کاربرد پساب صنعتی در آبیاری مزارع و اثر آن بر تجمع عناصر سنگین در خاک و گیاه برنج

سید محسن صیادمنش[1] محمدعلی بهمنیار[2] مهدی قاجار سپانلو[3]

(دریافت ۹۱/۷/۱۸ پذیرش ۹۲/۲/۹)

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کاربرد پساب صنعتی، بر میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و برنج تحت کشت، مزارع شهرک صنعتی آمل که مدت ۸ سال تحت اثر پساب بودند، انتخاب و از آب آبیاری، خاک و ریشه، اندام هوایی و دانه برنج نمونه‌برداری به‌عمل آمد و سپس مقدار کروم، کادمیم، نیکل و سرب در نمونه‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد تحت اثر پساب، مقدار عناصر مورد بررسی در نمونه‌های آب، خاک و گیاه افزایش یافت. کادمیم کل خاک در بالاترین مقدار در مکان ۳ به اندازه ۲۹/۷۵ درصد افزایش یافت که نسبت به دیگر عناصر بیشترین مقدار بود. سرب قابل جذب خاک در بیشترین مقدار، نسبت به شاهد ٤٠ درصد افزایش داشت. تحت اثر پساب، افزایش تجمع عناصر سنگین مورد بررسی در ریشه برنج بیش از دیگر اندام‌ها بود. ترتیب تجمع عناصر در دانه به‌صورت Cr>Cd~Pb>Ni بود. در ریشه و اندام هوایی برنج، تجمع سرب بیش از دیگر عناصر بود. فاکتور انتقال عناصر سنگین از خاک به اندام هوایی بیش از دانه بود. فاکتور انتقال کادمیم در دانه و اندام هوایی در مکان ۲ به‌ترتیب برابر ۱/٥٤ و ۱/٤٤ گردید که بیش از دیگر عناصر بود. بین عناصر بررسی شده، کادمیم بیشترین شاخص ریسک را داشت.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، برنج، پساب صنعتی، خاک، سرب، کادمیم، کروم، نیکل

The Effect of Application of Industrial Effluent in Irrigation of Rice on Accumulation of Heavy Metals in Soil and the Crop

S. M. Sayadmanesh[1] *M. A.Bahmanyar[2]* *M. Ghajar Sepanlu[3]*

(Received Oct. 9, 2012 Accepted Apr. 29, 2013)

Abstract

In order to investigate the effects of application of industrial wastewater on accumulation of heavy metals in soil and cultivated rice, the farms effected by Amol Industrial wastewater Park were selected and samples of irrigation water, soil and also roots, shoots and grains of rice were collected. Then, the amounts of Cr, Cd, Ni and Pb in these samples were determined. The results showed that the amount of these elements in samples of water, soil and rice were increased due to application of wastewater. The total amount of cadmium in the soil in highest amount increased to 29.75% which was higher than the other elements. Available lead in the soil at highest amount was increased to 40% compared to control. Due to using industrial wastewater, increase in the accumulation of heavy metals in studied rice roots were more than that in other organs. Accumulation of the elements in the grain was Cr> Cd ~ Pb> Ni, respectively. Accumulation of Pb in root and shoot of rice were more than other metals. Heavy metals transfer factor from the soil to the shoots was more than grain. Transfer factor for Cd in grain and shoots in site 2 was equal to 1.52 and 1.44, respectively, which were more than other elements. Cadmium risk index was highest among the elements investigated.

Keywords: Irrigation, Rice, Industrial Wastewater, Lead, Cadmium, Chromium, Nickel.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول) ۰۹۱۱۲۱۸۴۱۸۲ sayadmanesh@yahoo.com
۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

1. M.Sc. Student of Soil Scineces, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari (Corresponding Author) 09112184182 Sayadmanesh@yahoo.com
2. Assoc. Prof. of Soil Sceinces, College of Agriculture, Agricultral Sciences and Natural Resources Univrssity, Sari
3. Assit. Prof. of Soil Sceinces, College of Agriculture, Agricultral Sciences and Natural Resources Univrssity, Sari

۱- مقدمه

در بسیاری از مناطق کشور، پساب صنعتی در اراضی زراعی برای آبیاری مزارع استفاده می‌شود و در اغلب موارد به‌علت کمبود منابع آب و افزایش پسابها در سالهای اخیر، این امر اجتناب ناپذیر است [۱]. پساب صنعتی نسبت به آب زیرزمینی مقادیر بالاتری از Fe، Cu، Zn، P و K را دارا است [۲]. این موضوع بیانگر توان بالقوه پساب برای آبیاری مزارع می‌باشد. ولی در عین حال پساب با توجه به منابع تولید مقادیر بالایی عناصر سنگین مثل Cd، Cr، Ni و Pb را دارا هستند [۳]. نتایج تحقیقات نشان داده است کاربرد پساب در اراضی زراعی مقادیر Ni، Cd، Cr و Pb را در خاک افزایش می‌دهد [۴]. راتان و همکاران بیان داشتند هر چند مقدار عناصر سنگین در پساب نسبتاًکم است ولی کاربرد طولانی مدت پساب برای آبیاری موجب افزایش سطح این عناصر در خاک می‌شود [۲]. مقادیر بالایی از عناصر سنگین توسط صنایع از طریق آبیاری با پساب به داخل اراضی کشاورزی و به‌دنبال آن در محصولات کشاورزی راه می‌یابند [۵]. تحقیقات نشان داد غلظت عناصر سنگین خاک، در مکان‌هایی که از پساب برای آبیاری اراضی استفاده می‌شود، بیشتر بوده است [۶]. کوا و همکاران بیان داشتند تخلیه پساب صنایع فلزی موجب آلودگی آب آبیاری به فلزات سنگین می‌گردد [۷]. استفاده از این آب در آبیاری برنج و سبزیجات موجب افزایش کروم در اندام‌های این گیاهان به مقدار ۲/۸ بیش از حد مجاز گردیده است. آبیاری مزارع برنج توسط آب آبیاری آلوده به شیرابه مرکز بازیافت زباله موجب شده تا مقدار کروم و کادمیم در برنج از حد مجاز تجاوز کرده و به حد سمیت برسد [۸].

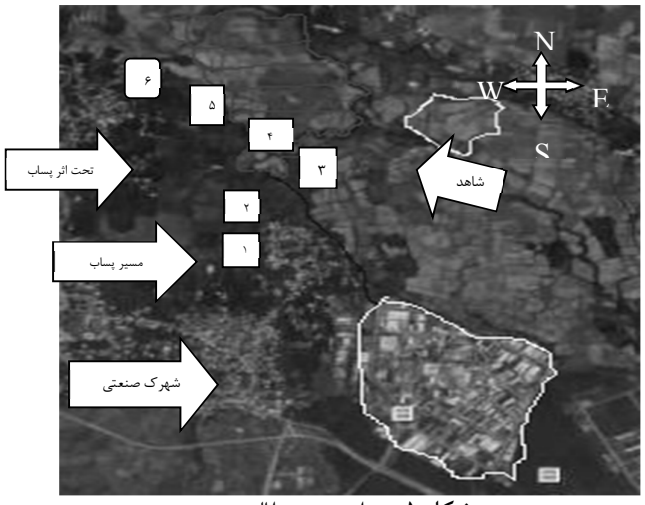
آقابراتی و همکاران وجود رابطه مستقیم بین افزایش غلظت عناصر سنگین در گیاه و افزایش غلظت این عناصر در خاک و منبع آبیاری را ذکر کردند [۹]. مقدار جذب عناصر سنگین توسط گیاه به عوامل مختلفی وابسته است. انتقال عناصر سنگین به گیاه وابسته به قابلیت دسترسی عناصر سنگین در خاک می‌باشد و قابلیت دسترسی عناصر سنگین به خصوصیات خاک مثل $CaCO_3$، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی[1] و کربن آلی[2] و همچنین به مقدار عناصر سنگین در خاک وابسته است [۱۰].

بررسی دیگری که در مورد اثر پساب صنایع روی تجمع عناصر سنگین در گیاه و خاک انجام شده، غلظت عناصر سنگین را در خاک به‌صورت Cr >Ni>Pb رده‌بندی کرده است. در این تحقیق، جذب فلز سنگین توسط گیاه چندان بالا نبود. علت آن pH بالای خاک می‌باشد که موجب کاهش قابلیت دسترسی عناصر برای گیاه می‌گردد [۱۱]. فاضلی اظهار داشت عناصر سنگین در گیاه به‌طور یکنواخت توزیع نمی‌شوند و تجمع این عناصر در دانه کمتر از سایر اندام‌ها است [۱۲]. آلوده شدن خاک مزارع موجب آلودگی محصولات کشاورزی و در پی آن آلودگی زنجیره غذایی می‌شود. آلودگی محصولات غذایی اصلی‌ترین راه ورود عناصر سنگین به بدن انسان است [۲].

با توجه به مطالب ذکر شده و با عنایت به این که برنج از محصولات اساسی در سبد غذایی جامعه است حفظ سلامت این محصول از اهمیت خاصی برخوردار است. بر این اساس در این مطالعه به بررسی اثر کاربرد پساب صنعتی در میزان عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب در خاک و برنج تحت کشت پرداخته شد.

۲- مواد و روشها

به‌منظور بررسی اثر کاربرد پساب صنعتی در میزان کروم، کادمیم، نیکل و سرب درخاک و برنج تحت کشت، مزرعه‌ای واقع در پایین‌دست شهرک صنعتی آمل که پساب خروجی از شهرک برای مدت ۸ سال بعد از اختلاط با یکی از شاخه‌های رود هراز برای آبیاری این اراضی استفاده می‌شود، انتخاب گردید. ابتدا مزرعه تحت اثر پساب صنعتی با توجه به محل ورود پساب با فاصله طولی (۱۰۰متر)، به شش نقطه تفکیک گردید. منطقه یک در نزدیک‌ترین فاصله و منطقه شش در دورترین فاصله از محل ورود پساب انتخاب شد (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

در این اراضی برنج به‌عنوان محصول اصلی در سطح وسیع کشت می‌شود. برای انجام نمونه‌برداری در منطقه مورد نظر، در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ زمینی به مساحت حدود ۳ هکتار تحت کشت برنج انتخاب و در زمان برداشت از ریشه، اندام هوایی و دانه به‌طور مجزا در۳ تکرار به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد.

[1] Cation Exchange Capacity (CEC)
[2] Organic Carbon (O.C)

همچنین خاک مزرعه نیز در عمق ۲۰ تا ۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری گردید. در مجاور مزرعه مورد نظر، زمینی که تحت اثر پساب صنعتی نبوده و از نظر شرایط و مدیریت مشابه زمین مورد نظر بود به‌عنوان شاهد انتخاب و عمل نمونه‌برداری خاک و گیاه عیناً در آن نیز انجام گردید. نمونه‌های گیاهی بعد از جمع‌آوری به آزمایشگاه منتقل شد و غلظت عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب در نمونه‌ها توسط روش عصاره‌گیری خشک تعیین گردید. ضمناً، میزان ماده آلی، pH، EC، کربنات کلسیم و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک اندازه‌گیری شد [۱۳-۱۶].

همچنین مقدار کروم، کادمیم، نیکل و سرب قابل جذب خاک به‌روش DTPA تعیین گردید [۱۷]. عناصر سنگین کل خاک نیز بعد از عصاره‌گیری با اسید نیتریک و اسید کلریدریک با دستگاه جذب اتمی مدل SpectraAA-10 تعیین شد [۱۸]. به‌علاوه، از پساب خروجی از شهرک، آب رودخانه قبل و بعد از اختلاط با پساب، هر پانزده روز یکبار از اول اردیبهشت تا نیمه اول مرداد ماه نمونه‌برداری صورت پذیرفت. نمونه‌ها بعد از انتقال به آزمایشگاه مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفتند. نتایج حاصل توسط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. برای عناصر بررسی شده شاخص انتقال به اندام برنج محاسبه گردید که از طریق تقسیم غلظت عنصر در اندام مورد نظر بر مقدار عنصر در خاک به‌دست آمد. شاخص خطر برای سلامتی انسان در اثر مصرف برنج تحت اثر پساب از فرمول $HQ = \frac{ADD}{RFD}$ به‌دست آمد [۲]. HQ شاخص خطر برای سلامتی انسان، ADD میانگین جذب روزانه بر حسب mg metal/kg body weight/day و RFD مقدار رفرنس است. این مقدار برای سرب، نیکل، کروم و کادمیم به‌ترتیب برابر ۰/۰۲، ۰/۰۲، ۱/۵ و ۰/۰۰۱ metal/kg body weight/day است [۱۹].

Add از طریق فرمول $ADD = \frac{mc^{x}di}{bw}$ به‌دست آمد که MC غلظت عنصر در گیاه بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم بر اساس وزن خشک، DI مصرف روزانه برنج بر حسب کیلوگرم در این مطالعه ۰/۲۵ درنظر گرفته شد. BW وزن بدن انسان است که در این مطالعه ۷۰ کیلوگرم در نظر گرفته شد.

۳- نتایج و بحث

اختلاط آب آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش غلظت عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب در آب شد (جدول۱). در ماههای مرداد و تیر افزایش غلظت عناصر در آب آبیاری در اثر پساب بیش از سایر ماهها بود. در مردادماه میزان کروم، کادمیم، نیکل و سرب موجود در آب آبیاری بعد از اختلاط با پساب نسبت به قبل از اختلاط به‌ترتیب ۴/۵، ۱۴/۲۸، ۶۴/۷ و ۳۴/۱۴ درصد افزایش نشان داد. بالا رفتن غلظت عناصر سنگین در ماههای گرم احتمالا به‌علت کاهش دبی رودخانه است. با ثابت بودن دبی پساب، غلظت عناصر سنگین در آب آبیاری افزایش می‌یابد. همچنین پساب صنعتی موجب کاهش pH و افزایش EC آب آبیاری گردید. وحید دستجردی و همکاران و همچنین بهمنیار نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند [۱۰ و ۲۰].

خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ آمده است.

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
اردیبهشت	۱	۷/۸۷	۷/۹۸	۴۸۰	۵۱۰	۱۶/۵	۱۶	۳	۳	۱۳	۸/۵	۲۵	۲۱/۵
	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
خرداد	۱	۸	۷/۸۷	۴۶۶	۴۲۸	۲۱	۲۳	۳	۳	۱۲	۹	۲۴/۵	۲۱/۵
	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
تیر	۱	۷/۹۶	۷/۹۸	۴۷۲	۵۴۹	۲۷	۲۹/۵	۲/۵	۳	۸/۵	۱۳	۲۱/۵	۱۸/۵
	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
مرداد	۱	۸/۰۱	-	۵۳۶	-	۳۳	-	۳/۵	-	۸/۵	-	۲۰/۵	-
	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 پساب، ۲ : آب آبیاری بعد از اختلاط با پساب، ۳ : پساب خروجی از شهرک صنعتی؛ A: اولین نمونه‌برداری در ماه و B: دومین نمونه‌برداری در ماه

جدول۲- برخی از خصوصیات شیمیایی خاک منطقه مورد آزمایش

	EC(dS/m)	pH	$\%CaCO_3$	%O.C	CEC(meq/100gr)
شاهد	۰/۸۳	۷/۶۲	۱۳/۸	۱/۰۸	۱۴/۹۲
مکان ۱	۱/۱۱	۷/۶۶	۱۱/۹۸	۱/۱۸	۱۵/۱۳
مکان ۲	۱/۲۰	۷/۷۲	۹/۵۵	۱/۴۰	۱۳/۵۶
مکان ۳	۱/۱۴	۷/۷۲	۱۲/۱۳	۱/۳۵	۱۳/۵۶
مکان ۴	۱/۱۵	۷/۷۵	۱۰/۳۱	۱/۳۵	۱۳/۰۴
مکان ۵	۱/۰۳	۷/۷۶	۱۰/۹۱	۱/۵۶	۱۲/۳۹
مکان ۶	۱	۷/۷۸	۱۱/۲۲	۱/۳۳	۱۳/۱۲

در اراضی تحت اثر پساب هدایت الکتریکی خاک بیش از منطقه شاهد می‌باشد. pH خاک منطقه بالای ۷ است. درصد آهک در اراضی تحت اثر پساب نسبت به شاهد کمتر بود در حالی که مقدار ماده آلی در این اراضی بیشتر از شاهد بود.

اراضی تحت اثر پساب صنعتی نسبت به شاهد مقادیر بالاتری از عناصر سنگین را در خود داشتند (جدول۳). در اثر کاربرد پساب صنعتی مقدار عناصر Cd، Cr و Ni به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت [۲]. مردانی و همکاران نیز بیان داشتند آبیاری اراضی زراعی توسط آبهای سطحی آلوده به فلزات سنگین موجب آلودگی خاک به عناصر سنگین می‌شود و هر چه خاکها بیشتر در معرض پساب باشند مقدار آلودگی نیز بیشتر است [۶].

ترتیب تجمع عناصر سنگین تبادلی در اراضی مطالعه شده به‌صورت Pb>Ni>Cd>Cr است و ترتیب عناصر سنگین کل نیز به‌صورت Ni>Cr>Pb> Cd است. افزایش تجمع کروم در اراضی تحت اثر پساب صنعتی نسبت به شاهد در بالاترین مقدار خود به اندازه ۷۷/۷۷ و ۱۷/۰۹درصد به‌ترتیب برای کروم قابل جذب و کروم کل بوده که در مکان ۴ دیده شد (جدول۳). آبیاری با پساب موجب افزایش معنی‌دار کروم در خاک گردید [۹]. کادمیم قابل جذب در اراضی تحت اثر پساب، نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشته ولی برای کادمیم کل علی‌رغم افزایش، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. کمترین درصد افزایش کادمیم قابل جذب در مکان ۳ و به مقدار ۹/۰۹ درصد و بالاترین مقدار افزایش کادمیم در مکان ۵ به مقدار ۵۴/۵۴ درصد بود (جدول ۳). کادمیم کل نیز در بالاترین مقدار افزایش خود از ۱/۲۱ میلی‌گرم بر گیلوگرم در شاهد به ۱/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مکان ۳ رسید. بررسی اراضی شالیزاری در مجاورت مرکز بازیافت زباله نشان داد کادمیم خاک در این اراضی افزایش یافت واز حد مجاز تجاوز کرد [۸]. در اثر کاربرد پساب صنعتی میزان کادمیم قابل جذب ۳ برابر و کادمیم کل ۲ برابر افزایش یافت [۱۰].

تجمع نیکل قابل جذب درمکان ۲ به مقدار ۰/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نسبت به شاهد به ۲ برابر افزایش یافت. تجمع نیکل کل در اراضی تحت مطالعه بیش از دیگر عناصر بود. بیشترین مقدار نیکل در مکان ۵ به مقدار ۵۷/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نسبت به شاهد ۱۲/۲۹درصد افزایش داشت. کاربرد پساب صنعتی موجب افزایش نیکل و سرب در خاک مزرعه شد [۲۱]. ضمناً در تحقیقی توسط بهمنیار در اراضی تحت اثر پساب مقدار نیکل قابل جذب ۲ برابر و نیکل کل به مقدار کمتر افزایش یافت [۲۲]. بالاترین مقدار قابل جذب عناصر تحت مطالعه به سرب اختصاص داشت. در اثر آبیاری با پساب بجز مکان‌های ۴ و ۶ مقدار سرب قابل جذب نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد. سرب کل نسب به سرب قابل جذب به مقدار کمتری افزایش یافت. کمترین مقدار افزایش سرب کل در مکان۴ و به اندازه ۰/۴۵درصد بود. در مکان ۵ نیز با ۹/ ۶ درصد بیشترین افزایش را نشان داد (جدول ۳).

جدول۳- مقدار عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب قابل جذب و کل در خاک (mg/kg)

	Cr		Cd		Ni		Pb	
	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب
شاهد	۳۴/۵۶^{d}	۰/۰۹^{c}	۱/۲۱^{a}	۰/۱۱^{c}	۵۰/۸۳^{b}	۰/۴۸^{c}	۳۵/۰۹^{bc}	۲/۹^{d}
مکان۱	۳۷/۸۷^{bc}	۰/۱۱^{c}	۱/۳۸^{a}	۰/۱۴^{b}	۵۴/۰۷^{ab}	۰/۵۲^{bc}	۳۷/۵۲ ^{a}	۳/۲^{a}
مکان۲	۳۹/۰۱^{ab}	۰/۱۱^{c}	۱/۲۲^{a}	۰/۱۶^{a}	۵۱/۲۶^{b}	۰/۹۵^{a}	۳۵/۰۹^{bc}	۴^{ab}
مکان۳	۳۷/۸۶^{bc}	۰/۱۱^{c}	۱/۵۷^{a}	۰/۱۲^{c}	۵۵/۴۸^{a}	۰/۵۷^{bc}	۳۸/۰۴^{a}	۳/۶۴^{bc}
مکان ۴	۴۰/۴۹^{a}	۰/۱۶^{a}	۱/۴۹^{a}	۰/۱۴^{b}	۵۴/۵۷^{ab}	۰/۸۵^{a}	۳۵/۲۵^{bc}	۳/۱^{d}
مکان ۵	۴۰/۳۷^{a}	۰/۱۴^{ab}	۱/۵۶^{a}	۰/۱۷^{a}	۵۷/۰۸^{a}	۰/۹۲^{a}	۳۸/۴۶^{a}	۴/۰۶^{a}
مکان ۶	۳۷/۰۲^{c}	۰/۱۰۴^{c}	۱/۴^{a}	۰/۱۴^{b}	۵۵/۷۹^{a}	۰/۶۲^{b}	۳۶/۳۲^{ab}	۳/۳۱^{cd}

* حروف مشترک در هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است

ضرایب همبستگی نشان‌دهنده ارتباط مثبت بین سرب کل وCEC می‌باشد. کربن آلی نیز با کروم و نیکل کل و همچنین با کادمیم، نیکل و سرب قابل جذب خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار نشان داد. یعنی با افزایش کربن آلی مقدار عناصر کل و قابل جذب افزایش یافت. همبستگی بین آهک خاک، با فرم تبادلی همه عناصر مورد بررسی منفی بود. با افزایش EC خاک، سرب قابل تبادل نیز افزایش یافت(جدول ۴). اسمیت در بررسی خود نشان داد با افزایش آهک خاک مقدار عناصر سنگین تبادلی در خاک کاهش می‌یابد [۲۳]. ماده آلی خاک با مقدار سرب، نیکل و کادمیم قابل جذب خاک همبستگی مثبت و معنی دار دارد[۲]. اما مقدار کروم کل خاک با آهک همبستگی منفی دارد[۱۰]

در اثر کاربرد پساب صنعتی مقدار عناصر کروم، کادمیم، سرب و نیکل در اندام‌های گیاهی برنج افزایش یافت. شیرین فکر و همکاران نیز به نتیجه مشابهی دست یافتند [۲۴]. ضمناً نتایج نشان می‌دهد که تجمع همه عناصر سنگین مورد بررسی در ریشه بیش از اندام هوایی بود(جدول ۵). دانه در بین اندام‌های گیاه، کمترین مقدار تجمع عناصر سنگین را داشت. به‌علت تحرک کم عناصر سنگین تجمع این عناصر در ریشه گیاهان بیشتر است [۲۰]. عناصر سنگین در گیاه به‌طور یکنواخت توزیع نمی‌شوند و معمولاً مقدار آنها در ریشه بیش از سایر بخش‌ها است [۴ و ۱۲]. تجمع کروم ، کادمیم و نیکل در ریشه و اندام هوایی نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نشان داد ولی افزایش برای سرب چندان بالا نبود. در دانه مقدار کروم در تیمارهای تحت اثر پساب نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشت ولی مقدار کادمیم، نیکل و سرب نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار نداشت. در ریشه و اندام هوایی برنج تجمع سرب بیش از دیگر عناصر بود و کروم، نیکل و کادمیم به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار داشتند. در دانه برنج نیز تجمع عناصر به‌صورت Cr>Cd~Pb>Ni بود. تجمع عناصر سنگین در دانه برنج به‌صورت Cr>Pb>Cd بود [۲۵]. مقدار افزایش تجمع کروم در ریشه برنج در مکان‌های مختلف متفاوت بود. تجمع کروم در مکان ۱ با ۱۳/۵۳درصد و در مکان ۵ با ۲۸/۳۶ درصد افزایش به‌ترتیب کمترین و بیشترین درصد افزایش را نسبت به شاهد نشان داد. در اندام هوایی نیز کروم از ۵/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به ۹/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در مکان ۳ افزایش یافت که بین تیمارهای آبیاری بالاترین مقدار افزایش بود. کروم در دانه با ۹۱/۱۷ درصد افزایش در مکان ۱، بالاترین درصد افزایش داشت (جدول ۵).

کادمیم در اندام‌های برنج نسبت به دیگر عناصر بالاترین درصد افزایش را داشت. در دانه درصد افزایش کادمیم بیش از دیگر اندام‌ها بود و در همه تیمارها نسبت به شاهد قریب به ۳ برابر افزایش داشت. میزان نیکل دانه در مکان ۴ به ۳ برابر افزایش یافت. افزایش سرب در ریشه نسبت به دیگر عناصر کمتر بود.

جدول۴- همبستگی بین خصوصیات خاک و عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب(n=۱۲)

Pb		Ni		Cd		Cr		
قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	قابل جذب	کل	
۰/۳۷۹	۰/۴۹۵*	۰/۲۹	۰/۳۶۲	۰/۳۴۵	۰/۱۳۵	۰/۲۳۸	۰/۲۹	CEC(meq/100g)
۰/۷۷**	۰/۱۹۵	۰/۷۶۵**	۰/۴۶۲*	۰/۶۸۶**	۰/۳۲۳	۰/۳۹۲	۰/۷۰۱**	٪O.C
-۰/۶۴۹**	-۰/۲۲۳	-۰/۷۴۹**	-۰/۳۱۱	-۰/۸۲۶**	-۰/۲۶	-۰/۵۰۷*	-۰/۷۲۵**	٪$CaCO_3$
۰/۴۰۱	-۰/۴۵	۰/۳۷۸	۰/۳۴۷	۰/۴۰۵	۰/۰۲۲	۰/۱۵۶	۰/۴۶*	pH
۰/۴۴۶*	-۰/۰۳۳	۰/۴۱	۰/۵۸	۰/۴۱۶	۰/۰۸	۰/۲۹۳	۰/۵۴۸*	EC(dS/m)

**معنی‌دار در سطح ۱٪ *معنی‌دار درسطح ۵٪

جدول ۵- مقدار عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب در اندام‌های گیاه برنج (mg/kg)

	ریشه	ا. هوایی	دانه	ریشه	ا.هوایی	دانه	ریشه	دانه	ا. هوایی	ریشه	ا. هوایی	دانه
شاهد	^{b}۱۵/۵۱	۵/۰۶^{c}	۱/۷^{c}	۱/۶۹^{e}	۱/۱۲^{c}	۰/۵۲^{b}	۱۰/۷۲^{c}	۰/۷۵^{b}	۲/۲۵^{c}	۱۸/۳۸^{a}	۱۰/۸۷^{a}	۰/۵۶^{b}
مکان ۱	۱۷/۶۱^{ab}	۸/۰۶^{ab}	۳/۲۵^{a}	۲/۸۷^{ab}	۱/۶^{b}	۱/۵۱^{a}	۱۲/۴۴^{bc}	۱/۱۳^{ab}	۳/۷۵^{a}	۱۹/۳۳^{a}	۱۱/۴۴^{a}	۱/۵۱^{a}
مکان ۲	۱۸/۱۹^{a}	۷/۶۹^{ab}	۲/۶۴^{b}	۳/۰۶^{a}	۱/۸۷^{ab}	۱/۷^{a}	۱۶/۲۷^{a}	۱/۳۲^{ab}	۲/۸۱^{bc}	۱۹/۳۳^{a}	۱۱/۰۶^{a}	۱/۳۲^{ab}
مکان ۳	۱۹/۱۵^{a}	۹/۱۹^{a}	۲/۶۴^{b}	۳/۲۵^{a}	۲/۰۶^{a}	۱/۵۱^{a}	۱۳/۰۲^{bc}	۱/۳۲^{ab}	۳/۱۸^{ab}	۱۹/۵۲^{a}	۱۱/۶۲^{a}	۱/۳۲^{ab}
مکان ۴	۱۸/۷۶^{a}	۶/۵۶^{bc}	۲/۶۴^{b}	۲/۴۸^{bc}	۱/۶۸^{b}	۱/۷^{a}	۱۴/۵۵^{ab}	۱/۵۱^{a}	۳/۳۷^{ab}	۱۹/۱۴^{a}	۱۱/۲۵^{a}	۱/۷^{a}
مکان ۵	۱۹/۹۱^{a}	۵/۲۵^{c}	۲/۴۵^{b}	۲/۲۹^{cd}	۱/۶۸^{b}	۱/۷^{a}	۱۴/۷۴^{ab}	۱/۱۳^{ab}	۳/۱۸^{ab}	۱۹/۳۳^{a}	۱۱/۴۴^{a}	۱/۷^{a}
مکان ۶	۱۷/۷^{ab}	۷/۵^{b}	۳/۰۲^{ab}	۱/۹۱^{de}	۱/۶۸^{b}	۱/۵۱^{a}	۱۳/۹۴^{b}	۱/۳۲^{ab}	۳^{b}	۱۸/۵^{a}	۱۲^{a}	۱/۷^{a}

* حروف مشترک در هر ستون نشانه عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است

جدول ۶- شاخص خطر برای سلامتی انسان در اثر مصرف برنج

	Cr	Cd	Pb	Ni
شاهد	۰/۰۰۴	۰/۲۷	۰/۰۰۵	۰/۱۳۵
مکان ۱	۰/۰۰۸۵	۰/۵۴	۰/۰۱۳	۰/۲۰۲
مکان۲	۰/۰۰۶۳	۰/۶۰	۰/۰۱۱۸	۰/۲۳۶
مکان ۳	۰/۰۰۶۳	۰/۵۴	۰/۰۱۱۸	۰/۲۳۶
مکان ۴	۰/۰۰۶۳	۰/۶۰	۰/۰۱۵۱	۰/۲۷
مکان ۵	۰/۰۰۵۸	۰/۶۰	۰/۰۱۵۱	۰/۲۰۲
مکان ۶	۰/۰۰۷۲	۰/۵۴	۰/۰۱۵۱	۰/۲۳۶

جدول۷- فاکتور انتقال عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب از خاک به اندام‌های گیاه برنج

	Cr		Cd		Pb		Ni	
	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی	دانه	اندام هوایی	دانه
شاهد	۰/۳۴۲	۰/۱۱۵	۰/۹۶۴	۰/۶۳۸	۰/۰۴۴	۰/۰۱۵	۰/۳۱	۰/۰۱۶
مکان ۱	۰/۱۹۸	۰/۰۹۵	۱/۲۵۹	۱/۱۴۹	۰/۰۵۶	۰/۰۲۱	۰/۳۰۵	۰/۰۴
مکان ۲	۰/۱۹۷	۰/۰۶۸	۱/۵۴۸	۱/۴۴۱	۰/۰۵۵	۰/۰۲۶	۰/۳۲۹	۰/۰۳۹
مکان ۳	۰/۲۱۳	۰/۰۷	۱/۳۱۳	۰/۹۶۳	۰/۰۵۷	۰/۰۲۴	۰/۳۰۱	۰/۰۳۵
مکان ۴	۰/۱۶۲	۰/۰۶۵	۱/۲۴۳	۱/۲۵۳	۰/۰۶۲	۰/۰۲۸	۰/۳۳	۰/۰۵
مکان ۵	۰/۱۳	۰/۰۶۱	۱/۰۷۸	۱/۰۸۷	۰/۰۵۶	۰/۰۲	۰/۲۹۸	۰/۰۴۴
مکان ۶	۰/۲۴۸	۰/۰۸۲	۱/۲۴۷	۱/۱۴	۰/۰۶۷	۰/۰۲۴	۰/۳۳۱	۰/۰۴۷

کمترین مقدار افزایش سرب در ریشه در مکان ۶ و به مقدار ۰/۶۵درصد بود. سرب در دانه نیز در بالاترین مقدار خود به اندازه ۲ برابر بیش از شاهد رسید. تحقیقات نشان داد کاربرد پساب صنعتی موجب افزایش مقدار کروم، کادمیم و نیکل در دانه برنج شد که مقدار کروم از حد مجاز تجاوز کرد [۷ و ۲۵]. مقدار عناصر کروم، کادمیم، نیکل و سرب در ریشه، اندام هوایی و دانه برج، تحت اثر پساب افزایش یافت و گاهی به ۷ برابر رسید [۲۲]. الانزی و همکاران نیز افزایش کادمیم تا حد سمیت را برای گیاهان آبیاری شده با پساب صنعتی گزارش کردند [۲۶].

شاخص خطر اندازه‌گیری شده بیانگر افزایش مقدار این شاخص در اراضی تحت اثر پساب نسبت به شاهد است (جدول۶). بالاترین شاخص خطر مربوط به کادمیم بود. نیکل، سرب و کروم به‌ترتیب در رده‌های بعد قرار داشتند. شاخص خطر علی‌رغم افزایش در تیمارهای تحت اثر پساب، در همه موارد کمتر از یک بود. مطالعه روی برنج در چین نشان داد شاخص خطر برای عنصر سرب بیش از کادمیم و آن هم بیش از کروم بود. مقدار این شاخص برای هر ۳ عنصر کمتر از یک بود و به حد خطرناک نرسید [۲۵].

فاکتور انتقال کروم، کادمیم، نیکل و سرب از خاک به اندام هوایی تحت اثر پساب صنعتی افزایش یافت (جدول ۷). در دانه نیز به‌جز برای کروم، فاکتور انتقال برای دیگر عناصر تحت اثر پساب افزایش یافت (جدول ۷). فاکتور انتقال عناصر از خاک به اندام هوایی بیش از دانه بود (به‌جز در مواردی برای کروم). فاکتور انتقال عناصر سنگین به اندام هوایی بیش از دانه است [۲۷]. در اندام هوایی فاکتور انتقال کادمیم بیش از نیکل و آن هم بیش از کروم بود. سرب کمترین فاکتور انتقال را داشت. ترتیب فاکتور انتقال در دانه به‌صورت Cd>Cr>Ni>Pb بود. بهمنیار نیز به نتیجه مشابه دست یافت [۱۰].

۴- نتیجه‌گیری

اختلاط پساب صنعتی با آب آبیاری موجب افزایش مقدار کروم، کادمیم، نیکل و سرب در آب آبیاری گردید و این افزایش در ماههای گرم بیشتر بود. کاربرد پساب صنعتی در آبیاری، موجب افزایش مقدار کروم، کادمیم، نیکل و سرب در خاک شد و بیشترین تجمع فرم قابل جذب عناصر مربوط به سرب بود. مقدار نیکل کل تجمع یافته در اراضی مورد مطالعه بیش از دیگر عناصر بود. مقدار عناصر سنگین قابل جذب خاک به‌علت بالا بودن میزان آهک، pH و CEC چندان افزایش نیافت. در اثر آبیاری با پساب، تجمع عناصر سنگین در اندام‌های گیاهی نیز افزایش یافت. مقدار تجمع در ریشه بیش از اندام هوایی و دانه بود. در همه مکان‌های تحت اثر پساب، تجمع کادمیم در دانه برنج قریب به ۲ برابر نسبت به شاهد افزایش داشت. انتقال عناصر سنگین از خاک به اندام هوایی بیش از دانه بود. کادمیم نسبت به دیگرعناصر مورد بررسی بالاترین

شاخص انتقال را هم در اندام هوایی و هم در دانه داشت. محصول برنج آبیاری شده با پساب صنعتی شاخص خطر بالاتری نسبت به محصول رشد کرده در منطقه شاهد داشت. با این وجود مقدار شاخص خطر هنوز به حد خطرناک نرسیده است. با عنایت به روند افزایشی مشاهده شده، استمرار استفاده از پساب برای آبیاری مزارع ممکن است موجب ایجاد سمیت در برنج تولید شده در منطقه گردد. لذا توجه و انجام مطالعات بیشتر پیشنهاد می‌شود.

۵- مراجع

1. Mohammadi, P., Sepahi, M., Mehrdadi, N., Liaghat, A., Adl, M., Ehteshami, M., Ashrafi, A., Ghodusi, F., and Zarnokaii, M. R. (2002). "Review of standards and expperiments of appilcation of wastewater in irrigation." *Iran National Organization of Irrigation and Drinage*, pp 45.
2. Ratan, R. K., Data, S.P., Chhonkar, P. K., Suribabu, K., and Singh, A. K. (2005). "Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater a case study." *J. of Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109, 310-322.
3. Khatami, F. (2008)."Survay of metals pollution in Karun river (Ahvaz)." M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Tehran Shomal Branch, Tehran. (In Persian)
4. Mireles, A., Solis, C., Andrade, E., Solar, M. L., Pina, C., and Flocchini, R. G. (2004). "Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City." *J. of Environmental Pollution*., 219-220, 187-190.
5. Chary, N.S., Kamala, C.T., and Raj, D.S.S. (2008). "Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer." *J. of Ecotoxicology and Environmental Safety*, 69, 513-524.
6. Mardani, G., Sadeghi, M., and Ahankoob, M. (2010). "Soil Pollution along the surface runoff in southern Tehran." *J. Water and Wastewater*., 75, 108-113. (In Persian)
7. Coa, H., Chen, J., Zhang, J., Zhang, H., Qian, L., and Men, Y. (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." *J. of Environmental Sciences*, 22(11), 1792-1799.
8. Lou, C., Liu, C., Wang, Y., Liu, X., Li, F., Zhang, G., and Li, X. (2011). "Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China." *J. of Hazardous Materials*, 186, 481-490.
9. Aghabarati, A., Hoseini, S. M., Esmaili, A., Bahramifar, N., and Maralin, H. (2008)." Effects of application municipal effluent on heavy metal (Cr and Ni) accumulation in *Oleaeuropaea*L. trees and soil." *J. Iran Forest and Spruce Reserchs*, 16(2), 304-313.
10. Bahmanyar, M. A. (2008). "Cadmium, nickel, chromium, and lead level in soil and vegetables under long term irrigation with industrial wastewater." *Comunication of Soil Science and Plant Analysis*, 39, 2065-2079.
11. Malik, R. N., Husein, S. Z., and Nazir, I. (2010). "Heavy metal contamination and accumulation in soil and wild plant species from industrial area of Islamabad, Pakistan." *J. of Botani*, 42(1), 291-301.
12. Fazeli, M. Sh. (2000). "Role of soil quality characteristic in application of municipal effluent in forms." *J. of Water and Environment*, 41, 24-30.
13. AOAC. (1990). *Official methods of the association of official nalytical chemists*, 15th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
14. Nelson, R. E. (1982). "Carbonate and gypsum." Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D. R. (Eds.) *Methods of soil analysis*, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
15. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. (1982). "Totol carbon, organic carbon, organic matter." Page, A. L., Miler, R. H., and Keeney, D.R. (Eds.) *Method of soil analysis*, Madison, Wisc.: American Society of Agronomy.

16. Rhoades, J. D. (1982). “Cation exchange capacity.” Page, A. L., Miller, R. H., and Keeney, D.R. (Eds.) *Methods of soil analysis, chemical and mineralogical Properties*, Madison, Wisc .:ASA, SSSA.
17. Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). “Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese and copper.” *American J. of Soil Science Society*, 42, 421-428.
18. Baker, D. E., and Amacher, M. C. (1982). “Nickel, copper, zinc and cadmium.” Page, A. L., Miller R. H., and Keeney, D. R. (Eds.) *Methods of soil analysis*, American Society of Agronomy: Madison, Wisconsin.
19. IRIS. (2010). *Integrated risk information system-database*, US. Environmental Protection Agency.
20. Vahid Dastjerdi, M., Shanbezade, S., Saniy, A., and Roozegar, R. (2007). “Comparision of heavy metal eccumolation in water, soil and plants in Gavkhuny international lagoon in years 1381 and 1383.” *Conf., Hygiene and Environment*, Hamedan, 34-42. (In Persian)
21. Parsadust, F., BakhshiNezhad, B., Sobhani, A. A., and Kaboli, M. M. (2007). “Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankoh polluted soils.” *J. Reserch and Maiking in Natural Resources*, 73, 54-63.
22. Bahmanyar, M. A. (2007). “Effect of application wastewater on heavy metal accumulation In soil and crops.” *J. Environmental Science.*, 19, 26-44.
23. Smith, S. R. (1996). “Agricultural recycling of sewage sludge and the environment.” Wallingford, UK: CAB International.
24. Shirinfekr, A., Kavusi, M., and Mahbubkhomami, A. (2001). “Process changes of heavy metal concentration to attention distance of pollution source.” *7th Cong. Iran Soil Science*, Shahrekord, 45-52. (In Persian)
25. Hang, X., Wang, H., Zhou, J., Ma, C., Du, C., and Chen, X. (2009). “Risk assessment of potentially toxic element pollution in soil and rice in a typical area of Yangtze River Delta.” *J. of Environmental pollution*., 157, 2542-2549.
26. AlEnezi, G., Hamoda, M. F., and Fawzi, N. (2004). “Heavy metals content of municipal wastewater and sludgesinKuwait.” *J. of Environmental Science and Health*, 39 (2), 397-407.
27. Li, W.H., Zhao, J. Z., Ouyang, Z. Y., Soderland, L., and Liu, G. H. (2005). “Impact of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China.” *J. of Environmental International*, 31, 805-812.