

تأثیر مصرف فاضلاب در آبیاری گیاهان زراعی بر میزان برخی از عناصر سنگین خاک و گیاهان

محمد علی بهمنیار

دانشیار علوم خاک، مجتمع آموزش عالی علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه مازندران

تاریخ پذیرش: ۸۵/۹/۱۶ تاریخ تصویب: ۸۵/۱۲/۲۵

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کاربرد فاضلاب شهری در میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاهان تحت کشت، فاضلاب شهری قسمتی از غرب ساری و قسمت مرکزی قائم شهر که برای آبیاری اراضی زیرکشت زراعی برنج مصرف می شد در سال ۱۳۸۴ مورد بررسی قرار گرفت. در زمان برداشت برنج، ریشه، اندام هوایی، دانه و خاک اراضی نمونه برداری شد (شاهد و تحت تأثیر فاضلاب). پس از برداشت برنج از ریشه و اندام هوایی شیدر، اسفناج و علوفه نیز نمونه برداری صورت پذیرفت. سپس میزان کادمیوم، نیکل، سرب و کروم در خاک، ریشه، اندام هوایی و دانه برنج و ریشه و اندام هوایی اسفناج، شیدرو علوفه اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که با استفاده از فاضلاب شهری برای کمک در آبیاری اراضی، میزان کادمیوم، نیکل، سرب و کروم در خاک افزایش یافت. با افزایش مقدار آهک و مواد آلی خاک، میزان سرب کل تجمع یافته در خاک افزایش معنی داری نشان داد و سایر عناصر با مقدار آهک و مواد آلی همبستگی معنی داری نشان ندادند. میزان کادمیوم، نیکل، کروم و سرب تجمع یافته در ریشه بیشتر از اندام هوایی و دانه برنج بود و در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری، میزان عناصر مورد بررسی افزایش یافت، اما به حد سمی بودن نرسید. میزان سرب در اندام هوایی اسفناج و دانه برنج نسبت به شاهد بیش از ۲ برابر بود که نیاز به بررسی بیشتر دارد. ضریب انتقال سرب، کادمیوم، نیکل و کروم به دانه برنج به ترتیب افزایش یافت، اما در اندام هوایی اسفناج، میزان انتقال به ترتیب در کروم، نیکل، سرب و کادمیوم افزایش نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین - فاضلاب شهری - برنج، اسفناج - شیدر - خاک

سر آغاز

تهران، حداکثر غلظت فلزات سنگین در گیاهان با آبیاری فاضلاب شهری به ترتیب در ریشه، ساقه، میوه و دانه اتفاق افتاد و در اسفناج حداکثر و در گندم حداقل بود (شریعتی و همکاران، ۱۳۶۸). غلظت عناصر سنگین کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در خاک زیرکشت یونجه که با فاضلاب شهری آبیاری شده بود به دو برابر افزایش یافت (Carrillo and Cajuste, 1992). در بنگلادش خاکهایی که تحت تأثیر فاضلاب شهری قرار داشتند میزان کادمیوم و نیکل در خاکها تا ۱۱ برابر بیشتر از شاهد بود (Kashen and Singh, 2001). در چین استفاده کوتاه مدت از فاضلاب شهری و صنعتی برای آبیاری موجب افزایش عناصر سنگین در خاکها به میزان ۲۵ تا ۸۰ درصد شد (Qingren et al., 2001). در کویت استفاده از فاضلاب شهری در کشاورزی سبب افزایش جذب کادمیوم در حد سمیت برای انسان و حیوان شد اما برای گیاهان پایین تر از حد سمیت بود. در ضمن رابطه بسیار خوبی بین غلظت عناصر سنگین در فاضلاب و میزان جذب آنها در گیاه و میوه محصولات زراعی وجود داشته است (Al Enezi et al., 2004).

کاربرد فاضلاب شهری در اراضی کشاورزی موجب افزایش عناصر سنگین در خاک شده و میزان آنها در گیاه نیز به طور چشمگیری افزایش می یابد (Yada et al., 2002). در اراضی آبیاری شده با فاضلاب شهری، میزان غلظت کل املاح تا ۲ برابر افزایش یافته و تا عمق ۱۵ سانتیمتری میزان عناصر سنگین، افزایش عمده ای یافته و برخی عناصر نظیر کادمیوم تا ۲۳ برابر افزایش نشان داده است (John et al., 1972; ملا حسینی، ۱۳۸۰ و Golovaty and Savchenk, 2002). عناصری که برای رشد گیاه ضروری هستند معمولاً در گیاه متحرک بوده، اما عناصر سمی و سنگین جابه جایی کمی داشته و در ریشه ها تجمع می یابند. بنابراین میزان کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در ریشه حداکثر بوده است (عبادی و همکاران ۱۳۸۴، Sterit and Stumm, 1993, Mireles et al., 2004). آبیاری مزرعه برنج با پساب شهری و صنعتی موجب افزایش عناصر سنگین بویژه نیکل در اندام هوایی گیاه شد (شیرین فکر و همکاران، ۱۳۸۰). ضمناً در جنوب شهر

منطقه ای که آب آبیاری اش تحت تاثیر فاضلاب شهری قرار نداشت، نمونه برداری شد.

از ریشه و اندام هوایی اسفناج، شیدر و علوفه نیز نمونه برداری شد. نوع بافت، میزان مواد آلی، pH، کربنات کلسیم (Nelson, 1982)، و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (Roades, 1982) اندازه گیری شد. همچنین مقادیر کادمیوم، نیکل، کروم و سرب قابل جذب خاک به روش DTPA تعیین شد (Lindsay and Norvell, 1978).

بعلاوه مقادیر کادمیوم، نیکل، کروم و سرب کل خاک پس از عصاره گیری با اسید کلریدریک و اسید نیتریک با دستگاه جذب اتمیک (Varian (Spectra AA-10 تعیین شد (Baker and Amacher, 1982). برای تعیین مقادیر عناصر فوق در ریشه، اندام هوایی و دانه از خاکستر خشک به روش (AOAC 1990) استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

مخلوط شدن فاضلاب شهری در آب آبیاری موجب افزایش میزان عناصر سنگین در نقاط مورد بررسی شد. اما مقدار افزایش در فصول بهار و تابستان که دبی رودخانه کمتر و آب نیز برای آبیاری مصرف می شود بالاتر از فصول پاییز و زمستان بوده است (جدول شماره ۱). در منطقه (۱) میزان کادمیوم در فصل بهار و تابستان به میزان ۲۵ تا ۵۰ درصد، سرب، نیکل و کروم به ۳ برابر افزایش یافت و این افزایش در منطقه ۲ کمتر بود.

افزایش میزان pH و EC در فصول مختلف و در تیمار تحت تاثیر فاضلاب چندان قابل توجه نبود (جدول شماره ۱). خاک اراضی تحت تاثیر فاضلاب شهری، دارای واکنش بالاتر از ۷، هدایت الکتریکی ۱/۰۱ تا ۱/۲۶ دسی زیمنس بر متر، آهک ۱۴/۷ تا ۱۷/۸ درصد، مواد آلی ۲/۴۰ تا ۳/۲۳ درصد، ظرفیت تبادل کاتیونی ۲۱/۳ تا ۲۶/۰ سانتی مل بر کیلوگرم رس و میزان رس ۳۰۰ تا ۳۴۰ گرم در کیلو گرم بوده اند (جدول شماره ۲). در اراضی تحت تاثیر فاضلاب شهری میزان کادمیوم قابل جذب بیش از ۳ برابر و مقدار کادمیوم کل تا ۲ برابر نسبت به اراضی که تحت تاثیر فاضلاب شهری قرار نداشتند (شاهد) افزایش نشان داده است. در ضمن سرب قابل جذب و کل به میزان قریب ۲۵ درصد افزایش یافتند (جدول شماره ۳)

مقدار عناصر سنگین جابه جا شده در محیط خاک تابعی از pH، میزان رس، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی است (Kimberly and William, 1999) و با افزایش pH، کربنات و مواد آلی خاک تحرک عناصر سنگین کاهش می یابد (Smith, 1996). خاکهای حاوی کربنات کلسیم آزاد می توانند کادمیوم و سرب را جذب کرده و از قابل دسترس بودن آن برای گیاه بکاهند (Cavallaro and mebride, 1978).

بنابراین خاکهای اسیدی توانایی خیلی کمی نسبت به خاکهای خنثی در جذب و نگهداری کادمیوم از خود نشان می دهند (Elfattah and wada, 1981). حضور آهک جذب سرب را سبب می گردد و انتقال سرب به قسمت های هوایی گیاه بسختی صورت می پذیرد و اغلب در ریشه گیاهان تمرکز می یابند (Kabata, 2001).

هدف از این تحقیق، بررسی کاربرد فاضلاب شهری در تجمع میزان کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در خاک و ریشه، اندام هوایی و دانه گیاهان تحت کشت است.

مواد و روش ها

به منظور بررسی تاثیر کاربرد طولانی مدت فاضلاب شهری در آبیاری اراضی کشاورزی در میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاهان تحت آبیاری، در سال ۱۳۸۴ فاضلاب شهری قسمت غرب ساری (منطقه ۱) و قسمت مرکزی قائم شهر (منطقه ۲) مورد بررسی قرار گرفت. فاضلاب شهری غرب ساری پس از مخلوط شدن با قسمتی از آب رودخانه تجن در فصل زراعی برای آبیاری برنج استفاده می شود و همچنین فاضلاب شهری قسمت شرقی قائم شهر هم پس از تخلیه در آب روخانه سیاهرود در فصل زراعی برای آبیاری برنج استفاده می شود.

در اراضی فوق پس از برداشت برنج، دامها از علوفه روئیده شده یا از شیدر کاشته شده برای تغذیه استفاده می کنند و در بعضی از مناطق اسفناج کشت می شود. در این مناطق آب آبیاری قبل و بعد از اختلاط با فاضلاب شهری هر ماهه نمونه برداری و مقادیر کادمیوم، نیکل، کروم و سرب اندازه گیری شد. ضمناً در زمان برداشت برنج از خاک اراضی (در دو عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی متری)، ریشه، اندام هوایی و دانه برنج در دو منطقه تحت تاثیر فاضلاب و

جدول شماره (۱): برخی خصوصیات شیمیایی آب آبیاری قبل و بعد از مخلوط شدن با فاضلاب شهری

فصل	تیمار	PH		EC میکرو موس بر سانتیمتر		Cd ppm		Pb ppm		Ni ppm		Cr ppm	
		۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲	۱	۲
بهار	شاهد	۸/۰۵	۷/۸۶	۶۷۹	۶۸۷	۲	۲	۱۹	۳۱	۷	۸	۱	۱
بهار	تیمار	۸/۲۰	۷/۹۵	۶۹۲	۸۶۰	۲/۵	۲/۵	۴۵	۳۹	۱۳/۵	۱۰	۲/۵	۲
تابستان	شاهد	۸/۰۴	۷/۹۳	۷۹۴	۶۹۳	۳	۲	۱۸	۲۶	۷	۱۱	۱	۳
تابستان	تیمار	۸/۰۲	۷/۹۵	۷۱۵	۸۸۴	۳	۴	۲۷	۲۹	۲۵	۱۵	۵	۴
پاییز	شاهد	۷/۸۶	۸/۰۲	۶۷۸	۶۸۶	۳	۲	۱۲	۲۲	۸	۹	۱	۴
پاییز	تیمار	۸/۰۳	۷/۹۸	۸۸۵	۸۶۴	۳	۲	۲۸	۲۴	۲۶	۱۴	۷	۵
زمستان	شاهد	۷/۴۶	۷/۸۵	۶۳۲	۶۰۸	۳	۲	۱۶	۲۸	۱۰	۸	۱	۲/۵
زمستان	تیمار	۸/۲۵	۸/۰۱	۷۵۳	۹۲۵	۳/۵	۲/۵	۳۲	۳۳	۱۷/۵	۹/۵	۳	۳/۵

شاهد: آب آبیاری که تحت تأثیر فاضلاب شهری قرار نگرفت

تیمار: آب آبیاری پس از مخلوط شدن با فاضلاب شهری

منطقه ۱: منطقه ۲

جدول شماره (۲): برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اراضی مورد بررسی

منطقه ۱		منطقه ۲		عناصر
شاهد	تحت تأثیر فاضلاب	شاهد	تحت تأثیر فاضلاب	
۷/۲۱	۷/۲۳	۷/۲۹	۷/۴۴	pH
۱/۰۱	۱/۲۶	۱/۰۹	۱/۰۸	EC میکرو موس بر سانتیمتر
۱۶/۳	۱۷/۸	۱۴/۷	۱۷/۱	T. N. V (درصد)
۲/۵۷	۲/۴۱	۳/۱۱	۳/۲۳	O. M (درصد)
۲۶/۰	۲۳/۲	۲۱/۳	۲۲/۳	CEC (سانتی مل بر کیلو گرم)
۳۳۰	۳۳۰	۳۰۰	۳۴۰	Clay (گرم بر کیلو گرم)

در نتیجه آبیاری مستمر با آب متأثر از فاضلاب شهری، میزان نیکل قابل جذب تا ۲ برابر و نیکل کل افزایش کمتری یافته است. همچنین کروم قابل جذب در منطقه ۱ به ۵ برابر و در منطقه ۲ قریب ۶۰ درصد افزایش یافت، اما مقدار کروم کل در منطقه ۲ به دو برابر افزایش یافته است (جدول شماره ۳). افزایش غلظت عناصر سنگین در اراضی آبیاری شده با فاضلاب شهری توسط ملاحسینی (۱۳۸۰)

و (Golovaty and Savchenko, 2002) نیز گزارش شده است. همچنین توسط (Carrillo and Cajuste, 1992) افزایش غلظت کادمیوم، کروم، سرب و نیکل در اراضی زیر آبیاری با فاضلاب شهری به ۲ برابر افزایش یافت و در بنگلادش نیز میزان کادمیوم و نیکل در خاک تا ۱۰ برابر بیشتر از شاهد بود (Kashen and Singh, 2001).

جدول شماره (۳): مقادیر کادمیوم، سرب، نیکل و کروم (کل و قابل جذب) در خاک (۰ تا ۱۵ سانتیمتری) اراضی مورد بررسی

عناصر	منطقه ۱		منطقه ۲	
	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل
کادمیوم	شاهد	تیمار	شاهد	تیمار
	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۱۱
سرب	شاهد	تیمار	شاهد	تیمار
	۲/۱۶	۲/۴۵	۲/۵۲	۳/۳۱
نیکل	شاهد	تیمار	شاهد	تیمار
	۰/۶۴	۱/۱۵	۰/۶۶	۱/۰۶
کروم	شاهد	تیمار	شاهد	تیمار
	۰/۰۷	۰/۱۷	۰/۱۰	۰/۱۶

ضمناً به دلیل عدم تمایل عناصر سنگین به جذب توسط سیلیکات‌های لایه ای، میزان کادمیوم، سرب، نیکل و کروم تجمع یافته افزایش چشمگیری نیافتند (Hickey and Kittrick, 1994). کادمیوم موجود در خاک با نیکل و کروم کل همبستگی مثبت معنی داری نشان داد ($r=0/726^*$) و با افزایش میزان کادمیوم، مقدار نیکل و کروم تجمع یافته افزایش نشان داد. در ضمن با افزایش نیکل کل خاک، مقدار کروم کل خاک نیز افزایش یافت (جدول شماره ۴).

بین ظرفیت تبادل کاتیونی، pH و عناصر سنگین (کل) تجمع یافته در افق سطح الارض همبستگی معنی داری مشاهده نشد. اما با افزایش مقدار آهک و مواد آلی، میزان سرب کل تجمع یافته در خاک افزایش یافته است (به ترتیب $r=0/761^*$ و $r=0/775^*$). سایر عناصر با مقدار آهک و مواد آلی همبستگی مثبت معنی داری نشان نداده اند (جدول شماره ۴). جذب و تجمع بیشتر عناصر سنگین در خاک در حضور آهک و مواد آلی توسط Cavallaro و Mebride (1978) نیز گزارش شد.

جدول شماره (۴): همبستگی بین خصوصیات خاک و عناصر سنگین با یکدیگر

کروم	نیکل	سرب	کادمیوم	
+۰/۲۵۲	-۰/۰۶۹	-۰/۰۶۹	+۰/۱۵۱	ظرفیت تبادل کاتیونی
-۰/۰۵۰	-۰/۱۱۳	-۰/۳۸۱	-۰/۱۲۳	pH
-۰/۰۴۴	-۰/۲۳۰	+۰/۷۶۱*	-۰/۳۷۷	مقدار آهک
-۰/۱۲۲	-۰/۱۷۶	+۰/۷۷۵*	-۰/۳۶۸	مواد آلی
+۰/۲۲۶	+۰/۱۲۳	-۰/۴۸۶	+۰/۴۸۹	رس
+۰/۷۲۶*	+۰/۸۹۵**	-۰/۱۵۱	۱/۰۰۰	کادمیوم
-۰/۱۶۳	+۰/۰۷۱	۱/۰۰۰		سرب
-۰/۷۰۵*	۱/۰۰۰			کروم

* معنی دار در سطح پنج درصد

** معنی دار در سطح یک درصد

۴۸/۹۶ میکرو گرم در گرم رسیده که در مقایسه با شاهد سه برابر افزایش یافته است. در اندام هوایی برنج و علف هرز که مورد استفاده دام ها قرار می گیرد میزان سرب تجمع یافته افزایش چشمگیری نشان داده و میزان آن در اندام هوایی برنج در منطقه ۲ از ۲/۷۶ در شاهد به ۱۲/۷ میکرو گرم در گرم در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری افزایش یافته است.

اما در اندام هوایی اسفناج میزان سرب تجمع یافته چندین برابر میزان آن در ریشه (قریب ۱۲ برابر) بوده که نشان دهنده جذب و انتقال بیشتر سرب در اسفناج نسبت به سایر گیاهان تحت کشت است.

همچنین در اندام هوایی علف هرز نیز میزان تجمع سرب بیشتر از ریشه بوده است (جدول شماره ۵). در دانه برنج میزان سرب تجمع یافته از ۰/۵ به ۱/۶ میکرو گرم در گرم (در منطقه ۲) افزایش یافت. تجمع قابل توجه سرب در اندام هوایی اسفناج و دانه برنج که عموماً مورد استفاده انسان است تقریباً نگران کننده است و نیاز به بررسی بیشتر دارد.

میزان کادمیوم موجود در ریشه برنج، اسفناج و علف هرز بیشتر از اندام هوایی و دانه برنج بوده است. در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری، میزان کادمیوم در ریشه ۲ برابر و اندام هوایی برنج تا ۶ برابر افزایش یافت (منطقه ۲).

به دلیل تحرک کم عناصر سنگین، میزان تجمع این عناصر در ریشه گیاهان بیشتر است (Cavallaro and Mebride, 1978). در ضمن شریعتی و همکاران (۱۳۶۸) نیز افزایش تجمع عناصر سنگین در ریشه، ساقه و دانه گیاهان در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری جنوب تهران را اندازه گیری کردند. این افزایش در اندام هوایی اسفناج و علف هرز کمتر بوده است. در دانه برنج، میزان کادمیوم تجمع یافته به ۰/۱۳ میکرو گرم در گرم رسیده که نسبت به شاهد تا ۱۳ برابر افزایش نشان می دهد (جدول شماره ۵).

مقدار سرب تجمع یافته در ریشه برنج بدلیل انتقال کم سرب به اندام هوایی و دانه (عبادی و همکاران، ۱۳۸۴; Mirele et al., 2004; Yediler et al., 1992) بیشتر از اندام هوایی و دانه برنج بود. بنابراین در ریشه برنج کشت شده در منطقه ۲ به قریب

جدول شماره (۵): مقدار کادمیوم، سرب، نیکل و کروم (میکرو گرم در گرم) در ریشه، اندام هوایی و دانه محصولات زراعی

مورد بررسی

کروم		نیکل		سرب		کادمیوم			
تیمار	شاهد	تیمار	شاهد	تیمار	شاهد	تیمار	شاهد		
۳۵/۶۰	۲۲/۱۰	۲۸/۳۰	۲۱/۱۰	۳۰/۸	۳۰/۴۰	۲/۱۰	۱/۶۰	ریشه	برنج (منطقه ۱)
۱۲/۸۰	۸/۸۰	۸/۲۰	۵/۰۰	۱۱/۲	۳/۵۰	۱/۳۰	۰/۴۰	اندام هوایی	
۳/۱۰	۲/۶۰	۱/۱۷	۰/۵۶	۰/۶۴	۰/۳۲	۰/۱۱	۰/۱۰	دانه	
۱۲/۴۰	۱۱/۵۰	۳/۷۹	۲/۸۷	۱/۵۷	۰/۹۱	۰/۶۰	۰/۰۱	ریشه	اسفناج (منطقه ۱)
۰/۳۰	۰/۰۱	۴/۵۰	۴/۰۰	۱۹/۳	۱۷/۰۰	۱/۱۶	۰/۸۳	اندام هوایی	
۴۷/۹۰	۲۳/۱۰	۲۵/۱۰	۱۶/۴	۴۸/۹۶	۱۳/۸۷	۱/۶۲	۰/۷۷	ریشه	برنج (منطقه ۲)
۲۲/۳۳	۱۰/۳۳	۸/۶۷	۳/۶۷	۱۲/۷۰	۲/۷۶	۰/۶۰	۰/۱۰	اندام هوایی	
۳/۰۲	۲/۲۶	۱/۱۳	۰/۵۴	۱/۶۰	۰/۵۰	۰/۱۳	۰/۱۰	دانه	
۲۱/۸۰	۶/۲۰	۱۵/۳۰	۲/۳۰	۶/۲۷	۱/۳۲	۱/۴۶	۰/۶۱	ریشه	علف هرز (منطقه ۲)
۵/۲۰	۳/۳۰	۵/۰۰	۳/۲۰	۶/۷۰	۴/۰۳	۱/۷۶	۱/۰۰	اندام هوایی	

تجمع کروم در شاهد ۸/۸ و ۱۰/۳۳ میکرو گرم در گرم به ترتیب در مناطق ۱ و ۲ بوده است. اما در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری به ترتیب به ۱۲/۸ و ۲۲/۳۳ میکرو گرم در گرم افزایش یافت (جدول شماره ۵). تجمع و افزایش میزان کروم در ریشه اسفناج قریب ۱۱/۵ میکرو گرم در گرم و در اندام هوایی آن بسیار کم بوده است. اما در علف هرز میزان کروم تجمع یافته در ریشه از ۶/۲ به ۲۱/۸ میکرو گرم در گرم و در اندام هوایی از ۳/۳ به ۵/۲ میکرو گرم در گرم افزایش یافت (جدول شماره ۵). ضریب انتقال سرب، کادمیوم، نیکل و کروم به دانه برنج به ترتیب افزایش یافت. اما در اندام هوایی اسفناج میزان انتقال کروم، نیکل، سرب و کادمیوم به ترتیب افزایش نشان داده است (جدول شماره ۶).

در دانه برنج میزان نیکل تجمع یافته کمتر از اندام هوایی و ریشه برنج و همچنین اندام هوایی و ریشه اسفناج و علف هرز بود. در ریشه علف هرز روئیده شده در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری میزان نیکل تجمع یافته قریب ۷ برابر نسبت به شاهد بود، اما در اسفناج و برنج افزایش خیلی کمتر و تقریباً ۱/۵ برابر بوده است. میزان نیکل تجمع یافته در دانه برنج در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری به قریب ۲ برابر افزایش یافت (۱/۱۷ میکرو گرم در گرم). میزان کروم جذب شده در ریشه گیاه برنج بیشتر از ریشه اسفناج و علف هرز بود (شاهد و تیمار) و در اراضی تحت تأثیر فاضلاب شهری، میزان کروم تجمع یافته در ریشه برنج به ۴۷/۹ میکرو گرم در گرم افزایش یافت (نسبت به شاهد تقریباً ۲ برابر شده است). در اندام هوایی برنج، میزان

جدول شماره (۶): ضریب انتقال فلزات سنگین از خاک به دانه برنج و اندام هوایی اسفناج

کروم		نیکل		سرب		کادمیوم		
T	C	T	C	T	C	T	C	
								دانه برنج
۰/۰۶۴	۰/۰۴۸	۰/۰۱۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۳	۰/۰۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	منطقه ۱
۰/۰۴۱	۰/۰۳۷	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	منطقه ۲
								اندام هوایی اسفناج
۰/۰۵۷	۰/۰۱۸	۰/۰۹۵	۰/۰۸۷	۰/۴۶۴	۰/۴۰۰	۰/۷۳۷	۰/۶۳۸	منطقه ۱
۰/۰۸۰	۰/۰۷۰	۰/۱۰۲	۰/۱۰۷	۰/۱۵۰	۰/۱۲۹	۲/۰۵۵	۱/۹۶۰	منطقه ۲

T=راضی که تحت تأثیر فاضلاب شهری قرار گرفتند C=راضی که تحت تأثیر فاضلاب شهری قرار نگرفتند

نتیجه گیری

کاربرد فاضلاب شهری در آب آبیاری موجب افزایش مقادیر کادمیوم، نیکل، سرب و کروم در خاک شد. میزان تجمع کروم بیشتر از سایر عناصر بود.

همچنین به دلیل وجود آهنک، واکنش خنثی، مواد آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی مناسب، میزان عناصر کل بالا بوده ولی میزان قابل جذب چندان بالا نبوده است. ضمناً به دلیل تحرک کم این عناصر میزان آن در ریشه بیشتر از اندام هوایی و دانه بود. به علاوه در اراضی

تحت تأثیر فاضلاب شهری میزان تجمع عناصر سنگین در اندام هوایی و دانه افزایش یافته و در برخی موارد تا ۷ برابر شده است. انتقال سرب، کادمیوم، نیکل و کروم به ترتیب به دانه برنج کاهش یافت. بنابراین در خاک‌های آهنکی با ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی متوسط، میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاهان در حد سمیت نبود اما استمرار این عمل ممکن است موجب افزایش بیشتر عناصر سنگین تا حد سمیت در خاک و گیاهان شد. بنابراین بررسی بیشتر و دقیق‌تر مورد پیشنهاد است.

منابع مورد استفاده

شریعتی م. ر. فرشی. ر. و گرکانی نژاد. ص. ۱۳۶۸. بررسی غلظت فلزات سنگین در محصولات کشاورزی و اراضی زراعی جنوب تهران. مجله خاک و آب، جلد ۵ شماره ۳ ص ۲۶۰ تا ۲۸۷.

شیرین فکر، ا.، کاووسی، م. و محبوب خمایی، ع. ۱۳۸۰، روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در برنج با توجه به فاصله از منابع آلودگی. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، ۷-۴ شهریور - شهرکرد.

عبادی، ف.، اسماعیل ساری، ع. و ریاحی بختیاری، ع. ر. ۱۳۸۴، میزان و نحوه تغییرات فلزات سنگین و اندام های گیاهان آبیاری و رسوبات تالاب میانکاله. مجله محیط شناسی، شماره ۳۷، بهار ص ۵۳ تا ۷۴.

ملاحسینی، ح. ۱۳۸۰، بررسی شدت آلودگی خاک‌ها و گیاهان تحت آبیاری با فاضلاب به عناصر سنگین. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، ۷-۴ شهریور - شهرکرد.

Al Enezi, G., Hamoda, M. F., Fawzi, N. 2004. Heavy metals content of municipal wastewater and sludges in Kuwait. *Journal of Environmental Science and Health*. A 39: 2, 397-407.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists*, 15th. Arlington, VA.

Baker, D. E., Amacher, M. C. 1982. Nickel, copper, zinc and cadmium. In *Methods of soil analysis*, eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, 323-336. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.

Carrillo, G. R., Cajuste, L. J. 1992. Heavy metals in soils and alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigated with three sources of wastewater. *Journal of Environmental Science and Health*. 27: 7, 1771-1783.

- Cavallaro, N., Mebride, M. B. 1978. Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. *Soil Science Society of American journal* 42: 550-555.
- Elfattah, A. A., Wada, K. J. 1981. Adsorption of lead, copper, zinc, cobalt and cadmium by soils that differ in Cation exchange materials. *Journal of Soil Science*. 32: 271-283.
- Golovatiy, S., Savchenk, S. 2002. Heavy metals as contaminants of agricultural lands of Belarus. 17th World Congress Soil Sci. Bangkok, Thailand. August 14-21.
- Hickey, M. G., Kittrick, J. A. 1984. Chemical partitioning of cadmium, copper, nickel and zinc in soils and sediments containing high levels of heavy metals *Journal of Environmental Quality*. 13: 372-386.
- John, M. K. 1972. Cadmium adsorption maxima of soil as measured by the Longmuir isotherm. *Canadian Journal of Soil Science*. 52: 343-349.
- Kabata-pendia A., Pendia, H. 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Boca Raton London, New Yourk, Washington, D.C., 413 pp.
- Kimberly, M. F. H., William, H. 1999. Trace metals in Montreal urban soils and the leaves of *Teraxacum officinale*. *Can. J. Soil Sci.* 79, 385-387.
- Lindsay, W. L., Norvell, W. A. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of American Journal*. 42: 421-428.
- Mireles, A., et al. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico city. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 219-220: 187-190.
- Nelson, R. E. 1982. Carbonate and gypsum. In *Methods of Soil Analysis*, eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, 181-198. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.
- Qingren, W., et al. 2001. Instances of soil and crop heavy metal contamination in China. *Soil and Sediment Contamination*. 10: 5, 497-510.
- Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. In *Methods of Soil Analysis*, eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, 149-158. American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.

Smith, S. R. 1996. Agricultural recycling of sewage sludge and the environment. CAB International, Wallingford, UK, 382pp.

Yadav, R. K., et al. 2002. Post-irrigation impact of domestic sewage effluent on composition of soils, crops and ground water – A case study. Environment International. 28: 481-486.

Yediler, A., et al. 1994. Fate of heavy metals in a land treatment system irrigated with municipal wastewater. Chemosphere, 28(2): 375-381.