می‌نماید. براساس نتایج حاصل از این تحقیق و مقایسه با نتایج تحقیق برروی سیستم آبیاری غرقابی می‌توان بیان داشت که استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای یک روش بالقوه برای کاهش میزان جذب عناصر سنگین در دانه گندم آبیاری شده توسط پساب باشد. براساس نتایج حاصله می‌توان پیشنهاد داد که توجه بیشتری برروی کشت گیاهان مختلف با آبیاری قطره‌ای معطوف نمود تا همزمان با کاهش تأثیرات منفی تجمع عناصر موجود در پساب و کاهش ریسک تهدید سلامت مصرف‌کنندگان محصولات تولیدی با پساب، از خطرات آبیاری محصول توسط پساب نیز کاست.

منابع مورد استفاده

۱. نجفی، پ. ۱۳۸۰. بررسی وضعیت پساب خروجی فاضلاب اماکن کارخانه ذوب‌آهن اصفهان. اولین سمینار سراسری بهره‌برداری از منابع تجدیدشونده و بازیافت در کشاورزی.

2. Asgari, K. and P. Najafi. 2008. Comparison of yield component and WUE of corn and sunflower in different irrigation system and treated municipal wastewater reuse. Crop Res. 35(3): 190-194.
3. Carter, M. R. and E. G. Gregorich. 2007. Soil sampling and methods of analysis, Second Edition. CRC Press. 1264 P.
4. Chen, Z F., Y. Zhao, Y. Zhu, X. Yang, J. Qiao, Q. Tian and Q. Zhang. 2010. Health risks of heavy metals in

sewage-irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei province, China. J. of the Sci. of Food and Agric. 90(2): 314-320.
5. Corwin, D. and S. Lesch. 2013. Protocols and guidelines for field-scale measurement of soil salinity distribution with ECa-directed soil sampling. J. of Environ. and Eng. Geophysics 18(1): 1-25.
6. Cui, Y. J., Y. G. Zhu, R. H. Zhai, D. Y. Chen, Y. Z. Huang, Y. Qiu and J. Z. Ling. 2004. Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China. Environ. Int. 30: 785-791.
7. Ehsan, I. U., S. Perveen, Z. Shah, W. Nazif, S. S. Shah and H. U. Shah. 2011. Study on accumulation of heavy metals in vegetables receiving sewage water. J. of the Chem. Soc. of Pakistan 33(2): 220-226.
8. FAO/WHO. 1984. List of contaminants and their maximum levels in foods, Codex Alimentarius Commission.
9. Giongo, V., S. R. d. S. Galvão, A. M. S. Mendes, C. A. T. Gava and T. J. F. Cunha. 2011. Soil organic carbon in the Brazilian semi-arid tropics PP: 12-20. *In*: Leite LF, Madari BE (Eds) Soil Organic Matter: Brazilian Perspectives. Dynamic Soil, Dynamic Plant. 5 (Special Issue 1).
10. Hanson, B. and D. May. 2004. Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. Agric. Water Manage. 68(1): 1-17.
11. Heidarpour, M., B. Mostafazadeh-Fard, J. Abedi Koupai and R. Malekian. 2007. The effects of treated waste water on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. Agric. Water Manage. 90(1-2): 87-94.
12. Hinesly, T. D., K. E. Redborg, R. I. Pietz and E. L. Ziegler. 1984. Cadmium and zinc uptake by corn (*Zea mays* L.) with repeated applications of sewage sludge. J. of Agric. and Food Chem. 32(1): 155-163.
13. Huang, Z., X. D. Pan, P. G. Wu, J.-L. Han and Q. Chen. 2014. Heavy metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. Food Control 36(1): 248-252.
14. IWMI. 2000. Global water scarcity study. http://www.iwmi.cgiar.org/home/wsmap.htm.
15. Jan, FA., M. Ishaq, S. Khan, I. Ihsanullah and I. Ahmad. 2010. A comparative study of human health risks via consumption of food crops grown on wastewater irrigated soil (Peshawar) and relatively clean water irrigated soil (lower Dir). J. of Hazardous Materials 179: 612–621.
16. Jin, K., W. M. Cornelis, W. Schiette, J. J. Lu, T. Buysse, G. Baert, H. J. Wu, Y. Yao, D. X. Cai, J. Y. Jin, S. De. Neve, R. Hartmann and D. Gabriels. 2008. Redistribution and loss of soil organic carbon by overland flow under various soil management practices on the Chinese Loess Plateau. Soil Use and Manage. 24(2): 181-191.
17. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press (2Ed.), Florida, USA. P: 413.
18. Kachenko, A. and B. Singh. 2006. Heavy metals contamination in vegetables grown in urban and metal smelter contaminated sites in Australia. Water, Air, and Soil Pollution 169(1-4): 101-123.
19. Kandelous, M. M., J. Šimůnek, M. T. van Genuchten and K. Malek. 2011. Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. Soil Sci. Soc. Am. J. 75(2): 488-497.
20. Khan, K., Y. Lu, H. Khan, M. Ishtiaq, S. Khan, M. Waqas, L. Wei and T. Wang. 2013. Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, Northern Pakistan. Food and Chemical Toxicology 58: 449-458.
21. Khan, S., Q. Cao, Y. M. Zheng, Y. Z. Huang and Y. G. Zhu. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environ. Pollution 152(3):686-692.
22. Li, Q., Y. Chen, H. Fu, Z. Cui, L. Shi, L. Wang and Z. Liu. 2012. Health risk of heavy metals in food crops grown on reclaimed tidal flat soil in the Pearl River Estuary, China. J. of Hazardous Materials 227-228: 148-154.
23. Liu, W. H., J. Z. Zhao, Z. Y. Ouyang, L. Soderlund and G. H. Liu. 2005. Impacts of sewage irrigation on heavy metals distribution and contamination in Beijing, China. Environ. Int. 31: 805-812.
24. Mohammad, M. J. and N. Mazahreh. 2003. Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. Communications in Soil Sci. and Plant Analysis 34(9-10): 1281-1294.
25. Najafi, P. and S. H. Tabatabaei. 2007. Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. Irrigation and Drainage 56(4): 477-486.
26. Oron, G., C. Campos, L. Gillerman and M. Salgot. 1999. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. Agricultural Water Manage. 38: 223-234.
27. Osman, K. A., A. I. Al-Humaid, S. M. Al-Rehiayani and K. N. Al-Redhaiman. 2011. Estimated daily intake of pesticide residues exposure by vegetables grown in greenhouses in Al-Qassim region, Saudi Arabia. Food Control. 22(6): 947-953.
28. Oweis, T. and A. Hachum. 2009. Water harvesting for improved rainfed agriculture in the dry environments. Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential. 310 P.
29. Pandey, R., K. Shubhashish and J. Pandey. 2012. Dietary intake of pollutant aerosols via vegetables influenced by atmospheric deposition and wastewater irrigation. Ecotoxicology and Environ. Safety 76: 200-208.
30. Pescod, M. B. 1992. Wastewater treatment and use in agriculture, FAO, Irrigation and Drainage Paper, No. 47, 118 p.

31. Rattan, R., S. Datta, P. Chhonkar, K. Suribabu and A. Singh. 2005. Longterm impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater: a case study. Agric., Ecosys. and Environ. 109: 310–322.
32. Sonmez, S., D. Buyuktas, F. Okturen and S. Citak. 2008. Assessment of different soil to water ratios (1:1, 1:2.5, 1:5) in soil salinity studies. Geoderma 144(1-2): 361-369.
33. Srivastava, M., L. Q Ma, J. Antonio and S. Gonzaga. 2006. Three new arsenic hyper accumulating ferns. Science Total Environ. 364: 24–31
34. StatSoft, I. 2011. STATISTICA (data analysis software system), version 10. www.statsoft.com.
35. Turkdogan, M., F. Kilicel, K. Kara, I. Tuncer and I. Uygan. 2003. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. Environtal Toxicol Pharmacology 13: 175–179.
36. US-EPA. 2012. Environmental Protection Agency, Region 9, Preliminary remediation goals. http://www.epa.gov/region9/superfund/prg/.
37. Wang, F. X., Y. Kang and S. P. Liu. 2006. Effects of drip irrigation frequency on soil wetting pattern and potato growth in North China Plain. Agricultural Water Manage. 79(3): 248-264.
38. Zema, D. A., G. Bombino, S. Andiloro and S. M. Zimbone. 2012. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. Agricultural Water Manage. 115: 55-65.
39. Zhi-Fan, C., Z. Ye, Z. Yuen, Y. Xu Q. Jiejuan, T. Qing and Z. Qing. 2010. Health risks of heavy metals in sewage-irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei province, China. J. of the Sci. of Food and Agric. 90: 314–320.

Assessment of Health Risk Index in Soil and Grain of Wheat Irrigated by Subsurface Drip Irrigation and Treated Wastewater in Semi-Arid Region

K. Asgari[1*], S. H. Tabatabaei[2], P. Najafi[3] and SH. Kiani[1]

(Received: Jan. 26 -2015 ; Accepted: June 11-2016)

Abstract

Constant use of treated wastewater (TWW) for irrigation over long periods may cause buildup of heavy metals up to toxic levels for plants, animals, and entails environmental hazards in different aspects. The aim of this study was to assess the effect of using a deep emitter installation on lowering the potential heavy metal accumulation in soil and wheat grain, and health risk under drip irrigation with treated municipal wastewater. A field experiment was conducted according to a split block design with two treatments (fresh and wastewater) and three sub treatments (0, 15 and 30 cm depth of emitters) in four replicates in Esfahan, Iran. Soil samples were collected before planting (initial value) and after harvesting (final value) in each year. Elemental concentrations (Cu, Zn, Cd, Pb, Cr, and Ni) in soil and grain were determined using an atomic absorption spectrophotometer. A pollution load index (PLI) showed that there was not substantial buildup of heavy metals in the wastewater-irrigated soils compared to the freshwater-irrigated soils. Cu, Pb, Cr and Zn concentrations in wheat grain were within permissible EPA limits, but concentrations of Cr was above the safe limits of EPA. In addition, concentrations of Ni in wheat grain were several folds higher than EPA standards. A health risk index (HRI) which is usually adopted to assess the health risk to hazard materials in foods showed values higher than 1 for Cd and Cu, whereas children might also be exposed to health risk of Cd, Cu and Cr. Based on aforementioned results, it can be concluded that the depth of emitter in drip irrigation does not play a significant role in the accumulation of heavy metals from TWW in our sandy loam soil.

Keywords: Daily intake of metals, Esfahan, Heavy metals, Plant concentration factor, Pollution load index.

1. Dept. of Soil Sci., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
2. Dept.of Water Eng., Faculty of Agric., Shahrekord Univ., Shahrekord, Iran.
3. Dept.of Water Eng., Faculty of Agric., Islamic Azad Univ. Isf. (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: Kamran.Asgari@ stu.sku.ac.ir