

Cadmium, Lead and Arsenic Concentration in Soil and Underground Water and its Relationship with Chemical Fertilizer in Paddy Soil

Hajar Boudaghi,
Masoud Yunesian,
Amir Hossein Mahvi,
Mahmood Ali Mohammadi,
Mohammad Hadi Dehghani,
Shahrokh Nazmara

Department of Environmental Health, Faculty of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received February 23, 2011 ; Accepted December 18, 2011)

Abstract

Background and purpose: Fertilizer is one of the sources of heavy metal contamination in soil and underground water. The purpose of this study was to investigate the concentration of cadmium, lead and arsenic in paddy soil and underground water and its relationship with chemical fertilizer in Ghaemshahr City.

Materials and methods: During the spring and summer in 2010, samples of soil were randomly collected from the soil (depth of 0-30cm) and the underground water 20 days before and 20 days after fertilizing. Three composite samples of three highly consumed fertilizers were also collected. After heavy metal contents (As, Cd and Pb) in soil were extracted by acid digestion method (HNO₃, HCl, and H₂O₂), samples of water (filtration), samples of fertilizer (by acid digestion method), concentration of cadmium, lead and arsenic in water, in soil and fertilizer were measured by inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES, made in Germany).

Results: The results showed that heavy metal concentration in underground water was zero and it was lower than universal standards in paddy soil. However, it was found that Cd concentration in Triple Super Phosphate Fertilizer was higher than CDFA standard. The only significant relationship was observed between the amount of Potash fertilizer and cadmium concentration in the soil ($P < 0.05$).

Conclusion: Due to the highest concentration of Cd in Phosphate fertilizer, it seems that the lands that used more Potash fertilizer, the less phosphate fertilizer has been used. However, the positive relationship between the Phosphate and Potash fertilizer shows no specific reason behind it. Given that heavy metal concentration in the water was zero, no relationship was observed between the amount of heavy metals in the soil and water as well as the amount of heavy metals in the fertilizer and water.

Key words: Arsenic, cadmium, lead, paddy soil

بررسی میزان آرسنیک، کادمیوم و سرب در خاک و آب زیرزمینی و ارتباط آن با کود شیمیایی در خاک شالیزاری

هاجر بوداغی

مسعود یونسیان

امیرحسین محوی

محمودعلی محمدی

محمدهادی دهقانی

شاهرخ نظم آرا

چکیده

سابقه و هدف: کود شیمیایی یکی از منابع آلاینده فلزات سنگین برای خاک و آب زیرزمینی می باشد. هدف از این مطالعه تعیین میزان آرسنیک، کادمیوم و سرب در خاک شالیزاری و آب زیرزمینی و ارتباط آن با کود شیمیایی در شهرستان قائم شهر می باشد.

مواد و روش ها: به طور تصادفی ۲۰ نمونه قبل و ۲۰ نمونه بعد از کوددهی از خاک (عمق ۳۰-۰ cm) و آب زیرزمینی در بهار و تابستان ۱۳۸۹ نمونه برداری گردید و ۳ نمونه مرکب از ۳ کود پرمصرف هم تهیه شد آنگاه پس از نمونه های خاک (هضم با اسید نیتریک، اسید هیدروکلراید، آب اکسیژنه)، نمونه های آب (صاف کردن) و نمونه های کود (هضم با اسید نیتریک) عصاره گیری شد و غلظت آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd) و سرب (Pb) آب، عصاره خاک و کود توسط دستگاه ICP-OES (ساخت آلمان) اندازه گیری شد.

یافته ها: با توجه به نتایج به دست آمده غلظت فلزات سنگین در آب صفر و در خاک پایین تر از استاندارد جهانی بوده است. تنها در کود سوپرفسفات تریپل غلظت Cd بیشتر از مقدار استاندارد CDFA بوده است. از بین سه کود مصرفی تنها رابطه معنی دار بین میزان کود مصرفی پتاس با غلظت کادمیوم در خاک ($p < 0/05$) مشاهده شد.

استنتاج: با توجه به بیشتر بودن غلظت کادمیوم در کود فسفات به نظر می رسد که در مزارعی که کود پتاس بیشتری استفاده شده مقدار کود فسفات کمتری استفاده شود ولی با توجه به ارتباط مثبت بین کود فسفات و کود پتاس ($p < 0/05$)؛ علت این امر همچنان نامشخص است. با توجه به غلظت فلزات سنگین در آب (صفر)، هیچ گونه رابطه ای بین مقدار فلزات سنگین در خاک با آب و مقدار فلزات سنگین کود با آب مشاهده نشد.

واژه های کلیدی: آرسنیک، کادمیوم، سرب، خاک شالیزاری

مقدمه

منجر به تجمع فلزات در خاک می شود (۲). فلزات سنگین نگران کننده در کود شامل As، Cd، Pb و به میزان کمتر Ni و Zn بوده (۳) که استفاده مداوم از کود دارای As و خاک آلوده به آن، از طریق جذب گیاه به زنجیره

در جایی که باروری ذاتی خاک کم است، اغلب کشاورزان تمایل به افزایش مصرف کود در چندین نوبت دارند (۱). دفع زیادهای شهری و صنعتی، گازهای خروجی خودرو، فعالیت های معادن و شیوه های کشاورزی

E-mail: ahmahvi@yahoo.com

مؤلف مسئول: امیرحسین محوی - تهران: دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، گروه مهندسی بهداشت محیط
گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۴ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۹۰/۴/۱ تاریخ تصویب: ۹۰/۹/۲۷

غذایی منتقل می‌گردد (۴). قرار گرفتن در معرض Pb، Cd و As تهدید اصلی برای سلامت انسان می‌باشد (۵). کودها ضمن حاصلخیزی خاک سبب آلودگی محیط‌زیست نیز می‌شوند (۶). بنابراین به عنوان یکی از منابع آلاینده فلزات سنگین تبدیل شده که برای سلامتی انسان و محیط زیست زیان‌بار است (۷). در طولانی مدت غلظت As، Cd، در خاک کشاورزی توسط کاربرد کود فسفاته افزایش می‌یابد به عنوان مثال سالانه یک گرم در هکتار Cd و به‌طور متوسط حدود ۳ گرم در هکتار As در خاک یافت می‌شود (۹، ۸). عواملی نظیر اندازه ذرات خاک و عمر خاک در تعامل با منابع آلودگی در جذب عناصر نقش اساسی دارند (۱۰). Cd در حال حاضر به عنوان آلاینده در کود فسفاته شناخته شده است (۱۱). کاربرد زیاد از حد کود فسفاته ممکن است نه تنها باعث افزایش فسفر خاک، بلکه منجر به تجمع فلزات سنگین در خاک کشاورزی شود (۱۲). As در کود، غلظت باقی مانده بیشتری در خاک را سبب می‌شود (۱۳). مصرف بی‌رویه کود و سموم شیمیایی از جمله عوامل آلودگی و ناپایداری خاک در مازندران می‌باشد. متوسط غلظت Cd و Pb در نمونه‌های خاک در کره به ترتیب ۰/۴ و ۱۴ mg/kg بوده است (۱۴). محدوده Cd خاک بین ۰/۴-۱/۴۶ mg/kg بوده است (۱۵). مقدار متوسط Cd خاک در شالیزارهای خرم‌آباد ۰/۱۸۲ mg/kg بوده است (۱۶). محدوده As خاک شالیزاری در بنگلادش ۰/۳-۴۸/۸ mg/kg به‌دست آمد (۱۷). میانگین غلظت Cd و Pb در خاک شالیزاری چین ۰/۶۶ و ۵۵/۸ mg/kg بوده است که آبیاری زمین شالیزاری با آب رودخانه دلیل اصلی تجمع بالای فلز مزبور است (۱۸). خاک شالیزاری بعضی از مناطق دارای پتانسیل آلودگی به فلزات سنگین می‌باشد (۱۹). غلظت Pb و As در خاک شالیزاری کنار رودخانه در چین از استاندارد ملی بیشتر بوده است (۲۰). میانگین غلظت Cd کل در شالیزارهای اصفهان، فارس و خوزستان

۰/۴۵ mg/kg بوده است (۲۱). در آب زیرزمینی متوسط مقدار Pb (۰/۰۱۴) و Cd (۰/۰۲۵ mg/l) می‌باشد و همبستگی معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین با میزان مصرف کودها مشاهده نشد (۲۲). غلظت Cd، Pb در خاک منطقه صنعتی آمل به ترتیب 1241 ± 50 و $16/1351 \pm 127$ میکروگرم بر گرم خاک به‌دست آمد (۲۳). غلظت cd، pb، As بر حسب mg/kg به ترتیب در کود سولفات پتاسیم ۰/۰۴، ۴/۲۸ و ۰/۲۴ و در کود سوپر فسفات تریپل ۵ و ۰/۲۴ می‌باشد (۲). همبستگی معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین با میزان مصرف کودها مشاهده نشد (۲۴). میزان cd و سرب خاک چین به ترتیب در محدوده ۰/۴-۰/۰۴ و ۰/۴-۵۰/۴ mg/kg است (۲۵). متوسط غلظت کادمیوم برنج خام در شمال ایران ۰/۳۴ mg/kg بود و این در حالی است که غلظت کادمیوم خاک به تدریج از ۳۳ به ۳۴ mg/kg طی سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ افزایش یافته است (۲۶، ۲۷). بالاترین غلظت فلزات سنگین در آب مربوط به فلز Pb بوده (۲۸). ترکیب کود سوپر فسفات‌ها عمدتاً مونوکسید فسفات بوده، مقدار کمی نیز فسفات‌های آهن، آلومینیوم و دی کلسیم فسفات در آن‌ها به‌صورت ناخالص وجود دارد (۲۹، ۲۹). این کودها در آب محلولند اما حلالیت آن‌ها نسبت به کودهای ازته بسیار کمتر است (۲۹). سولفات پتاسیم در درجه حرارت معمولی حدود ۱۲ درصد در آب حل می‌شود (۳۰) و علاوه بر پتاس دارای ۱۸ درصد گوگرد (عنصر پر نیاز گیاه از جمله برنج) است (۳۱). اوره حدود ۴۶ درصد ازت بوده است و خورنده و جاذب رطوبت نبوده است (۲). غلظت Cd در کود سوپر فسفات ساده، تریپل و اوره به ترتیب ۳/۱، ۸/۱ و ۰/۱ mg/kg < بوده است (۳۲). در انگلستان، محدوده غلظت Cd و Pb (بر حسب mg/kg) در کود فسفاته به ترتیب ۱۷۰-۰/۱ و ۲۲۵-۷ و در کودهای نیتروژنه به ترتیب ۸/۵-۰/۰۵ و ۲۷-۲ می‌باشد. غلظت Cd در کود سولفات پتاسیم ۰/۰۴ و در

خاک لومی متنوع است (۳۷). متوسط بارش سالانه ۵۹۸ میلی-متر برای دوره کشاورزی (سال ۸۹-۸۸) می‌باشد (۳۸). مرکز وحدت یکی از مناطق فعال به لحاظ تولید ارقام برنج پرمحصول مثل شیرودی، ندا، خزر و... که میزان تولیدشان (Kg/ha) بیشتر از ارقام محلی است، در شهرستان قائم‌شهر می‌باشد و مطالعه حاضر نیز بر روی این ارقام صورت گرفته است. فصل رشد برنج از اواسط بهار شروع و تا مرداد الی شهریور، بسته به شرایط آب و هوایی ادامه دارد. استفاده از کود ازته برای برنج، یکی قبل از کاشت و دیگری در میان مراحل رشد (سه مرحله) لازم است ولی عموماً کود فسفره و پتاس قبل کاشت به کار برده می‌شود.

ب) استراتژی نمونه برداری

شهرستان قائم‌شهر از نظر کشت برنج به ۲ منطقه (کوهستانی و دشتی) و ۵ مرکز کشاورزی (بیشه‌سر، قراخیل، علی‌آباد، کیاکلا، وحدت) تقسیم شده است. از آنجایی که کشت برنج پرمحصول در منطقه دشتی بیشتر است از بین ۲ مرکز تحت پوشش با توجه به وضعیت توپوگرافی، شیب‌زمین، جنس خاک، مرکز وحدت انتخاب گردید آنگاه با توجه به این که در مطالعات اجمالی خاک، از هر ۲ کیلومتر مربع یک نمونه خاک برداشت می‌شود (۳۹). بنابراین از ۴۰۰۳ هکتار سطح زیر کشت برنج پرمحصول در مرکز وحدت (۳۷)، تعداد ۲۰ نمونه جهت نمونه‌برداری انتخاب شد. سپس با توجه به وضعیت منابع تأمین آب کشاورزی منطقه، تعداد چاه‌ها را به‌طور تزییدی جمع و به هر کدام به‌طور تصادفی شماره‌ای داده شد و در نزدیکی منابع چاه، زمین شالیزاری (پرمحصول) جهت نمونه برداری خاک در نظر گرفته شد. آنگاه تعداد بیست نمونه مرکب قبل از کوددهی و بیست نمونه دیگر بعد از کوددهی (در این تحقیق جهت کمترین تأثیر سموم دفع آفات، نمونه‌گیری بعد از کوددهی: قبل از سرک سوم و در زمان

کودسولفات فسفات تریپل ۶/۷۴ mg/kg می‌باشد. غلظت حداکثر Cd در کود سوپر فسفات تریپل mg/kg ۶/۷۴ که از استاندارد CDFA^۱، USDA^۲ و کانادا بیشتر بوده است. غلظت Pb در کود سولفات پتاسیم ۴،۲۸ و در کود سولفات فسفات تریپل ۵ mg/kg می‌باشد (۳۴،۳۳). میزان Cd و Pb در کود اوره به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۳/۷۱ mg/kg بوده است (۸). حداکثر Cd در کود فسفاته در استرالیا ۱۳۰، اتریش ۷۵، بلژیک ۹۰، دانمارک ۴۷، کانادا ۲۰، فنلاند ۲۱/۵، آلمان ۴۰، نروژ ۴۳ و سوئیس ۲۱ mg/kg بوده است (۳۵). غلظت Pb در کود سوپر فسفات ساده (۹/۹)، تریپل (۵/۷) و در کود اوره mg/kg ۰/۳ بوده است (۳۲). حرکت و قابلیت دسترسی زیستی فلزات موجود در خاک‌ها به خواص فیزیکوشیمیایی فلز و خاک بستگی دارد (۲). در ژاپن از بیماری ایتا ایتا و میناماتا به سبب مصرف برنجی که در خاک آلوده به Cd و Hg تهیه‌شده، گزارش شده است (۳۶). برنج محصول غالب کشاورزی شهرستان قائم‌شهر می‌باشد بنابراین کیفیت برنج، تا حد زیادی سلامت انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۹). هدف از این مطالعه بررسی غلظت Cd، As و Pb در خاک شالیزاری (برنج پرمحصول)، آب زیرزمینی کشاورزی و سه کود پرمصرف در مرکز کشاورزی وحدت شهرستان قائم‌شهر قبل و بعد از به کارگیری کود کشاورزی در فصل زارعی ۱۳۸۹-۱۳۸۸ و همچنین تأثیر کود بر فلزات سنگین مزبور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

الف) مطالعه مکان

قائم‌شهر یکی از مناطق فعال کشاورزی کشت برنج در استان مازندران (شمال ایران) است. سطح زیر کشت برنج در شهرستان ۱۵۶۵۰ هکتار در سال (سال ۸۸-۸۷) بوده است. بافت خاک شامل لومی-رسی-شنی به

1. CDFA: California Department of Food and Agriculture
2. USDA: United States Department of Agriculture

۲۱۴/۴۳۸-۲۲۰/۳۴۳ نانومتر اندازه گیری شد. جهت کسب اطلاعات مورد نیاز از کشاورزان در خصوص نوع، میزان و نحوه مصرف کود، سطح زیر کشت و ... پرسشنامه تهیه شد. تجزیه و تحلیل آماری مقایسه فلزات سنگین قبل از کوددهی و پس از آن (قبل از کاربرد کود سرک سوم) با استفاده از نرم افزار SPSS 11.5 انجام شد.

یافته ها

الف) فلزات سنگین-آب: نتایج به دست آمده از اندازه گیری غلظت آرسنیک، کادمیوم و سرب در نمونه های آب چاه (محدوده عمق چاه ها ۷۰-۱۱ متر) با دستگاه ICP-OES نشان داد که در هر دو مرحله نمونه برداری غلظت هر سه فلز صفر بوده است. pH آب چاه ها در زمان نمونه برداری در محدوده ۷/۱ الی ۷/۴ بوده است.

ب) فلزات سنگین- خاک: غلظت فلزات، حداقل و حداکثر غلظت آن ها در خاک قبل و بعد کوددهی (قبل از سرک سوم) مطابق جدول شماره ۱ و ۲ می باشد. با توجه به آنالیز خاک شناسی موجود در منطقه؛ متوسط هدایت الکتریکی ۱/۲ (۱/۷۸-۰/۴۳)، متوسط pH خاک ۷/۸ (۸/۵-۷/۳۴) بوده است (۳۷).

حداقل مصرف سموم دفع آفات انجام شد) از خاک (۸-۶ نقطه زمین به صورت زیکزاک در عمق ۳۰-۰) (۴۰) و ۲۰ نمونه از آب کشاورزی در سال کشاورزی ۸۸-۸۹ قبل از کوددهی و ۲۰ نمونه دیگر بعد از کوددهی تهیه شد همچنین برای ارزیابی غلظت فلزات سنگین در کود، از سه کود پرمصرف منطقه نیز ۳ نمونه مرکب تهیه گردید. یک کیلوگرم نمونه خاک و حدود $1 \pm 0/5$ لیتر نمونه آب در هر نمونه برداری مورد نیاز بود. نمونه های خاک را در مجاورت هوا خشک نموده، سپس با هاون کوبیده و از الک ($\leq 2mm$) رد و در کیسه برچسب دار قرار دادیم نمونه آب چاه را در بطری ریخته، پس از برچسب گذاری، با اسید نیتریک غلیظ pH آب را به $2 <$ رسانده در شرایط خنک نگهداری گردید. پس از عصاره گیری نمونه های خاک (هضم با اسید نیتریک، اسید هیدروکلراید، آب اکسیژنه)، نمونه های آب (صاف کردن با کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲) و نمونه های کود (هضم با اسید نیتریک) (۴۴-۴۱) توسط دستگاه ICP-OES (ساخت کشور آلمان با دقت ppb) پس از کالیبره شدن دستگاه، با منحنی کالیبراسیون سنجش (۴۵) و غلظت فلزات سنگین (آرسنیک، کادمیوم و سرب) آب، عصاره خاک و کود را به ترتیب در طول موج ۱۸۹/۰۴۲-

جدول شماره ۱: مقدار غلظت As، Pb و Cd خاک قبل و بعد از کوددهی در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه قائم شهر در سال زراعی ۸۸-۸۹

شماره نمونه	غلظت در خاک بر حسب (mg/kg)						شماره نمونه	غلظت در خاک بر حسب (mg/kg)					
	Cd		Pb		As			Cd		Pb		As	
	قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد		قبل	بعد	قبل	بعد	قبل	بعد
۱	۰/۰۰۲	۰/۰۳	۰/۱۰۲	۰/۲۵	۰/۰۰۳	۱۱	۰/۰۴۵	۰	۰/۴۵	۰/۱۰۲	۰/۲۵	۰/۰۰۲	
۲	۰/۰۰۳	۰/۲۵	۰/۰۹۹	۰/۲	۰/۰۰۱	۱۲	۰/۰۵	۰	۰/۴۵	۰/۰۹۹	۰/۲۵	۰/۰۰۳	
۳	۰/۰۰۱	۰/۲۵	۰/۰۹۵	۰/۲	۰/۰۰۱	۱۳	۰/۰۴۸	۰	۰/۴۵	۰/۰۹۵	۰/۲۵	۰/۰۰۱	
۴	۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۰۶۶	۰/۲	۰/۰۰۳	۱۴	۰/۰۵۲	۰	۰/۴	۰/۰۶۶	۰/۲	۰/۰۰۵	
۵	۰/۰۰۵	۰/۲	۰/۰۷۴	۰/۲	۰/۰۰۳	۱۵	۰/۰۴۷	۰	۰/۴	۰/۰۷۴	۰/۲	۰/۰۰۵	
۶	۰/۰۰۵	۰/۲۵	۰/۰۸۵	۰/۲	۰/۰۰۱	۱۶	۰/۰۴۶	۰	۰/۴	۰/۰۸۵	۰/۲۵	۰/۰۰۵	
۷	۰/۰۰۷	۰/۲	۰/۰۸۷	۰/۲۵	۰/۰۰۵	۱۷	۰/۰۵	۰	۰/۴	۰/۰۸۷	۰/۲	۰/۰۰۷	
۸	۰/۰۰۶	۰/۳	۰/۱۰۳	۰/۲۵	۰/۰۰۳	۱۸	۰/۰۴۶	۰	۰/۵۵	۰/۱۰۳	۰/۳	۰/۰۰۶	
۹	۰/۰۰۴	۰/۲۵	۰/۰۸۶	۰/۲۵	۰/۰۰۳	۱۹	۰/۰۴۸	۰	۰/۴	۰/۰۸۶	۰/۲۵	۰/۰۰۴	
۱۰	۰/۰۰۴	۰/۲	۰/۰۹۳	۰/۱	۰/۰۰۴	۲۰	۰/۰۵	۰	۰/۴	۰/۰۹۳	۰/۲	۰/۰۰۴	
			۰/۰۸۹	۰/۲۲۵	۰/۰۰۳	میانگین							

جدول شماره ۲: حداقل و حداکثر غلظت As، Cd و Pb خاک قبل و بعد از کوددهی در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه قائم شهر در سال زراعی ۸۸-۸۹

	فلزات (mg/kg)		
	کادمیوم	سرب	آرسنیک
قبل	حداقل	۰/۰۶۶	۰/۰۰۱
	حداکثر	۰/۱۰۳	۰/۰۰۷
بعد	حداقل	۰/۳	۰/۱
	حداکثر	۰/۵۵	۰/۳
تغییر غلظت	حداقل	۰/۲۰۳	۰/۰۹۶
	حداکثر	۰/۴۴۷	۰/۲۹۸

ج) فلزات سنگین - کود: غلظت As، Cd و Pb در سه کود مورد آنالیز طبق جدول شماره ۳ به شرح زیر می باشد: سوپرفسفات تریپل < سولفات پتاسیم > اوره و غلظت کادمیوم در کود اوره صفر بوده است.

جدول شماره ۳: غلظت As، Cd و Pb در سه کود پرمصرف مورد استفاده در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه قائم شهر در سال زراعی ۸۸-۸۹

	فلز (mg/kg)		
	کادمیوم	آرسنیک	سرب
اوره	۰	۰/۰۲	۰/۰۱
سوپرفسفات تریپل	۵/۲۳	۱/۴۷	۲/۹۸
سولفات پتاسیم	۰/۱۵	۰/۱۸۷	۱/۰۴۷

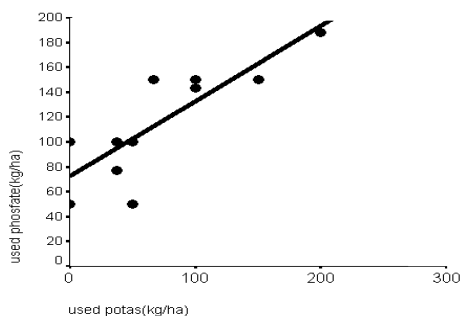
د) کود مصرفی: کل کود مصرفی اوره، فسفات و پتاس در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه قائم شهر در سال زراعی ۸۸-۸۹ برای ارقام پر محصول به ترتیب برحسب kg برابر ۸۷۰۰، ۳۰۸۵ و ۱۳۵۵ و میانگین کود مصرفی برای کود اوره، فسفات و پتاس مطابق جدول شماره ۴ می باشد. درصد سطح زیر کشت برنج پرمحصول در ۲۰ نمونه مورد بررسی به کل مساحت زیر کشت در منطقه وحدت (مورد مطالعه) برابر ۱/۰۲ درصد بوده است. سطح زیر کشت ارقام برنج محلی و پرمحصول در منطقه مورد مطالعه ۲۰ و ۸۰ درصد می باشد. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کادمیوم خاک قبل از کوددهی و پس از آن (قبل از سرک سوم) به ترتیب برابر صفر و ۰/۰۴۹ mg/kg بوده است. متوسط غلظت آرسنیک خاک های مورد مطالعه قبل کوددهی، بعد کوددهی (قبل

از سرک سوم) و تغییر غلظت به ترتیب ۰/۰۰۳، ۰/۲۲۵ و ۰/۲۲۲ mg/kg بوده است. متوسط غلظت سرب خاک های مورد مطالعه قبل، بعد کوددهی و تغییر غلظت به ترتیب ۰/۰۸۹، ۰/۴ و ۰/۳۱۷ mg/kg بوده است.

با توجه به غلظت As، Cd و Pb در کود اوره، فسفات و پتاس (جدول شماره ۳) و همچنین میانگین کودهای مصرفی (جدول شماره ۴)؛ در صورتی که هر سه فلز در کودها فقط جذب خاک شوند میانگین As، Cd و Pb اضافه شده به خاک شالیزاری منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۷۹، ۵۷۸ و ۳۹۸ mg/ha/y خواهد بود (جدول شماره ۴). پس از محاسبه P-value جهت تعیین رابطه بین کود مصرفی و غلظت فلزات سنگین مشاهده شد که بین کود پتاس و فلز کادمیوم ارتباط معنی داری وجود دارد. بدین ترتیب که با افزایش کود پتاس، کادمیوم خاک کاهش یافته است ($p < 0.05$) و بین کود پتاس با کود فسفات مصرفی در خاک شالیزاری نیز رابطه مثبت وجود دارد ($p < 0.05$) (نمودار شماره ۱). همچنین با افزایش مصرف کود پتاس، مصرف کود اوره کاهش یافته است.

جدول شماره ۴: مقدار احتمالی فلز اضافه شده (mg/ha/y) به سیستم خاک شالیزاری قائم شهر در اثر فرآیند کوددهی

	میانگین کود مصرفی (kg/ha)			فلز اضافه شده به خاک (mg/ha/y)		
	اوره	فسفات	پتاس	کادمیوم	آرسنیک	سرب
	۲۷۲	۱۱۰	۶۳	۵۷۸	۱۷۹	۳۹۸



نمودار شماره ۱: مقایسه مصرف کود پتاس و فسفات در خاک شالیزاری قائم شهر

بحث

هیچ اطلاعاتی در خصوص مقادیر زمینه‌ای معمول برای خاک ایران وجود ندارد. غلظت Cd، As و Pb قبل و بعد کوددهی کمتر از استاندارد غلظت (Cd ≤ 0.3 mg/kg)، As (≤ 30 mg/kg) و Pb (≤ 200 mg/kg) در خاک چین بوده است (۱۵) و میانگین غلظت Cd و Pb از میانگین آن‌ها در نواحی صنعتی همدان کمتر بود (۴۶) و غلظت آرسنیک از غلظت استاندارد قوانین پیشگیری خاک شالیزاری ژاپن (< 15 mg/kg) کمتر بوده است (۴۷). مقدار کود اوره و فسفات مصرفی ۱/۱ و ۲/۲ برابر بیشتر از توصیه کوددهی بوده است. به طور کلی، تغییر غلظت سرب خاک (قبل و بعد کوددهی) از آرسنیک بیشتر بوده و کادمیوم حداقل تغییر را دارا بوده است. رسوبات جوی، کود و لجن از منابع مهم سرب در خاک‌های کشاورزی می‌باشند (۴۸). با مقایسه نرخ فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه با برخی از کشورها و متوسط اروپا مشاهده شده که نرخ آرسنیک (0.179 g/ha/y) از نرخ آن در هلند ($3/2$)، دانمارک ($1/1$)، انگلستان ($10-0.9$) و متوسط اروپا (۲) کمتر بوده است و نرخ کادمیوم (0.578 g/ha/y) از نرخ آن در هلند ($1/3$)، انگلستان ($6/1-0.7$)، متوسط اروپا ($1/9$) کمتر و از دانمارک ($0/3$)، فنلاند ($0/2$) بیشتر بوده است. نرخ سرب (0.398 g/ha/y) از کلیه کشورهای مورد نظر کمتر بوده است. غلظت آرسنیک در کود اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب 0.02 ، $1/47$ و 0.187 میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آمد همچنین غلظت کادمیوم در کودهای مورد نظر 0.00 ، $5/23$ و 0.015 میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت سرب هم به ترتیب 0.001 ، $2/98$ و $1/047$ میلی‌گرم در کیلوگرم است. نتایج نشان داد که غلظت فلزات سنگین مورد نظر از استانداردهای موجود در جهان کمتر بوده است. غلظت کادمیوم در سوپر فسفات تریپل و کود اوره از کادمیوم کودهای شیمیایی مصرفی در آبخوان شوش

و اندیمشک کمتر (اوره = 0.03 و سوپر فسفات تریپل = $12/2$ mg/kg) است (۲۴). تنها غلظت کادمیوم در کود شیمیایی سوپر فسفات تریپل از غلظت استاندارد CDFA (4 mg/kg) بیشتر بوده است و تنها رابطه معنی‌دار بین میزان کود مصرفی پتاس با غلظت کادمیوم در خاک ($p < 0.05$) مشاهده شد که می‌توان فرمول زیر را برای غلظت کادمیوم خاک با توجه به کود مصرفی پتاس چنین نوشت:

$$\text{Cd (mg/kg)} = \text{Constant} - (1.96 * 10^{-5}) * \text{kg/ha potas}$$

غلظت کادمیوم در کود اوره صفر بوده که عملاً کاربرد این کود نباید در افزایش یا کاهش کادمیوم افزوده به سیستم خاک، آب و گیاه تأثیر داشته باشد. با توجه به بیشترین غلظت کادمیوم در کود فسفات به نظر می‌رسد که در مزارعی که کود پتاس بیشتری استفاده شده، مقدار کود فسفات کمتری استفاده شود ولی با توجه به ارتباط مثبت بین کود فسفات و کود پتاس ($p < 0.05$) (نمودار شماره ۱)؛ علت این امر همچنان نامشخص است.

در نهایت در مطالعه حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اگرچه غلظت فلزات سنگین در خاک و آب قبل از کوددهی و پس از آن از استاندارد تجاوز نموده است ولی استفاده مکرر از سموم و کودهای شیمیایی در کشاورزی رایج، افزایش سطح فلزات سنگین در خاک‌های کشاورزی را سبب می‌شود از طرفی با توجه به نتایج، پر واضح است که غلظت کلیه فلزات سنگین (As، Cd و Pb) در طول یک سال زراعی افزایش یافته است. در این تحقیق نمونه‌گیری بعد کوددهی، قبل از سرک سوم و حداقل استفاده از سموم دفع آفات انجام شد که در صورت نمونه‌برداری بعد از برداشت محصول، تأثیر کاربرد سموم شیمیایی بر غلظت فلزات خاک و آب نیز قابل تأمل است. در بیشتر موارد نیز مشاهده گردید که کودهای مورد استفاده بدون تاریخ تولید و انقضاء بوده که به دلیل کاهش اثربخشی محصول، کشاورزان مجبور به استفاده بیش از اندازه کود بوده‌اند که متعاقب

پایش صاحبان زمین بر عملکرد کشاورزان و آموزش کشاورزان پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

از همکاران محترم آزمایشگاه گروه مهندسی بهداشت محیط دانشکده بهداشت تهران جهت همکاری با این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

آن آلودگی محیط‌زیست را به دنبال دارد. در راستای راهکارهای مدیریتی کاهش اثرات سوء زیست محیطی کودهای شیمیایی، آزمایش خاک اراضی کشاورزی جهت تعیین نیاز واقعی زمین شالیزاری به کود، توزیع کودهای شیمیایی مجاز و استاندارد از طریق ارگان‌های دولتی، تنظیم استاندارد ملی و استانی، استفاده از کودهای شیمیایی سازگار با محیط زیست، نظارت و

References

- Pacheco J, Marin L, Cabrera A, Steinich B, Escolero O. Nitrate temporal and spatial patterns in 12 water-supply wells, Yucatan, Mexico. *Environ Geol* 2001; 40(6): 708-715.
- Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, Homae M, Yunesian M, Ahmadimoghaddam M, et al. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environ Monit Assess* 2010; 160(1): 83-89.
- McCauley A, Jones C, Jacobsen J. Commercial fertilizers and soil amendments. *Nutr Manage Module* 2009; 10: 4449-4410.
- Brent Clothier RB, Bolan NS, Mahimairaja S, Greven M, Moni Ch, Marchetti M, et al. Arsenic in the New Zealand environment. Australian New Zealand Soils Conference, 5-9 December 2004, University of Sydney, Australia. [CDROM]. 2004
- Jarup L. Hazards of heavy metal contamination. *Brit Med Bull* 2003; 68(1): 167.
- Kelly J, Tate R. Effects of heavy metal contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter. *J Environ Qual* 1998; 27(3): 609-617.
- Rui Y, Shen J, Zhang F. Application of ICP-MS to determination of heavy metal content of heavy metals in two kinds of N fertilizer. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi* 2008; 28(10): 2425.
- Molina M, Aburto F, Calderon R, Cazanga M, Escudey M. Trace element composition of selected fertilizers used in Chile: phosphorus fertilizers as a source of long-term soil contamination. *Taylor & Francis* 2009; 18(4): 497-511.
- McBride M, Spiers G. Trace element content of selected fertilizers and dairy manures as determined by ICP-MS. *Commun Soil Sci Plan Analysis* 2001; 32(1): 139-156.
- Yazdi M, Behzad N. Heavy metals in the soil of the Islam Shahr Urban Area, South of Tehran. *Environ Sci* 2007; 4(2): 73-83 (Persian).
- Jiao Y, Grant CA, Bailey LD. Effects of phosphorus and zinc fertilizer on cadmium uptake and distribution in flax and durum wheat. *J Sci Food Agr* 2004; 84(8): 777-785.
- Ju X, Kou C, Christie P, Dou Z, Zhang F. Changes in the soil environment from excessive application of fertilizers and manures to two contrasting intensive cropping systems on the North China Plain. *Environ Pollu* 2007; 145(2): 497-506.
- Campos V. Arsenic in groundwater affected by phosphate fertilizers at Sao Paulo, Brazil. *Environ Geol* 2002; 42(1): 83-87.
- Byong-Gu K, Seong-Jin P, Gu-Bok J, Min-Kyeong K, Gun-Yeob K, Suk-Young H, et al.

- Characteristics of soil heavy metal contents in the agricultural areas near closed mine in Korea. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 2010.
15. Dong WQY, Cui Y, Liu X. Instances of soil and crop heavy metal contamination in China. Taylor & Francis 2001; 10(5): 497-510.
 16. Matinfar H, Malaki A. Assessment of heavy metals in water, paddy soil and product Khorramabad (Iran). The first Regional Conference on Water, 2007 (Persian).
 17. Islam M, Jahiruddin M, Rahman G, Miah M, Farid A, Panaullah G, et al. Arsenic in paddy soils of Bangladesh: levels, distribution and contribution of irrigation and sediments, 2005.
 18. Zhong L, Liu L, Yang J. Assessment of heavy metals contamination of paddy soil in Xiangyin county, China. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 2010.
 19. Zhao K, Liu X, Xu J, Selim H. Heavy Metal Contaminations in a Soil-Rice System: Identification of Spatial Dependence in Relation to Soil Properties of Paddy Fields. J Hazard Mater 2010.
 20. Xin-ying Z, Yong L, Hao-dong W, Jin-gao W. Heavy Metal Contamination in Paddy Soil and Rice Along Dahuan River in Banli Village of Hechi, Guangxi. J Agro-Environ Sci 2010; S1.
 21. Pirzadeh M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh A, Khademi H. Cadmium in paddy soils and rice in Isfahan, fars and Khuzestan provinces. 2nd Conference of Environmental Engineering. 2008 (Persian).
 22. Babaei A. Study the groundwater quality of Shush and Andimeshk plains and effect of fertilizers application on them, 2005 (Persian).
 23. Amouei AI, Mahvi AH, Naddafi K, Hajian K. Effect of chemical additives on the availability of heavy metals (Pb, Cd, Zn) in soil. J Babol Univ Med Sci 2005; 7(4): 26-31 (Persian).
 24. Nouri J, Mahvi A, Jahed G, Babaei A. Regional distribution pattern of groundwater heavy metals resulting from agricultural activities. Environ Geol 2008; 55(6): 1337-1343.
 25. Zhao K, Zhang W, Zhou L, Liu X, Xu J, Huang P. Modeling transfer of heavy metals in soil-rice system and their risk assessment in paddy fields. Environ Earth Sci 2009; 59(3): 519-527.
 26. Khani MR, Malekoti MJ. Survey of cadmium changes in soils and rice of rice fields in north of Iran. J Soil and Water 2000; 12(9): 19-26.
 27. Khani MR, Malekoti MJ. Survey of relation between cadmium and phosphorus in rice field soils in the north of Iran. J Soil and Water 2000; 12(9): 12-18.
 28. Shokrzadeh M, Saeedi Saravi SS. The study of heavy metals (zinc, lead, cadmium and chromium) in Water sample from Gorgan Cost (Iran), Spring 2008. Toxicol Environ Chemist 2009; 91(3): 405-407.
 29. Poor Saadat M. Production and consumption of phosphoric acid and phosphate fertilizers in the country. 1nd national seminar on the development of fertilizer industry and Vegetable pesticides. Iran University of Science & Technology, 2004 (Persian).
 30. Malakouti MJ, Nafisi M. Consumption of Fertilizer on agricultural land. Publications of Tarbiat Modares University, 1994 (Persian).
 31. Soleimani A, Amiri Larijani B. Principles the Best crop of Rice. Publications of Arvij, 2004 (Persian).
 32. Mirnia S Kh, Mohammadian M. Rice, disorders food elements, Management

- food elements. Publications of Mazandaran University, 2005 (Persian).
33. Williams P, Islam M, Adomako E, Raab A, Hossain S, Zhu Y, et al. Increase in rice grain arsenic for regions of Bangladesh irrigating paddies with elevated arsenic in groundwaters. *Environ Sci Technol* 2006; 40(16): 4903-4908.
34. Rahbari P, liyaaghat A, Afsharasl M, Jabali SJ. Simulation of nitrate convection to groundwater. *Agriculture Science* 2007; 38(1): 47-56 (Persian).
35. Malakouti MJ. Necessity Promotion Knowledge technology Manufacture of fertilizers in the country. 1nd national seminar on the development of fertilizer industry and Vegetable pesticides. Iran University of Science & Technology, 2004. (Persian).
36. Wang Q, Cui Y, Liu X, Dong Y, Christie P. Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *J Environ Sci Health A* 2003; 38(5): 823-838.
37. Agriculture Organization of Mazandaran. Ghaemshahr. 2010.
38. Iran Meteorological Organization. 2011.
39. Staff SSD. Soil survey manual: United States Department of Agriculture; 1993.
40. Amiri R, Alihyaei M. Manual of soil sampling, water and plants for laboratory analysis. 1998. p. 11 (Persian).
41. Ali Ehyaei M. Description of soil method analysis. 1024. Department of Agriculture, Soil Water Research Institute. 1999; Vol.2. 1-112 (Persian).
42. Gupta P. Soil, plant, water and fertilizer analysis: *Agro Botanica*; 2000.
43. Method 3050B. Acid digestion of sediments, slud Sludges, And Soils. 1996.
44. Behbahanizadeh AA, Emami. Laboratory methods the analysis chemical fertilizers in accordance with international standards. Agricultural Research, Education & Extension Organization (AREEO). Soil and Water Research Institute. Publication of Technical. 707 (Persian).
45. Guideline booklet ICP-OES. Germany. Spectro Arcos EOP ICP-OES. Analysis Systems for Environmental Applications, 2009.
46. Jalali M, Khanlari Z. Environmental contamination of Zn, Cd, Ni, Cu, and Pb from industrial areas in Hamadan Province, western Iran. *Environ Geol* 2008; 55(7): 1537-1543.
47. Makino T. Heavy Metal Pollution of Soil and a New Approach to Its Remediation: Research Experiences in Japan: Food and Fertilizer Technology Center, 2007.
48. Nicholson F, Smith S, Alloway B, Carlton-Smith C, Chambers B. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci Total Environ* 2003; 311(1-3): 205-219.