Archive of SID

نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۲۹ / شماره ۲ / ۱۳۹٤

بررسی میزان برخی عناصر سنگین در خاک و گیاه کلزادر مزارع تحت آبیاری با پساب شهرک صنعتی آمل

سید محسن صیادمنش شیاده، مهدی قاجارسپانلو[۱*] و محمد علی بهمنیار

کارشناس ارشد علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

sayadmanesh@yahoo.com

دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

sepanlu@yahoo.com

استاد گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mali.bahmanyar@gmail.com

چکیده

به منظور بررسی اثر کاربرد پساب صنعتی، بر میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و کلزا ، مزارعی که به مدت هشت سال تحت اثر پساب تصفیه شده شهرک صنعتی آمل بودند انتخاب، و از آب آبیاری، خاک و همچنین از ریشه، ساقه، برگ و دانه کلزا نمونه‌برداری شد. سپس مقدار کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در نمونه‌های آب، خاک و اندام‌های کلزا تعیین گردید. داده ها بر اساس طرح آماری آزمایش فاکتوریل درقالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اختلاط پساب صنعتی با آب آبیاری موجب افزایش غلظت عناصر کروم، کادمیوم، سرب و نیکل در آب شد. pH آب آبیاری تحت اثر پساب کاهش یافت در حالی که EC افزایش نشان داد. بافت خاک مزارع مورد مطالعه لوم رسی سیلتی بود. پساب صنعتی تجمع عناصر سنگین در خاک را نیز افزایش داد که این افزایش برای برخی عناصر معنی‌دار بود. تحت اثر پساب مقدار تجمع کروم قابل جذب در مکانهای یک، دو و سه به ترتیب به ۰/۱۱، ۰/۱۴ و ۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت. تجمع عناصر سنگین مورد مطالعه در خاک سطحی(۲۰-۰) بیش از خاک تحت‌الارض(۴۰-۲۰) بود. مقدار کادمیوم کل و قابل جذب در بخش سطحی خاک شاهد به ترتیب به اندازه ۱/۰۷ و ۰/۱ میلی‌گرم برکیلوگرم بود و تحت اثر پساب در بیشترین افزایش در مکان سه به ۱/۴۸ و ۰/۱۶ میلی‌گرم برکیلوگرم رسید. نیکل و سرب نیز در اثر آبیاری با پساب افزایش یافتند. تجمع عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در اندام‌های کلزا تحت اثر پساب افزایش یافت. در مکان دو کروم موجود در اندام هوایی به ۲/۶۷ برابر و در برگ کلزا ۵۷/۴۵٪ نسبت به شاهد افزایش یافت. شاخص انتقال عناصر از خاک به اندام هوایی بیش از دیگر اندام‌ها بود. در برگ کلزا تجمع کروم و نیکل از حد مجاز بیشتر گردید. شاخص خطر عناصر مورد بررسی در دانه کلزا در اثر آبیاری با پساب صنعتی افزایش یافت. تجمع کادمیوم در دانه کلزا به حد خطرناک رسید.

واژه های کلیدی: پساب صنعتی، تجمع عناصر سنگین.

---

[۱] – آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

[*] – دریافت: اسفند ۱۳۹۳ و پذیرش: خرداد ۱۳۹٤

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه یکی از چالش‌های بزرگ در کشاورزی، ورود پساب‌ها به اراضی کشاورزی می‌باشد. پساب‌ها به عنوان منبعی برای تامین آب آبیاری مطرح میباشد، که در مناطق خشک از اهمیت بالایی برخوردار است. بارو و چانی (۱۹۷٤) گزارش کردند در نواحی خشک جهان مثل بخشی از ایالات جنوبی و غربی آمریکا، استرالیا و دیگر نقاط خشک دنیا برای آبیاری مزارع از پساب صنعتی استفاده می-شود. از طرف دیگر پساب به علت دارا بودن عناصر مغذی می‌تواند موجب افزایش عملکرد محصول گردد. پساب‌ها با توجه به داشتن مقادیر بالایی از عناصر مغذی مثل N, P, K می‌توانند در تامین نیاز تغذیه‌ای گیاهان مفید واقع شده و عملکرد محصولات را افزایش دهند (نظری و همکاران، ۱۳۸۵).

با این حال پساب‌ها با توجه به منبع آنها حاوی برخی ترکیبات می‌باشند که ورود آنها به خاک و به دنبال آن در گیاهان زراعی می‌تواند باعث ایجاد مشکلات بهداشتی برای انسان‌ها و بهم خوردن تعادل اکوسیستم شود، از جمله این عناصر می‌توان به عناصر سنگین اشاره نمود (برار و همکاران، ۲۰۰۰). بهمنیار (۲۰۰۸) با بررسی پساب صنایع نساجی بیان داشت اختلاط پساب با آب آبیاری موجب افزایش مقدار عناصر سنگین درآب آبیاری گردید.

پساب موجب تغییر در اسیدیته خاک و افزایش هدایت الکتریکی و شوری خاک تحت اثر پساب گردید (باقری، ۱۳۷۹). آبیاری با آب آلوده به پساب صنایع موجب افزایش مقدار Cd,Ni, Pb و Cr درخاک مزارع می‌شود (آیدینالپ و همکاران، ۲۰۰۵). بررسی اثر آبیاری مزارع برنج توسط آب مخلوط شده با پساب صنعتی در شهر چانگشو نشان داد کادمیوم کل با ۰/۱٦۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین و کروم کل با ۵۳/٤ میلی‌گرم برکیلوگرم بیشترین تجمع را داشت. در حالی که برای عناصر سنگین قابل عصاره‌گیری با DTPA سرب بالاترین مقدار را داشت. مقدار سرب کمی بالاتر از حد آستانه تعیین شده توسط سازمان ملی حفاظت محیط چین بود (هانگ و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعه‌ای در مکزیک در منطقه‌ای که بیش از ۸۰ سال با پساب آبیاری می‌شد نشان داد، کاربرد طولانی مدت پساب موجب افزایش مقدار قابل جذب عناصر سنگین در خاک گردید و ترتیب افزایش تجمع عناصر بصورت Pb› Ni› Cd› Cr بوده‌است.

مقدار هیچ یک از عناصر یاد شده بر اساس استانداردهای کشور مکزیک از حد مجاز تجاوز نکرد (مگدالنو و همکاران، ۲۰۱۱). خصوصیات خاک مثل ماده آلی، در صد آهک، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین نوع و مقدار رس خاک بر قابلیت جذب عناصرسنگین در خاک اثرگذار است (کاوالارو و مبراید ، ۱۹۷۸). آلودگی آب و خاک موجب آلودگی محصولات کشت شده می‌گردد (راتان و همکاران، ۲۰۰۵).

کوا و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند کاربرد پساب صنایع فلزی برای آبیاری برنج و سبزیجات موجب افزایش کروم در اندام‌های این گیاهان به مقدار ۲/۸ برابر بیش از حد مجاز گردید. همچنین اندازه‌گیری ضریب انتقال عناصر سنگین از ریشه به بخش هوایی نشان داد که روند این ضریب برای فلزات مختلف به صورت Cd> Cr>Pb است.

احمد و همکاران (۲۰۱۱) تحقیقی انجام دادند که طی آن گیاه کلزا توسط تیمارهای مختلفی از پساب شهری آبیاری گردید، افزایش درصد پساب در آب آبیاری موجب افزایش مقدار عناصر کروم، کادمیوم و سرب در اندام هوایی کلزا گردید. سرب در کلزا بین ۱/۵۲– ۰/۰۸ میلی‌گرم برکیلوگرم تجمع یافت، که در حد مجاز قرار داشت. کادمیوم نیز در اندام هوایی کلزا بین ۳/۱۵– ۱/۲٦ میلی‌گرم برکیلوگرم تجمع یافت. در تعدادی از نمونه‌ها مقدار کادمیوم از حد مجاز فراتر رفته است. در اندام هوایی کلزا مقدار کروم بین ٤/۱۲– ۲/۱٦ میلی‌گرم برکیلوگرم بود که مقدار کروم در اندام هوایی در محدوده مجاز قرار داشت. خورانا و اولاخ

www.SID.ir

Archive of SID

(۲۰۱۰) طی مطالعه‌ای به بررسی اثر پساب صنعتی در آبیاری بر مقدار عناصر سنگین در گیاهان ذرت و کلزا دریافتند، مقدار کادمیوم تجمع یافته در ذرت و کلزای آبیاری شده با پساب ۳/۵-۲ برابر بیشتر از گیاهان شاهد بود. مقدار نیکل تجمع یافته در گیاهان تحت اثر پساب ۱۳٦-۱٦٪ افزایش نشان داد. توزیع عناصر مورد بررسی در گیاهان یکنواخت نبود. بجز در مواردی چند، در اغلب موارد تجمع عناصر سنگین در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. با توجه به کاربرد گسترده کلزا در تهیه روغن خوراکی و با در نظر گرفتن نقش پررنگ روغن در سبد غذایی جامعه حفظ سلامت این محصول از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین در این تحقیق به بررسی اثر پساب صنعتی بر مقدار عناصر سنگین در خاک و گیاه کلزا پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کاربرد پساب صنعتی در افزایش تجمع کروم، کادمیوم، سرب و نیکل در خاک و گیاه کلزا، مزرعه‌ای واقع در پایین‌دست شهرک صنعتی آمل انتخاب گردید. این شهرک در بخش جنوبی شهرستان آمل واقع شده است. در این شهرک حدود ۲۵۰ واحد تولیدی در زمینه‌های مختلف، از جمله صنایع غذایی، نساجی، برق و الکترونیک، رنگ و مواد شیمیایی و صنایع فلزی فعال میباشد.

این شهرک دارای سیستم مرکزی تصفیه فاضلاب میباشد که فاضلاب واحدهای مختلف را مورد پالایش قرار میدهد. پساب خروجی از تصفیه‌خانه این شهرک برای مدت هشت سال بعد از اختلاط با یکی از شاخه‌های رود هراز برای آبیاری این اراضی استفاده می‌شد. ابتدا مزرعه تحت اثر پساب صنعتی با توجه به فاصله از محل ورود پساب به اراضی، به سه منطقه(با فاصله طولی ۱۰۰ متر) تفکیک گردید. براساس این تقسیم‌بندی فاصله از محل ورود پساب بلوکهای آزمایشی در نظر گرفته شد. منطقه یک به عنوان اولین بلوک در نزدیک‌ترین فاصله و منطقه سه (بلوک سوم) در دورترین فاصله از محل ورود پساب انتخاب شد.در این اراضی کلزا بعد از برداشت برنج در سطح وسیع کشت می-شود. جهت انجام نمونه‌برداری در منطقه مورد نظر، در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ زمینی به مساحت حدود دو هکتار تحت کشت کلزا انتخاب و با توجه به شرایط به سه منطقه همگن تقسیم گردید. بعد از برداشت محصول از خاک مزرعه نیز در عمق ۰-۲۰ و ٤۰-۲۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری انجام گردید. تجزیه آماری آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب بلوکهای کامل تصادفی که در آن فاکتور اول محل ورود پساب به اراضی با چهار سطح (۱- شاهد ۲- فاصله ۱۰۰ متر از محل ورود پساب ۳- فاصله ۲۰۰ متر از محل ورود پساب ٤- فاصله ۳۰۰ متر از محل ورود پساب) و فاکتور دوم عمق نمونه‌برداری با دو سطح (۱- عمق ۲۰-۰ و ۲- عمق ٤۰-۲۰ سانتیمتر) انجام شد.

در زمان رشد رویشی از برگ‌های بالغ و سالم گیاه و در زمان برداشت از ریشه، ساقه و دانه بطور مجزا درسه تکرار به صورت تصادفی و به میزان حدود ۵۰۰ گرم نمونه-برداری صورت پذیرفت. در مجاور مزرعه مورد نظر، زمینی که تحت اثر پساب صنعتی نبوده و از نظر شرایط و مدیریت (در اراضی مورد مطالعه کود اوره و کود فسفاته به عنوان پایه مصرف میشود برای سرک نیز کود اوره بکار میرود.

هم چنین از ریزمغذی‌ها بصورت برگپاشی استفاده میگردد) مشابه زمین مورد مطالعه بود به عنوان شاهد انتخاب و عمل نمونه‌برداری عیناً در آن نیز انجام شد. نمونه‌های گیاهی بعد از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شده و غلظت عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در نمونه‌ها توسط روش عصاره‌گیری خشک تعیین گردید AOAC،۱۹۹۰).ضمنا از پساب خروجی از شهرک، آب رودخانه قبل و بعد از اختلاط با پساب هر پانزده روز یکبار (از اول اردیبهشت تا مرداد) نمونه‌برداری صورت پذیرفت.نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه مورد آنالیز

www.SID.ir

Archive of SID

شیمیایی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول (۱) آمده-است.برای نمونه‌های خاک بافت، میزان ماده آلی، pH، کربنات کلسیم (نلسون، ۱۹۸۲) ظرفیت تبادل کاتیونی خاک (روادس، ۱۹۸۲) و درصد رس (گی و بادر، ۱۹۸۲) تعیین گردید جدول (۲). هم‌چنین مقدار کروم، کادمیوم، سرب و نیکل قابل جذب و کل تعیین شد (لیندزای و نورول، ۱۹۷۸). تجزیه و تحلیل نتایج توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. به منظور سنجش کیفیت دانه کلزای برداشت شده از زمین‌های تحت اثر پساب از نظر مقدار عناصر سنگین و خطر احتمالی حاصل از مصرف این محصولات برای انسان شاخصی به نام شاخص ریسک برای سلامتی انسان تعریف و محاسبه گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات شیمیایی پساب صنعتی و آب رودخانه قبل و بعد از اختلاط با پساب

ماه	نمونه آب	pH		EC(µS/cm)		Cr(ppb)		Cd(ppb)		Ni(ppb)		Pb(ppb)	
		A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
	۱	۷/۸۷	۷/۹۸	۴۸۰	۵۱۰	۱۶/۵	۱۶	۳	۳	۱۳	۸/۵	۲۵	۲۱/۵
اردیبهشت	۲	۷/۴۱	۷/۶	۸۹۸	۸۲۳	۱۸/۵	۱۷	۳/۵	۳/۵	۱۶/۵	۱۰/۵	۲۷/۵	۲۲/۵
	۳	۶/۲۱	۶/۰۴	۲۵۲۰	۲۷۲۱	۲۰	۱۹	۴/۵	۵/۵	۲۴	۱۱/۵	۳۱	۲۷
	۱	۸	۷/۸۷	۴۶۶	۴۲۸	۲۱	۲۳	۳	۳	۱۲	۹	۲۴/۵	۲۱/۵
خرداد	۲	۷/۳۶	۷/۵۳	۹۶۵	۸۵۹	۲۲	۲۴/۵	۳/۵	۳/۵	۱۴/۵	۱۳	۲۵	۲۶
	۳	۶/۸۷	۵/۸۵	۲۸۵۰	۲۴۳۰	۲۵	۲۸	۶	۵	۲۹	۲۶	۴۳	۴۲/۵
	۱	۷/۹۶	۷/۹۸	۴۷۲	۵۴۹	۲۷	۲۹/۵	۲/۵	۳	۸/۵	۱۳	۲۱/۵	۱۸/۵
تیر	۲	۷/۸	۷/۳۹	۹۰۶	۱۱۴۵	۲۷/۵	۳۱	۳/۵	۳/۵	۱۲/۵	۱۶/۵	۲۴	۲۳
	۳	۷/۲۹	۷/۶	۳۶۳۰	۳۳۴۰	۳۰/۵	۳۵/۵	۷	۶/۵	۲۹/۵	۲۸	۳۹/۵	۴۰
	۱	۸/۰۱	–	۵۳۶	–	۳۳	–	۳/۵	–	۸/۵	–	۲۰/۵	–
مرداد	۲	۷/۸۹	–	۱۲۱۴	–	۳۴/۵	–	۴	–	۱۴	–	۲۷/۵	–
	۳	۷/۲۱	–	۲۷۳۰	–	۳۵/۵	–	۵/۵	–	۲۶	–	۳۴	–

۱: آب آبیاری قبل از اختلاط با پسابA : اولین نمونه‌برداری در ماه۲؛ آب آبیاری بعد از اختلاط با پسابB : دومین نمونه‌برداری در ماه۳؛ پساب خروجی از شهرک صنعتی

جدول۲- برخی از خصوصیات خاک در منطقه مورد آزمایش

	٪Clay	pH	$٪CaCO_3$	٪O.C	CEC(meq/100g)
شاهد	۱۸/۹۲	۷/۶۲	۱۳/۸	۱/۰۸	۱۴/۶۲
مکان ۱	۲۳/۶۷	۷/۶۴	۱۱/۹۸	۱/۲۵	۱۵/۱۳
مکان ۲	۲۰/۳۷	۷/۷۲	۱۲/۱۳	۱/۳۵	۱۶/۵۶
مکان ۳	۲۵/۲۸	۷/۷۸	۱۱/۲۲	۱/۳۳	۱۵/۹۳

www.SID.ir

Archive of SID

این شاخص از فرمول $HQ = \frac{add}{RFD}$ محاسبه شد (راتان و همکاران، ۲۰۰۵).در این فرمول، HQ: شاخص خطر برای سلامتی انسان، RFD: مقدار رفرنس است و نشان دهنده حد مجاز جذب عناصر سنگین در یک روز توسط انسان میباشد. این مقدار برای سرب، نیکل، کروم و کادمیوم به ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۲، ۱/۵و ۰/۰۰۱ mg metal/kg bodyweight/day است (IRIS،۲۰۱۰)، add: میانگین جذب روزانه عنصر سنگین بر حسب mg metal/kg bodyweight/day است و از فرمول $add = \frac{mc*di}{bw}$ محاسبه میشود که mc: غلظت عنصر در گیاه (mg/kg) بر اساس وزن خشک، di: مصرف روزانه محصول است. با توجه به این که سرانه مصرف روغن در ایران ٤۹/۳۱ گرم است و درصد روغن در دانه کلزا نیز ٤۰٪ است برای تهیه ٤۹/۳۱ گرم روغن به ۱۲۳/۲۷ گرم دانه کلزا نیاز داریم. به این ترتیب مصرف روزانه کلزا در این مطالعه ۱۲۳/۲۷ گرم در نظر گرفته‌شد. bw: وزن بدن انسان است که در این مطالعه ۷۰kg در نظر گرفته شد. شاخص انتقال نیز از تقسیم مقدار عنصر در مقصد بر مقدار عنصر در مبداء بدست آمد (راتان و همکاران، ۲۰۰۵).

نتایج و بحث

اختلاط آب آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش غلظت عناصر کروم، کادمیوم، سرب و نیکل در آب شد.مقدار سرب در آب بیش از کروم بود. نیکل و کادمیوم نیز در مکانهای بعدی قرار داشتند. در ماههای مرداد و تیر افزایش غلظت عناصر در آب آبیاری در اثر پساب بیش از سایر ماهها بود.بعد از اختلاط با پساب صنعتی، میزان کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در آب آبیاری در مرداد ماه به ترتیب ٤/٥٤٪، ۱٤/۲۸٪، ٦٤/۷٪ و ۳٤/۱٤٪ افزایش نشان داد جدول (۱).

علی‌رغم افزایش مقدار عناصر سنگین مورد بررسی در اثر پساب صنعتی، مقدار این عناصر از حداکثر مجاز برای آبیاری، معرفی شده از سوی سازمان محیط زیست ایران(کروم= ۱، کادمیوم= ۰/۰۰۵، نیکل= ۲ و سرب= ۱ میلی‌گرم بر لیتر) تجاوز نکرد(حسینیان، ۱۳۷۷).همچنین پساب صنعتی موجب کاهش pH و افزایش EC آب آبیاری گردید.درصد رس در خاک منطقه از ۱۸/۹۲ تا ۲۵/۲۸٪ متغییر بوده است جدول (۲).

خاک مورد مطالعه واکنش pH بیش از هفت داشت. درصد آهک خاک در شاهد بیش از مناطق تحت اثر پساب بود. درحالی که اراضی تحت اثر پساب ماده آلی، و ظرفیت تبادل کاتیونی بیشتر از شاهد نشان داد که این مورد میتواند به مواد مادری تشکیل دهنده خاک مربوط باشد نتایج تجزیه واریانس عناصر سنگین در خاک در جدول (۳) آمده است. بر اساس این جدول چنین استنباط می‌گردد که تیمار آبیاری بجز در مورد کادمیوم کل که در سطح ۵٪ معنی‌دار بود برای شکل‌های کل و قابل جذب دیگر عناصر در سطح ۱٪ معنی‌دار شد عمق خاک نیز بر همه عناصر اثر معنی‌دار داشت. اما اثرات متقابل عمق خاک و تیمار آبیاری بر میزان کروم کل، کادمیوم کل و قابل جذب، نیکل قابل جذب وهمچنین سرب قابل جذب معنی‌دار نشد.

مقدار کروم کل تجمع یافته در خاک سطحی از ۳٤/٦ میلی‌گرم برکیلوگرم در شاهد به ۳۹/۱۷ میلی‌گرم برکیلوگرم در مکان دو از اراضی تحت اثر پساب افزایش یافت جدول (٤). تجمع کروم در اراضی شاهد و تحت اثر پساب اختلاف معنی‌دار داشتند، در حالی که مکان‌های یک، دو و سه تحت اثر پساب صنعتی با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. مقدار کروم قابل جذب در شاهد برابر ۰/۱ میلی‌گرم برکیلوگرم بود. استفاده از پساب صنعتی برای آبیاری مزارع موجب تجمع قابل ملاحظه کروم قابل جذب نسبت به شاهد گردید و مقدار تجمع کروم قابل جذب در مکانهای یک، دو

www.SID.ir

Archive of SID

و سه بترتیب به ۰/۱۱، ۰/۱٤ و ۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت جدول (٤).

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات فرم های قابل جذب و کل عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	Cr		Cd		Ni		Pb	
		کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
تیمار آبیاری	۳	۲۵/۸۵**	۰/۰۰۱**	۰/۰۷*	۰/۰۰۲**	۲۰/۱۳**	۰/۱۱۳**	۴/۳۱**	۰/۱۸۴**
عمق خاک	۱	۳۱/۴۲**	۰/۰۰۶**	۰/۶۴**	۰/۰۰۴**	۷۴۸۰/۶۳**	۰/۱۹**	۴۱۲۷/۲۳**	۶۳/۳۳**
عمق * آبیاری	۳	۲/۲۵^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۵^{ns}	۰/۰۰^{ns}	۷/۰۰*	۰/۰۰۳^{ns}	۱/۴۰*	۰/۰۵^{ns}
خطا	۱۶	۱/۲۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۰۶	۱/۵۶	۰/۰۰۴	۰/۳۰	۰/۰۱۷
ضریب تغییرات٪	-	۶/۵۵	۲۰	۱۹/۶۲	۱۶/۶۶	۵/۰۴	۲۷/۵۸	۵/۸۹	۲۰

** ، * و ns بترتیب نشانه اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول ۴- مقایسه میانگین کروم و کادمیوم کل و قابل جذب(میلی‌گرم‌برکیلوگرم)
تجمع یافته در مکان‌های مورد بررسی در دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی‌متری

تیمار آبیاری	Cr				Cd			
	۲۰-۰		۴۰-۲۰		۲۰-۰		۴۰-۲۰	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
شاهد	۳۴/۶۰^{b}	۰/۱۰^{c}	۳۲/۳۵^{b}	۰/۰۸^{a}	۱/۰۷^{b}	۰/۱۰^{c}	۱/۰۲^{b}	۰/۰۹^{b}
مکان اول	۳۸/۴۴^{a}	۰/۱۱^{b}	۳۷/۰۰^{a}	۰/۰۹^{a}	۱/۳۰^{ab}	۰/۱۵^{a}	۱/۱۷^{ab}	۰/۱۱^{a}
مکان دوم	۳۹/۱۷^{a}	۰/۱۴^{a}	۳۶/۰۰^{a}	۰/۰۹^{a}	۱/۴۸^{a}	۰/۱۳^{b}	۱/۲۷^{a}	۰/۱۱^{a}
مکان سوم	۳۸/۷۰^{a}	۰/۱۳^{a}	۳۶/۴۱^{a}	۰/۰۹^{a}	۱/۴۸^{a}	۰/۱۶^{a}	۱/۲۲^{a}	۰/۱۲^{a}

حرف یا حروف مشترک در هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی داربر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ میباشد

در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متر تجمع کروم کل در شاهد با مقدار ۳۲/۳۵ میلی‌گرم برکیلوگرم کمترین مقدار را داشت ولی در اراضی زراعی که توسط پساب آبیاری شده-بودند مقدار تجمع کروم نسبت به شاهد به اندازه ۱٤/۳۷٪، ۱۱/۲۸٪ و۱۲/۵۵٪ به ترتیب در مکانهای یک، دو و سه افزایش یافت. کروم قابل جذب در خاک تحت‌الارض در اثر آبیاری با پساب افزایش نشان داد ولی این افزایش معنی‌دار نبود جدول (٤). مقدار تجمع کروم کل و قابل جذب در بخش سطحی اراضی شاهد و تحت اثر پساب بیش از خاک زیرین بود.

مقدار کادمیوم کل در بخش سطحی خاک در شاهد با مقدار ۱/۰۷ میلی‌گرم برکیلوگرم کمترین سطح را دارد و در مکان اول آبیاری شده با پساب تجمع کادمیوم کل به ۱/۳ میلی‌گرم برکیلوگرم افزایش یافت. در مکانهای دو وسه تجمع کادمیوم به ۱/٤۸ میلی‌گرم برکیلوگرم رسید که نسبت به شاهد اختلاف معنی‌دار نشان داد. کادمیوم قابل جذب در شاهد با تجمع ۰/۱ میلی‌گرم برکیلوگرم کمترین مقدار را داشت و در اثر آبیاری با پساب صنعتی با افزایش معنی‌دار نسبت به شاهد به ۰/۱۵، ۰/۱۳ و ۰/۱٦ میلی‌گرم برکیلوگرم در مکانهای یک، دو و سه رسید. مقادیر ارائه شده برای کادمیوم کل در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متری خاک نیز نشان میدهد در اثر آبیاری با پساب صنعتی تجمع کادمیوم کل در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متری نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد و در مکانهای یک، دو و سه بترتیب با ۱٤/۷٪، ۲٤/۵٪ و ۱۹/٦٪ افزایش به ۱/۱۷، ۱/۲۷ و۱/۲۲ میلی‌گرم برکیلوگرم رسید. روند تغییرات برای کادمیوم قابل جذب نیز مشابه با کادمیوم کل بود و بین تیمار شاهد و تحت اثر پساب از نظر مقدار کادمیوم قابل جذب تفاوت وجود داشت ولی بین نقاط مختلف تحت اثر پساب تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید و عامل فاصله از مکان ورود پساب به مزرعه نقش مهمی در تجمع این عنصر در خاک نداشت.

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه مقدار کادمیوم در خاک سطحی و خاک تحت‌الارضی نشان می‌دهد که برای همه نقاط تجمع کادمیوم کل و قابل جذب در عمق۲۰-۰ سانتی‌متر بیش از عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متر بود. با توجه به جدول (٤) مقدار کروم کل موجود در خاک، هم در شاهد و هم در مکان‌های آبیاری شده با پساب صنعتی حدود ۳۰ برابر بیشتر از تجمع کادمیوم کل بود. این در حالی است که مقدار کادمیوم قابل جذب در همه نقاط بیشتر از مقدار کروم قابل جذب بود. با توجه به جدول (۵)، آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار تجمع نیکل خاک گردید. این روند هم برای خاک سطحی و هم برای خاک تحتانی صادق بود. در عمق ۲۰-۰ سانتیمتری خاک، تجمع نیکل کل در شاهد ۵۰/۰۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود و در مکانهای یک، دو و سه به ترتیب به ۵۰/٦٤، ۵۵/۰۳ و ۵٦/٤۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش یافت.

فرم قابل جذب نیکل در شاهد با ۰/٤۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار را داشت در اثر آبیاری با پساب صمقدار نیکل قابل جذب در خاک سطحی افزایش یافت که در بیشترین مقدار افزایش در مکان سه این عنصر با ۵۷/۱٤٪ افزایش نسبت به شاهد به ۰/۷۷ میلی‌گرم برکیلوگرم رسید.در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متری، در مکانهای یک، دو و سه مقدار نیکل کل نسبت به شاهد به ترتیب به اندازه ۱٤/۰۹٪، ۱۱/۰٦٪ و ۱۲/۲۷٪ افزایش نشان داد. در خاک تحت‌الارض مقدار تجمع نیکل قابل جذب بین شاهد و مکان آبیاری شده با پساب اختلاف معنی‌دار داشت. استفاده از پساب برای آبیاری مزارع موجب تجمع نیکل قابل‌جذب درعمق تحتانی به اندازه دو برابر بیشتر از شاهد گردید جدول (۵). تجمع نیکل کل و قابل جذب در عمق ۲۰-۰ بیشتر از عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. بجز در مکان اول آبیاری شده با پساب، تجمع نیکل کل در خاک سطحی بیش از دو برابر تجمع نیکل در خاک زیرین است. در مکان سه تجمع نیکل قابل جذب در خاک سطحی ۸۰٪ بیشتر از خاک زیرین بود.پساب صنعتی مقدار سرب کل را در خاک سطحی نسبت به شاهد افزایش داد ولی این افزایش برای مکان اول قابل توجه نبود جدول (۵). بالاترین افزایش تجمع سرب کل در خاک سطحی در اثر استفاده از پساب در مکان سه رخ داد که مقدار سرب کل از ۳٤/۳۳ میلی‌گرم برکیلوگرم در شاهد به ۳۷/۳۹ میلی‌گرم برکیلوگرم رسید.

برای سرب قابل جذب نیز پساب صنعتی بطور موثر موجب افزایش مقدار تجمع این عنصر در اراضی تحت اثر گردید. در عمق ٤۰-۲۰ سانتیمتری تجمع سرب کل در شاهد ۲۰/۹٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که در اثر آبیاری با پساب صنعتی به ۲۳/۸۷، ۲۳/۲۵ و ۲۳/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مکانهای یک، دو و سه افزایش یافت. برای فرم قابل جذب در خاک زیرین نیز روند افزایشی نست به شاهد مشاهده گردید. بیشترین افزایش تجمع شکل قابل جذب سرب در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متر در مکان سه بود که نسبت به شاهد به دو برابر رسید.

تجمع سرب نیز در بخش رویی خاک بیشتر از قسمت‌های زیرین بود. اختلاف تجمع بین خاک سطحی و زیرسطحی در مورد فرم قابل جذب سرب خیلی بیشتر از مقدار کل سرب بود. بطوری که مقدار قابل جذب سرب در خاک سطحی در شاهد ۱٦/۵ برابر و در مکانهای یک، دو و سه به ترتیب ۹/۳۱، ۱۰/۷۱ و ۹/۲۵ برابر بیشتر از خاک تحت‌الارض بود. مقایسه دو عنصر سرب و نیکل نشان می‌دهد که مقدار کل نیکل، هم در خاک سطحی و هم در خاک تحتانی بیشتر از سرب کل می‌باشد. ولی در مورد فرم شکل جذب این عناصر با توجه به جدول (۵) پیداست که در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری خاک مقدار قابل جذب سرب به مراتب بیشتر از نیکل قابل جذب است این در حالی است که در عمق ٤۰-۲۰ سانتی‌متر نیکل قابل جذب بیشتر از سرب میباشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- مقایسه میانگین نیکل و سرب کل و قابل جذب تجمع یافته در مکان‌های مورد بررسی در اعماق ۲۰-۰ و۴۰-۲۰

تیمار آبیاری	Ni				Pb			
	۲۰-۰		۴۰-۲۰		۲۰-۰		۴۰-۲۰	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
شاهد	۵۰/۰۲^{c}	۰/۴۹^{b}	۲۴/۷۶^{b}	۰/۲۶^{b}	۳۴/۳۳^{c}	۳/۱۵^{b}	۲۰/۹۶^{b}	۰/۱۸^{b}
مکان اول	۵۰/۶۴^{bc}	۰/۷۰^{a}	۲۸/۲۵^{a}	۰/۵۸^{a}	۳۵/۵۵^{bc}	۳/۶۱^{a}	۲۳/۸۷^{a}	۰/۳۵^{a}
مکان دوم	۵۵/۰۳^{ab}	۰/۷۱^{a}	۲۷/۵۰^{a}	۰/۵۴^{a}	۳۶/۱۰^{ab}	۳/۷۴^{a}	۲۳/۲۵^{a}	۰/۳۲^{a}
مکان سوم	۵۶/۴۳^{a}	۰/۷۷^{a}	۲۷/۸۰^{a}	۰/۵۹^{a}	۳۷/۳۹^{a}	۳/۶۹^{a}	۲۳/۵۰^{a}	۰/۳۶^{a}

حرف یا حروف مشترک در هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی داربر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ میباشد

با عنایت به این که مقدار عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در پساب صنعتی بیشتر از آب رودخانه بود، کاربرد پساب صنعتی برای آبیاری اراضی کشاورزی موجب افزایش تجمع این عناصر در خاک گردید. با توجه به دبی زیاد رودخانه مقدار این عناصر در آب آبیاری چندان بالا نبود و مقدار این عناصر از حداکثر مجاز برای آبیاری، معرفی شده از سوی سازمان محیط زیست ایران تجاوز نکرد. علی-غم این موضوع با درنظر گرفتن پویایی کم عناصر سنگین و ماندگاری طولانی مدت این عناصر در خاک، کاربرد متوالی و چندین ساله پساب در امر آبیاری میتواند موجب افزایش مقدار عناصر سنگین در خاک شده باشد.

در این بررسی همان‌طور که مشاهده میگردد مقدار کروم، کادمیوم، نیکل و سرب کل و قابل جذب در خاک سطحی بیشتر از خاک تحتانی بود. عناصر سنگین در خاک تحرک کمی دارند و اغلب توسط کلوئیدهای خاک تثبیت می‌شوند یا به صورت ترکیبات مختلف رسوب می‌کنند، به همین دلیل قابلیت تحرک و انتقال آنها به بخش‌های پایینی خاک کم می‌شود.خصوصیات خاک در انتقال عناصر سنگین به اعماق خاک نقش دارند خاک مورد مطالعه دارای pH بالا، و هم چنین مقدار رس نسبتا بالا می‌باشد که این عوامل به شدت بر قابلیت تحرک عناصرسنگین و توزیع عمودی فلزات سنگین در خاک اثرگذار هستند. یکی از عمده‌ترین راههای ورود عناصر سنگین به اراضی کشاورزی آبیاری با پساب صنعتی می‌باشد. آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش مقدار Cd, Ni, Pbو Crدرخاک گردید (میرلز و همکاران، ۲۰۰٤).میکولا و ایندک (۱۹۹۷) نیز به نتایج مشابه دست یافتند. آبیاری اراضی زراعی موجب شد، مقدار عناصر سنگین تا عمق ۱۵ سانتی‌متری افزایش عمده‌ای نشان دهد. بیشترین افزایش مربوط به تجمع کادمیوم بود که نسبت به شاهد ۲۳ برابر افزایش نشان داد (ملاحسینی، ۱۳۸۰).عناصر سنگین در خاک تحرک کمی دارند و اغلب در بخش‌های سطحی خاک حضور دارند (هودجی و جلالیان، ۱۳۸۳). بررسی مقدار سرب و کادمیوم کل و قابل جذب در دو عمق ۵-۰ و ۱۵-۵ سانتیمتری نشان داد که مقدار هر دو شکل کل و قابل جذب عناصر مذکور با افزایش عمق کاهش می‌یابند (مسعودی، ۱۳۹۰).

در اثر آبیاری اراضی کشاورزی با پساب صنعتی، تجمع عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در خاک مورد بررسی علی‌رغم این که روند افزایشی نشان داد، با مقایسه این مقادیر با حدود استاندارد تعیین شده از سوی آلویز (۱۹۹۰)، مقدار همه عناصر مورد بررسی از حد مجاز تجاوز نکرد و در محدوده تعیین شده قرار داشت. این در حالی است که برخی از محققین مثل آیدینالپ وهمکاران (۲۰۰۵) بیان داشتند در اثر آبیاری با پساب مقدار عناصر کادمیوم، کروم و سرب در خاک افزایش یافته و به بالاتر از حد مجاز تعیین شده از سوی EPA رسیده‌است.

مطابق مقادیر جدول (٦)، اثر تیمار آبیاری بر تجمع کروم در ریشه، اندام هوایی و برگ کلزا معنی‌دار گردید اما در دانه معنی‌دار نشد. تجمع کادمیوم تنها در دانه تحت تاثیر تیمار آبیاری قرار گرفت. تیمار آبیاری تجمع نیکل را در اندام‌های کلزا (ریشه، ساقه، برگ و دانه) تحت تاثیر قرار نداد. اثر منابع آب آبیاری بر تجمع سرب در برگ

www.SID.ir

Archive of SID

و دانه در سطح ۱٪ معنی‌دار گردید این عامل بر تجمع سرب در ریشه و اندام هوایی معنی‌دار نشد.تجمع کروم در ریشه کلزا و در تیمار شاهد برابر با ۱/۳۵ میلی‌گرم برکیلوگرم بود که تحت اثر پساب صنعتی در مکان‌های یک، دو و سه بترتیب به ۲/۷۸، ۲/۳۲ و۲/۵۱ میلی‌گرم‌برکیلوگرم افزایش یافت جدول (۷).

در اندام هوایی تجمع کروم در مکان یک نسبت به شاهد افزایش قابل توجهی نشان نداد ولی در مکان دو و سه کروم موجود در اندام هوایی به ترتیب به ۲/٦۷ و ۲ برابر افزایش یافت. تجمع کروم در برگ کلزا در بالاترین مقدار با ۲/۳۹ میلی‌گرم برکیلوگرم افزایش نسبت به شاهد به ٦/۵۵ میلی‌گرم برکیلوگرم در مکان دو رسید. این در حالی است که تجمع کروم در دانه کلزا رشد کرده در اراضی آلوده به پساب نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان نمی-دهد.بر اساس نتایج حاصل، مقدار تجمع کادمیوم در ریشه و اندام هوایی گیاه کلزا در زمین‌های تحت اثر پساب صنعتی نسبت به شاهد علی‌رغم نشان دادن روند افزایشی، تفاوت معنی‌داری نداشت. در حالی که در برگ کلزا تجمع کادمیوم در مکان یک و سه نسبت به شاهد به ترتیب به مقدار ۱۷/۱۷٪ و ۱٤/۰۵٪ افزایش یافت. در دانه کلزا نیز در اثر آبیاری با پساب صنعتی افزایش تجمع کادمیوم قابل توجه بود. در مکان سه تجمع کادمیوم دانه نسبت به شاهد ۱۰۰٪ افزایش نشان داد جدول (۷).

استفاده از آب آلوده به پساب صنعتی در آبیاری مزارع، موجب افزایش تجمع نیکل در ریشه و اندام هوایی و دانه کلزا نسبت به شاهد گردید، ولی این افزایش معنی‌دار نبود. تجمع نیکل در برگ و در مکان اول تحت اثر پساب افزایش معنی‌دار نشان نداد. ولی در مکان‌های دوم و سوم به ترتیب به اندازه ۸/۷۳٪ و ۸/۲٪ افزایش یافت. بر اساس جدول (۷) تجمع سرب در ریشه و اندام هوایی کلزا در اثر آبیاری با پساب صنعتی افزایش نشان داد. ولی این افزایش تنها در مکان دو نسبت به شاهد معنی‌دار بود. در این مکان سرب با ۲۳/۱۱٪ افزایش از ۱۵/۰۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به ۱۸/٤۸ میلی‌گرم‌برکیلوگرم رسید. تجمع کروم در برگ کلزا در بیشترین مقدار از ۲۱/۰۷ در شاهد به ۲۳/۷۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مکان سه افزایش یافت.

در دانه مقدار تجمع سرب در اراضی تحت اثر پساب به اندازه ٦/٤۸٪، ۵/۵۹٪ و ۳٦/۰۳٪ به ترتیب در مکانهای یک، دو و سه افزایش یافت.کاربرد آب ترکیب شده با پساب صنعتی در اراضی کشاورزی، افزایش غلظت عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب را در خاک به دنبال داشت.عناصر سنگین در خاک کم تحرک هستند و اغلب در منطقه سطحی خاک و در عمق نفوذ ریشه تجمع می‌یابند. با توجه به این موضوع، افزایش جذب عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب توسط کلزا، در اراضی آلوده دور از انتظار نیست.عناصر مختلف به یک اندازه جذب و در گیاه توزیع نشده‌اند. این موضوع شاید بدلیل جذب انتخابی عناصر توسط گیاهان باشد. در همه اندام‌ها سرب بیشترین تجمع را داشته و نیکل نیز در جایگاه دوم قرار داشت. در ریشه و برگ تجمع کروم بیش از کادمیوم بود در حالی که در ساقه و دانه کادمیوم از نظر مقدار تجمع سومین عنصر و کروم در جایگاه چهارم قرار داشت.

سیلانپا و جانسون (۱۹۹۲) بیان داشتند که بین مقدار عناصر سنگین در آب آبیاری، تجمع این عناصر در خاک و مقدار این عناصر در گیاه ارتباط مستقیمی وجود دارد. شیرین‌فکر و همکاران (۱۳۸۰) بیان نمودند تجمع عنصر سنگین نیکل در خاک و گیاهان برنج تحت کشت در اثر آبیاری با پساب صنعتی و شهری افزایش یافت. بررسی‌ها نشان داد که اندام‌های مختلف گیاهان آبیاری شده با پساب صنعتی مقدار بیشتری از عناصر نیکل، سرب و کادمیوم را نسبت به گیاهان آبیاری شده با آب لوله‌کشی جذب و ذخیره نمودند. مقدار افزایش تجمع برای عناصر مختلف متفاوت بوده‌است مثلاً در کلزا و ذرت آبیاری شده با پساب مقدار کادمیوم ۳/۵ برابر و مقدار نیکل ۱٦٪ نسبت به شاهد افزایش

www.SID.ir

Archive of SID

نشان داد. همچنین توزیع عناصر در اندام‌های گیاه یکنواخت نبود. در غالب موارد مقدار تجمع عناصر سنگین در ریشه بیش از اندام هوایی بود (خورانا و آولاخ، ۲۰۱۰). میرلز (۲۰۰٤) بیان نمود که به دلیل تحرک کم عنصر سرب، تجمع این عناصر در دانه گیاه برنج کمتر از سایر اندام‌ها بود.محققان برای بررسی توان گیاهان برای جذب و انتقال عناصر سنگین به اندام‌ها، عاملی را به نام شاخص انتقال ارائه نمودند. شاخص انتقال عناصر به اندام‌های کلزا در جدول (۸) آمده‌است. بر اساس این جدول شاخص انتقال عناصر سنگین به ریشه و اندام هوایی کلزا به صورت Pb ‹ Ni ‹ Cd ‹ Cr می‌باشد. انتقال کادمیوم از خاک به دانه کلزا بیشتر از انتقال سایر عناصر بود. کروم در جایگاه دوم انتقال و نیکل و سرب نیز به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند.مقایسه بین اندام‌ها نیز نشان می‌دهد که جز نیکل، شاخص انتقال دیگر عناصر مورد بررسی به اندام هوایی بیش از ریشه است. کمترین مقدار انتقال عناصر، از خاک به دانه کلزا بود.

بالا بودن شاخص انتقال عناصر سنگین به اندام هوایی کلزا، نشان می‌دهد این گیاه توان بالایی در استخراج عناصر سنگین از خاک دارد و این مورد یکی از ویژگی‌های مهم برای گیاهان به منظور استفاده در گیاه‌پالایی خاک می‌باشد. لیو و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی مقدار جذب عناصر کروم، کادمیوم و سرب توسط گیاهانی مانند کلم، جو، اسفناج بیان داشتند که فاکتور انتقال عناصر از خاک به گیاهان متفاوت است. کادمیوم در بین عناصر مورد بررسی بالاترین فاکتور انتقال را نشان داد. مقدار شاخص انتقال برای کروم و سرب تقریبا مساوی بود. وانگ و همکاران (۲۰۰٦) طی یک مطالعه نشان دادند که شاخص انتقال سرب از خاک به گیاهان ۱۰ برابر کمتر از کادمیوم بود و کادمیوم به علت قابلیت تحرک بیشتر شاخص انتقال بیشتری نسبت به سرب دارد.مقایسه مقادیر به دست آمده، برای کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در ریشه، اندام هوایی و برگ کلزا، با حد طبیعی و بحرانی این عناصر در گیاهان، ارائه شده توسط آلویز (۱۹۹۱) نشان می‌دهد، به جز مقدار کروم و نیکل در برگ، تجمع دیگر عناصر در محدوده مجاز قرار داشتند جدول (۹).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در اندام‌های کلزا تحت اثر منابع مختلف آب آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	Cr				Cd				Ni				Pb			
		ریشه	ساقه	برگ	دانه	ریشه	ساقه	برگ	دانه	ریشه	ساقه	برگ	دانه	ریشه	ساقه	برگ	دانه
تیمار آبیاری	۳	۰/۱۶۱ *	۶/۴۵ **	۳/۱۲ **	۰/۰۷ ^{ns}	۰/۱۸ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۲۵ ^{ns}	۰/۱۵ *	۰/۷۹ *	۰/۲۶ ^{ns}	۰/۶۲ *	۰/۰۴ ^{ns}	۹/۶۷ ^{ns}	۷/۰۰ ^{ns}	۴/۱۸ **	۰/۰۵ **
خطا	۸	۰/۲۵	۰/۵۳	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۳	۳/۴۷	۰/۲۴	۱/۲۶	۰/۱۴	۳/۴۷	۲/۱۹	۰/۱۷	۰/۲۶
ضریب تغییرات٪	–	۹۲/۲۸	۵۵/۹۳	۱۷/۱۱	۳۰/۹۸	۲۰/۱۲	۹/۱۷	۸/۱۹	۲۹/۴۱	۱۲/۳۱	۹/۱۲	۸/۶۹	۹/۹۱	۱۵/۹۴	۱۱/۵۰	۵/۰۴	۱۳/۹۰

**، * و ns به ترتیب به معنی، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و عدم وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد

جدول۷- مقایسه میانگین اثر تیمار های آبیاری بر مقدار عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در اندام های کلزا (میلی‌گرم برکیلوگرم)

تیمار آبیاری	Cr				Cd				Ni				Pb			
	ریشه	ساقه	برگ	دانه	ریشه	ساقه	برگ	دانه	ریشه	ساقه	برگ	دانه	ریشه	ساقه	برگ	دانه
شاهد	۱/۳۵^{b}	۱/۱۵^{b}	۴/۱۶^{c}	۰/۵۳^{a}	۱/۳۵^{a}	۲/۱۱^{a}	۳/۷۷^{b}	۰/۵۳^{b}	۵/۳۲^{b}	۵/۰۰^{ab}	۱۱/۳۳^{b}	۳/۳۶^{a}	۱۱/۷۹^{b}	۱۵/۰۱^{b}	۲۱/۰۷^{b}	۸/۰۲^{b}
مکان اول	۲/۷۸^{a}	۱/۶۲^{b}	۵/۹۶^{b}	۰/۶۶^{a}	۱/۵۴^{a}	۲/۴۵^{a}	۴/۴۳^{a}	۰/۹۵^{a}	۶/۲۹^{a}	۵/۱۹^{ab}	۱۱/۹۲^{ab}	۳/۵۴^{a}	۱۴/۲۲^{ab}	۱۵/۹۷^{ab}	۲۲/ ۳۸^{ab}	۸/۵۴^{b}
مکان دوم	۲/۳۲^{a}	۴/۲۳^{a}	۶/۵۵^{a}	۰/۸۹^{a}	۱/۷۴^{a}	۲/۳۱^{a}	۴/۰۷^{ab}	۰/۸۸^{a}	۶/۳۸^{a}	۵/۶۰^{a}	۱۲/۳۲^{a}	۳/۲۹^{a}	۱۶/۰۵^{a}	۱۸/۴۸^{a}	۲۳/۷۸^{a}	۸/۵۰^{b}
مکان سوم	۲/۵۱^{a}	۳/۴۶^{a}	۵/۷۶^{b}	۰/۷۸^{a}	۱/۹۳^{a}	۲/۳۱^{a}	۴/۳۰^{a}	۱/۰۶^{a}	۶/۳۸^{a}	۵/۵۸^{a}	۱۲/۲۶^{a}	۳/۵۴^{a}	۱۴/۸۹^{ab}	۱۵/۵۹^{ab}	۲۱/۶۰^{b}	۱۰/۹۱^{a}

حروف یاحروف مشترک در هرستون، نشانه عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ میباشد

www.SID.ir

Archive of SID

نکته قابل توجه این است که مقدار عناصر سنگین هم در شاهد و هم در اراضی تحت اثر پساب نسبتاً بالا بود هر چند در غالب موارد به حد سمیت نرسید. زیاد بودن مقدار جذب عناصر سنگین در منطقه شاهد نشان دهنده این است که علاوه بر پساب عوامل دیگری هم در جذب زیاد عناصر سنگین توسط گیاهان در منطقه نقش تعیین کننده دارد. در کل از جمله عوامل مهم در تعیین مقدار جذب عناصر سنگین توسط گیاهان، مواد مادری خاک و عوامل پدوژنیک می‌باشند که به نظر در منطقه مورد مطالعه این عوامل کنترل کننده تجمع عناصر در گیاه می‌باشد. برای تعیین وضعیت سمیت عناصر در دانه کلزا، از شاخص ریسک استفاده شد. در اثر آبیاری با پساب صنعتی شاخص خطر همه عناصر مورد بررسی در دانه کلزا افزایش یافت.علی‌رغم روند افزایشی، عناصر کروم، نیکل و سرب در دانه کلزا در حد مجاز قرار داشتند چرا که مقدار شاخص، کمتر از یک می‌باشد. در حالی که شاخص ریسک برای کادمیوم در دانه کلزا در اراضی تحت اثر پساب بیشتر از یک شده و از حد مجاز تجاوز نمود. مصرف این محصول می‌تواند فرد را با مخاطرات ناشی از سمیت کادمیوم مواجه کند. ترتیب شاخص ریسک در دانه کلزا بصورت Cr › Ni › Cd › Pb می‌باشد جدول (۱۰).

تیمار آبیاری کلزا توسط مقادیر مختلفی از پساب شهری نشان داد که تجمع کادمیوم در اندام هوایی کلزا در اثر آبیاری با پساب صنعتی به حد سمیت رسید (احمد و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعه‌ای در کویت نشان داد آبیاری اراضی کشاورزی توسط پساب صنعتی موجب افزایش تجمع کادمیوم در گیاهان گندم و جو به حد سمیت برای انسان و حیوانات برسد. ولی مقدار کادمیوم برای گیاه در حد سمیت نبود (الانزی و همکاران، ۲۰۰٤). ترابیان و بغوری (۱۳۷۳) بیان داشتند در مناطق جنوب تهران که درمعرض آبیاری با آب‌های آلوده به پساب شهری بود، مقدار کروم و کادمیوم در سبزیجات کشت شده بیشتر از حد مجاز بود.تعیین شاخص خطر عناصر کروم، کادمیوم و سرب برای برنج آبیاری شده با پساب صنعتی نشان داد، شاخص خطر اندازه‌گیری شده تنها برای کروم در دانه برنج به حد خطرناک رسید (هانگ و همکاران، ۲۰۰۹).

جدول ۸- شاخص انتقال عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب از خاک به اندام‌های کلزا

تیمار	ریشه				اندام هوایی				دانه			
آبیاری	Cr	Cd	Ni	Pb	Cr	Cd	Ni	Pb	Cr	Cd	Ni	Pb
شاهد	۱۳/۴۳	۱۲/۴۹	۱۰/۷۸	۳/۷۳	۱۸/۷۶	۱۷/۶۷	۱۰/۱۲	۴/۷۴	۵/۳۰	۵/۹۵	۵/۸۱	۲/۵۴
مکان اول	۲۳/۶۳	۹/۸۶	۸/۹۳	۳/۹۴	۱۷/۷۹	۱۵/۶۲	۷/۳۶	۴/۴۱	۵/۵۷	۶/۰۷	۵/۰۳	۲/۳۶
مکان دوم	۱۶/۳۰	۱۲/۳۳	۸/۸۷	۴/۳۱	۲۹/۷۹	۱۶/۹۰	۷/۷۹	۴/۹۴	۶/۳۰	۶/۴۸	۴/۵۹	۲/۲۷
مکان سوم	۱۸/۸۴	۱۲/۰۲	۸/۲۲	۴/۰۳	۲۵/۷۹	۱۴/۴۲	۷/۲۰	۴/۲۲	۵/۹۰	۶/۶۳	۴/۵۹	۲/۹۵

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- مقادیرحد طبیعی و حد بحرانی عناصر سنگین در گیاه (mg/kg)

عنصر سنگین	حد طبیعی در گیاه	حد بحرانی درگیاه
Cr	۰/۰۳-۰/۱۴	۵-۳۰
Cd	۰/۱-۲/۴	۵-۳۰
Ni	۰/۰۲-۵	۱۰-۱۰۰
Pb	۰/۲-۲۰	۳۰-۳۰۰

جدول ۱۰- شاخص خطر برای سلامتی انسان در اثر مصرف روغن کلزا

	Cr	Cd	Pb	Ni
شاهد	۰/۰۰۰۶	۰/۹۳	۰/۷۰	۰/۲۹
مکان اول	۰/۰۰۰۷	۱/۶۶	۰/۷۵	۰/۳۱
مکان دوم	۰/۰۰۱	۱/۵۴	۰/۷۴	۰/۲۸
مکان سوم	۰/۰۰۰۹	۱/۸۶	۰/۹۵	۰/۳۱

نتیجه‌گیری

ترکیب شدن پساب صنعتی با آب آبیاری موجب افزایش مقدار عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در آب آبیاری گردید. کاربرد این آب در آبیاری مزارع موجب افزایش مقدار عناصر مذکور در خاک شد. مقدار افزایش برای خاک سطحی بیش از خاک زیرین بود. علی‌رغم افزایش مشاهده شده، مقدار تجمع هیچ یک از عناصر در خاک به حد سمیت نرسید. با افزایش مقدار عناصر سنگین در خاک، جذب این عناصر توسط کلزا نیز افزایش یافت. به علت تحرک کم عناصر سنگین در گیاه، تجمع عناصر در ریشه بیش از سایر اندام‌ها بود. با توجه به حدود استاندارد تجمع کروم و نیکل در برگ کلزا از حد مجاز بیشتر شده-است. با توجه به نتایج حاصل، برای رفع آلودگی ایجاد شده و همچنین جلوگیری از گسترش آلودگی، عدم مصرف آب آلوده در امر آبیاری و همچنین اهتمام بیشتر در امر تصفیه پساب صنعتی قبل از رهاسازی در محیط توصیه می‌شود.

فهرست منابع

۱. باقری، م. ۱۳۷۹. اثر پساب و سیستم‌های آبیاری بر خواص فیزیکی، شیمیایی و آلودگی خاک تحت کشت چند محصول زراعی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۲٤ صفحه.

۲. ترابیان، ع. و و، بغوری. ۱۳۷۳. بررسی آلودگی ناشی از کاربرد پسابهای شهری و صنعتی در اراضی کشاورزی جنوب تهران. مجله محیط شناسی. شماره ۱۸. صفحه ٤٦-۳۳.

۳. حسینیان،م. ۱۳۷۷. مصارف مجددفاضلابهای صنعتی و شهری درکشاورزی، صنعت وپرورش ماهی. فرپاک مهندسین مشاور. ۱۰۳ ص.

٤. شیرینفکر، ا. م، کاووسی. و ع، محبوب خمامی. ۱۳۸۰. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در برنج با توجه به فاصله از منابع آلودگی. هفتمین کنگره علوم خاک ایران، ۷-٤ شهریور، شهرکرد.

۵. ملاحسینی، ح. ۱۳۸۰.بررسی شدت آلودگی خاکها وگیاهان تحت آبیاری با فاضلاب به عناصرسنگین. هفتمین کنگره علوم خاک ایران،۷-٤ شهریور. شهرکرد.

٦. مسعودی، ن. ۱۳۹۰. تعیین عناصر سرب، کادمیوم، مس و روی در خاک و برخی گیاهان حاشیه جاده (مطالعه موردی: جاده ساری- قائمشهر). پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه خاکشناسی- دانشکده علوم زراعی- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۸۳ صفحه

www.SID.ir

Archive of SID

۷. نظری، م، ع. ح، شریعتمداری. م، افیونی. م، مبلی. و ش، رحیلی. ۱۳۸۵ . اثر کاربرد پساب و لجن فاضلاب صنعتی بر غلظت برخی عناصر و عملکرد گندم، جو وذرت. علوم وفنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره سوم (الف) ۹۷-۱۱۰.

۸. هودجی، م. و ا. جلالیان. ۱۳۸۳. پراکنش نیکل، منگنز و کادمیوم در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۸ شماره ۳. صفحه ۵۵-٦٦.

9. Ahmad, K., A. Ejaz, M. Azam, Z. Khan, M. Ashraf, F. A. Qurainy, A. Fardous, S. Gondal, A. Bayat, and E. E. Valeem. 2011. Lead, cadmium and chromium contents of canola irrigated with sewage water. Pakistan Journal of Botany. 43(2): 1403-1410.
10. Alloway, B. 1990. Heavy metals in soils. John Wiley and Sons Inc., New York, PP: 20-27.
11. Al Enezi, G., M.F. Hamoda, and N. Fawzi. 2004. Heavy metals content of municipal wastewater and sludge in Kuwait. Journal of Environmental Science and Health. A 39: 2, 397-407.
12. AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of the Association of Official Analytical Chemists,15th.Arlington.
13. Aydinalp, C., E.A. Fitzpatric, and M.S. Cresser. 2005. Heavy metal pollution in some soil and water resources of Bursa Province, Turkey. Communications of Soil Science. 36: 1691-1716.
14. Bahmanyar, M.A. 2008. Cadmium, nickel, chromium, and lead level in soil and vegetables under long-term irrigation with industrial wastewater. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 39:2065-2079.
15. Barrow, N.J., and E. Chany. 1974. Difference among some North American soils in reaction with phosphate. Journal of Environmental Quality. 9: 644-648.
16. Brar, M.S., S.S. Mahli, A.P.Singh, C.L.Arora., and K.S. Gill. 2000**.** Sewer water irrigation effects on some potentially toxic trace elements in soil and potato plants in north western India. Journal of Soil Science. 80: 465–471.
17. Cavallaro, N., and M.B. Mcbride. 1978. Copper and cadmium adsorption characteristics of selected acid and calcareous soils. Soil Science Society of America Journal. 42: 550-555.
18. Cao, H. J. Chen, J. Zhang, H. Zhang, L. Qian, and Y. Men. 2010. Heavy metals in rice and garden vegetables and their potential health risks to inhabitants in the vicinity of an industrial zone in Jiangsu, China. Journal of Environmental Sciences. 22(11): 1792–1799.
19. Gee, G. W., and J. W. Bauder. 1982. Particle size analysis. In Method of soil analysis, part1, 2nd, Ed. A. Klut, 384-412. Madison, Wiscosin: American Society of Agronomy.
20. Hang, X., H. Wang, J. Zhou, C. Ma, C. Du and X. Chen. 2009. Risk assessment of potentially toxic element pollution in soil and rice in a typical area of Yangtze River Delta, Journal of Environmental pollution. 157: 2542-2549.
21. IRIS, 2010.Integrated Risk Information System-database, US Environmental Protection Agency.

www.SID.ir

Archive of SID

22. Khurana, M.P.S. and M.S. Aulakh. 2010. Influence of wastewater application and fertilizer use on the quality of irrigation water, soil and food crops: case studies from Northwestern India. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 75-78.
23. Liu, W.H., J. Z. Zhao, Z.Y. Ouyanq, L. Soderland and G.H. Liu. 2005. Impact of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environmental International, 31: 805-812.
24. Lindsay, W.L., and W.A. Norvell. 1978. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. 42: 421-428.
25. Magdaleno, F.O., R.M.Villa, E.M. Saenz, D.C.O. Bolanos, and A.L.B. Olivas. 2011. Heavy metals in agricultural soils and irrigation wastewater of Mixquiahuala, Hidalgo, Mexico. African Journal of Agricultural Research, 6(24), 5505-5511.
26. Mireles, A., C. Solis, E. Andrade, M. Lagunas, C. Pina, and R. G. Flocchini. 2004. Heavy metal accumulation in plant and soil irrigataed with wastewater from Mexico City. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B, 219: 187-190.
27. Mikula, W., and I. Indek. 1997. Heavy metals in allotment gardens close to an oil refinery in Plock. Journal of Water, Air and Soil Pollution. 96:61-68.
28. Mojiri, M. 2011. Effects of municipal wastewater on accumulation of heavy metals in soil and wheat (*Triticumaestivum* L.*)* with two irrigation methods. African Journal of Agricultural Research, 6(6), 1413-1417.
29. Munir, J., M. Rusan, S. Hinnawi, and L. Rousan. 2007. Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. Desalination. 215: 143-152.
30. 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.
31. Nelson, D.W., and L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, organic matter. In Method of soil analysis. American Society of Agronomy. 2: 539-575.
32. Ratan, R.K, S.P. Data, P. K. Chhonkar, K. Suribabu, and A. K. Singh. 2005. Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-a case study. Agriculture, Ecosystems and Environment, 109: 310–322.
33. Rhoades, J. D. 1982. Cation exchange capacity. In Methods of Soil Analysis, Chemical and mineralogical Properties, eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney, 149-165. Madison, Wisc:ASA, SSSA.
34. Sillanppa, M., and H. Jansson. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt, and selenium in soils and plant of thirty countries. FAO soils Bulletin Rome. Italy. 65p.
35. Wang, G., M.Y. Su, Y. H, Chen, F.F. Lin, D. Luo, and S.F. Gao. 2006. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edibleparts of six vegetable species in southeastern China. Journal of Environmental Pollution, 144 .127-135.

www.SID.ir