



دانشگاه گوارز و منابع طبیعی

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲

<http://jwsc.gau.ac.ir>

تأثیر نوع و مقدار برخی عناصر سنگین در رودخانه زرجوب رشت بر خاک و گیاه برنج شالیزارهای تحت آبیاری آنها

شهرام محمود سلطانی*

مریی پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج کشور

تاریخ دریافت: ۸۸/۸/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۲۰

چکیده

استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب یکی از راه‌کارها و فرصت‌های مقابله با چالش کم‌آبی است. کاربرد فاضلاب‌ها، پساب‌ها و آب‌های آلوده (به‌عنوان بخشی از آب‌های با کیفیت نامناسب) می‌تواند در آینده باعث افزایش آلودگی خاک‌ها شده و عواقب ناگواری در روند توسعه پایدار کشاورزی داشته باشد. به این منظور، در پژوهشی نوع و مقدار برخی عناصر سنگین (روی، مس، کادمیوم، نیکل و سرب) موجود در آب رودخانه زرجوب و شالیزارهای تحت آبیاری آنها، با کشت گیاه برنج رقم هاشمی و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های شالیزاری مانند بافت، اسیدیته گل اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی، آهک، کربن آلی، گنجایش تبادل کاتیونی تعیین و روابط آنها با غلظت این عناصر در آب، خاک و نمونه‌های گیاه (کاه و دانه سفید شده برنج) مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، مقدار این عناصر در تمام نمونه‌های آب، خاک و گیاه پایین‌تر از حد بحرانی این عناصر بوده است. روند تغییرات غلظت این عناصر، تحت‌تأثیر ورود فاضلاب‌های شهری خانگی و صنعتی بوده و در نقاط قبل از شهر از متوسط پایین‌تری نسبت به داخل شهر برخوردار بوده و سپس در بعد از شهر به حداکثر مقدار خود می‌رسد. غلظت این عناصر در خاک در طول مسیر رودخانه‌ها (قبل، داخل و بعد از شهر رشت) در مورد سرب، مس و کادمیوم با افزایش نسبی همراه و در مورد سایر عناصر تغییرات نامنظم بوده است. غلظت عناصر کادمیوم، روی و مس با مقدار کربن آلی و اسیدیته، سرب با مقدار رس و اسیدیته و نیکل تنها با اسیدیته رابطه معنی‌داری نشان می‌دهند. با مقایسه غلظت عناصر سنگین

* مسئول مکاتبه: shmsoltani@gmail.com

اندازه‌گیری شده در کاه و دانه برنج می‌توان نتیجه گرفت که مقدار روی، نیکل و مس در برنج سفید همواره بیش‌تر از کاه بوده است. این در حالی است که بین غلظت کادمیم و سرب در کاه و دانه تفاوت چندانی وجود ندارد. لازم به ذکر است که بررسی روند تغییرات این عناصر در طول مسیر رودخانه نیز تفاوت معنی‌داری از خود نشان نمی‌دهند. همچنین رابطه معنی‌داری بین مقادیر این عناصر در آب و خاک و گیاه برنج به‌دست نیامد. اگرچه مقایسه نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با استانداردهای موجود، بیانگر نبود آلودگی در مقیاس نگران‌کننده است ولی مقایسه نتایج این پژوهش با نتایج به‌دست آمده از یافته‌های سایر پژوهش‌گران، بیانگر روند افزایشی غلظت این عناصر در منابع مورد بررسی را است. این افزایش در طی یک دوره زمانی ده‌ساله، در اراضی شالیزاری تا ۴ برابر و در برنج سفید ۳ برابر است که نیازمند عزم جدی برای یافتن راه‌های کنترل و توقف این روند رو به رشد است.

واژه‌های کلیدی: عناصر سنگین، رودخانه زرجوب، اراضی شالیزاری، برنج رقم هاشمی

مقدمه

خاک یکی از اساسی‌ترین بخش‌های ساختار اکوسیستم کره زمین بوده که در آن گیاهان رشد کرده و چرخه بیولوژیکی عناصر تکمیل می‌شود. آلودگی خاک‌ها به‌طور مستقیم بر سلامتی انسان‌ها نیز اثر می‌گذارد. افزایش پتانسیل آلودگی در خاک‌ها سبب انتقال عوامل آلوده‌کننده به زنجیره‌های غذایی و یا آب‌های زیرزمینی و شرب می‌گردد. نتایج بررسی‌ها نشان‌دهنده افزایش روزافزون انواع آلاینده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی منابع آب، در اثر تخلیه مستقیم و بدون پالایش انواع زه‌آب‌های کشاورزی، پساب و فاضلاب‌های شهری، خانگی و صنعتی است (پورنگ، ۱۹۹۳؛ شیرین‌فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸؛ ملکوتی، ۲۰۰۲). همچنین با توجه به اهمیت برنج به‌عنوان یک غله عمده در جیره غذایی انسان و تشکیل‌دهنده ۸۰ درصد جیره غذایی بسیاری از کشورهای آسیایی (در ایران سرانه مصرف ۳۶ کیلوگرم) (ملکوتی و کاووسی، ۲۰۰۳)، بررسی سلامت و آلوده نبودن این محصول به عناصری که اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و تغذیه‌ای در جیره غذایی انسان دارند بسیار با اهمیت است (یارون و همکاران، ۱۹۹۶). از جمله عوامل آلوده‌کننده آب و خاک، فاضلاب‌های با احتمال وجود شامل عناصر سنگین است. براساس پژوهش‌های کیمبورگ و همکاران (۱۹۹۹) عناصر سنگین (روی، مس، کادمیم، نیکل و سرب) به‌طور عمده از پساب‌ها و فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی وارد آب و خاک شده و

به دلیل تحرک کم در نیم رخ خاک باقی مانده و با ورود به چرخه رشد گیاه حرکت خود در زنجیره غذایی را تا مصرف آن توسط انسان و دام طی می کنند (آلوی، ۱۹۹۰). چرا که افزایش این عناصر در خاک رابطه مستقیم با افزایش قابلیت جذب این فلزات دارد. بینای مطلق (۱۹۸۰) در بررسی آلودگی رودخانه زرجوب شهرستان رشت به فلزات سنگین و تعیین منابع آلودگی آن، مقدار عناصر روی، مس، کادمیوم، سرب و نیکل را به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۵۳۴، ۰/۰۳۵، ۰/۱۵۷ و ۰/۳ میلی گرم در لیتر عنوان نموده است. شیرین فکر زل پیرانی (۱۹۹۸) در بررسی غلظت فلزات سنگین در رودخانه زرجوب رشت و شالیزارهای برنج اطراف آن نشان داد که اختلاف میانگین اثر تیمارها (نوع آب و فاصله از منبع آلودگی) بر غلظت روی در خاک و گیاه در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است، گرچه نیکل با مقدار متوسط ۵/۱۳ میلی گرم در کیلوگرم هنوز تا رسیدن به آستانه سمیت فاصله دارد. ولی متوسط غلظت سرب ۵/۸۷ میلی گرم در کیلوگرم و بیشترین غلظت آن مربوط به شالیزاری است که به طور مستقیم از آب رودخانه آبیاری می شود. از طرفی همبستگی بین مقادیر قابل جذب این عناصر در خاک و گیاه نشان داد که رابطه تغییرات غلظت سرب در خاک و گیاه در سطح ۵ درصد معنی دار بوده و به ازای هر واحد تغییر غلظت سرب در خاک به میزان ۰/۱۴ واحد به غلظت سرب در گیاهان افزوده می شود. ولی برای سایر عناصر این رابطه معنی دار نبوده است. وی مقدار متوسط روی، مس، کادمیوم، سرب و نیکل را در آب رودخانه به ترتیب ۰/۰۷۳، ۰/۰۱۵۲، ۰/۰۰۸۵، ۰/۰۳۲۳ و ۰/۰۱۳۶ میلی گرم در لیتر بیان داشت. بهمنیار (۲۰۰۳) نیز در ارزیابی وضعیت عناصر سنگین روی، آهن، کادمیوم، سرب و نیکل در آب رودخانه تجن مازندران و تغییرات آن در آب بندانهای ذخیره ای نشان داد که قبل از شهر غلظت عناصر سنگین یادشده در آب رودخانه پایین تر از حد سمیت بوده است ولی در محدوده شهر و پس از رهاسازی فاضلاب شهری و صنعتی در آب رودخانه غلظت این عناصر افزایش می یابد. غلظت عناصر در تابستان با کاهش دبی رودخانه، شروع فصل بهره برداری بخش کشاورزی و افزایش تبخیر به بالاترین حد خود می رسد. ملکوتی (۲۰۰۲) در بررسی منشاء و روش های کاهش آلاینده های نیترات و کادمیوم در شالیزارهای شمال کشور، میانگین کادمیوم را در ۳۲ نمونه خاک که به طور تصادفی تهیه شده بود در سال ۱۳۷۷، ۲/۱۴ و در سال ۱۳۷۸، ۲/۴۴ میلی گرم در کیلوگرم عنوان نمود. زوانگ سانگ (۲۰۰۰) رابطه بین غلظت عناصر سنگین در خاک و جذب آنها توسط گیاه برنج را در تایوان مورد بررسی قرار داد. رومکنز و همکاران (۲۰۰۵) در بررسی وضعیت عناصر سنگین در اراضی شالیزاری

در تایوان بیان داشتند که مقدار کادمیوم، سرب، نیکل، مس و روی ۳۰ درصد بیش از مقدار مجاز در اراضی شالیزاری بوده و تنها اسیدیتته در تغییرات آن‌ها مؤثر است. پایش آلودگی عناصر سنگین در خاک‌های حاشیه شهر در سال ۱۹۸۲ در این بررسی نشان داد که حدود ۱۰۰۰ هکتار از اراضی شالیزاری به شدت آلوده بوده و غلظت عناصر سنگین در آن‌ها (مس ۱۰۰، کادمیوم ۱۰، کروم ۱۶، نیکل ۱۰۰، سرب ۱۲۰ و روی ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیش‌تر از حد مجاز است. چن (۱۹۹۴) حد استاندارد مقدار کادمیوم در گیاه برنج را ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در تایوان و در ژاپن ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و کاباتاپندیاس و پندیا (۱۹۹۲) حد سمیت نیکل را برای گیاهان بین ۱۰۰-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام کرده‌اند. سینگها و همکاران (۲۰۱۱) تجمع و انتقال عناصر سنگین از آب به خاک و بخش‌های مختلف گیاه برنج را در هند مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که غلظت آن‌ها (کادمیوم سرب، روی، منگنز و آرسنیک) به جز مس بیش از نمونه‌های شاهد بوده و غلظت آن‌ها در ریشه نیز بیش‌تر از اندام‌های هوایی است. مقایسه این غلظت با استاندارد کشور هند بیانگر شرایط بحرانی خاک و برنج منطقه است. روجان و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی گسترده‌ی عناصر سنگین در خاک‌های شالیزاری مقدونیه، غلظت کادمیوم، مس، سرب و روی در دو منطقه مورد آزمایش بسیار زیاد گزارش شده که به‌طور عمده ناشی از ورود آلودگی معدن اطراف به داخل رودخانه می‌باشد که زه‌کش معدن یاد شده می‌باشد. لین (۱۹۹۱) مقادیر ۸ عنصر را در سبزیجات و گیاهان زراعی از جمله برنج در تایوان بررسی قرار داد و عنوان کرد مقدار عناصر آرسنیک، کادمیم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی در برنج قهوه‌ای به‌ترتیب برابر ۰/۱۷، ۰/۰۷، ۰/۱۶، ۲/۴۸، ۰/۰۰۱، ۰/۵۴، ۰/۴۳ و ۳۹/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است و رابطه معنی‌داری بین سطوح کادمیم و سرب در ریشه و دانه برنج و مقدار این عناصر در خاک عصاره‌گیری شده با اسید کلریدریک ۰/۱ مولار وجود داشته است. آلوی (۱۹۹۰)، ایرز (۱۹۸۵) و آووا (۱۹۷۱) مقدار مجاز و استاندارد کادمیوم، سرب، نیکل، روی و سرب در آب را به‌ترتیب ۰/۰۰۳، ۰/۲، ۰/۲، ۲ و ۵ میلی‌گرم در لیتر و در اراضی شالیزاری به‌ترتیب ۱/۵، ۱، ۱، ۰ و ۳۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک عنوان نمودند. در اراضی شالیزاری مواد آلی نقش مهمی در تجمع عناصر سنگین در خاک دارد. بنابر عقیده برزونیک (۱۹۹۳) احتمالاً به تشکیل کمپلکس‌های پایدار این عناصر با لیگاندهای آلی مانند هیومیک، تانیک و فولویک موجود در مواد آلی و افزایش جذب آن مربوط است، همچنین ملکوتی و کاووسی (۲۰۰۲) اعلام می‌دارند که کود آلی باعث افزایش تمامی

شکل‌های روی به‌جز اکسیدهای آهن کریستالی و روی باقی‌مانده شده و شرایط خیس و خشک شدن در اراضی شالیزاری باعث افزایش جزو آلی آن می‌شود. ایجاد کمپلکس‌های آلی مس با اسید فولیک موجود در مواد آلی و نقش آن در تثبیت و آزادسازی این اسیدهاست و مشابه این رفتار توسط گنجایش تبادل کاتیونی و مقدار رس که در جذب و نگاهداری عناصر سنگین مانند ماده آلی عمل می‌کنند، گزارش شده است (لیندسی، ۱۹۷۹). دونابین و بومر (۱۹۹۲) بیان داشتند که کانی‌های رسی و هیدروکسیدها در اراضی شالیزاری به‌طور انتخابی عناصر سنگین را جذب و رسوب داده ولی تغییرات اسیدیته می‌توانند این روند را اندکی تحت‌تأثیر قرار دهد و واکنش این عناصر به این شرایط متفاوت بوده و بیش‌ترین آن مربوط به سرب و سپس به‌ترتیب مس، روی، نیکل و کادمیوم است.

هدف از انجام این پژوهش عبارتند از:

- ۱) اندازه‌گیری عناصر سنگین روی، مس، نیکل، سرب و کادمیوم در آب رودخانه زرجوب، خاک شالیزارهای تحت آبیاری آن و کاه و دانه برنج رقم هاشمی (رقم غالب منطقه)
- ۲) بررسی پراکنش عناصر سنگین بالا در مسیر رودخانه و خاک شالیزارهای تحت آبیاری
- ۳) بررسی روابط این عناصر با خصوصیات خاک

مواد و روش‌ها

رودخانه زرجوب رشت از به‌هم پیوستن رودخانه سیاهرود و گیل‌رود و شاخه‌ای که از شرکت دام‌پروری سفیدرود خارج می‌شود شکل گرفته و در منطقه کُماکُل (شمال شهر رشت) به گوهررود پیوند خورده و از این مکان به بعد به‌نام رود پیربازار به تالاب انزلی می‌ریزد (مهندسین مشاور هم‌آب، ۲۰۰۳). در طی مسیر فاضلاب‌های شهرک صنعتی رشت، فاضلاب‌های خانگی و کشاورزی به آن افزوده شده و زرجوب را به آلوده‌ترین رودخانه استان تبدیل می‌کند. در مسیر حرکت این رودخانه‌ها، کشاورزان به کمک پمپ و یا ذخیره آب این رودخانه‌ها در آب‌بندان‌ها، از آب آن‌ها برای آبیاری شالیزارها استفاده می‌کنند. از آب رودخانه در ۲۰ نقطه براساس بازدید از مسیر، پراکنش ورودی منابع آلوده‌کننده و پراکنش اراضی شالیزاری (در فصلی که بیش‌ترین مقدار ورودی آب به شالیزار صورت می‌پذیرد)، نمونه تهیه شد. در توزیع مکانی محل نمونه‌برداری دقت شده است تا نقاط قبل، بین و بعد از شهر در تعداد نمونه‌ها در نظر گرفته شود. نمونه‌ها از محل وسط عرض و عمق میانی رودخانه تهیه

و بلافاصله در ظروف پلی‌اتیلن ریخته و برای تثبیت فلزات سنگین ۳ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک غلیظ به آن‌ها اضافه شد تا اسیدیته محلول به حدود ۲ رسیده و از رسوب عناصر جلوگیری شود. نمونه به آزمایشگاه منتقل و با صافی رسوب‌زدایی شد و در ظروف پلی‌اتیلن تا زمان آزمایش در یخچال نگهداری شد. با توجه به غلظت کم عناصر سنگین در نمونه‌های آب و برای رساندن غلظت آن‌ها به دامنه حساسیت دستگاه جذب اتمی، نمونه‌ها تا ۲۰ برابر (هر بار ۵۰ میلی‌لیتر و در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری) غلیظ شده و سپس توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. براساس پراکنش اراضی شالیزاری در اطراف این رودخانه‌ها، تعداد ۲۳ نقطه که به‌طور مستقیم از آب رودخانه آبیاری می‌شدند انتخاب و از عمق‌های ۰-۱۵ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری مرکب صورت پذیرفت (۴۶ نمونه در دو عمق). نمونه‌ها هوا خشک شده و بعد از عبور از الک ۲ میلی‌متری، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها سنجش گردید. برای تعیین توزیع اندازه ذرات خاک از روش هیدرومتر، pH گل اشباع به‌وسیله الکتروود شیشه‌ای، اندازه‌گیری میزان شوری خاک در عصاره اشباع توسط دستگاه هدایت‌سنج در دمای آزمایشگاه و سپس تصحیح آن برای دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، آهک با روش تیتراسیون برگشتی با استفاده از اسیدکلریدریک یک نرمال و سود نیم نرمال، کربن آلی به روش سوزاندن تر با دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ، گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از استات سدیم در $pH=8/2$ و استات آمونیوم خنثی استفاده شده است. برای استخراج عناصر، ۱۰ گرم خاک هوا خشک را در ارلن‌مایر ۱۲۵ میلی‌لیتری ریخته و به آن ۲۰ میلی‌لیتر محلول دی تی پی ای اضافه کرده و به مدت ۲ ساعت بر روی هم‌زن اتوماتیک دورانی با ۱۴۵ دور در دقیقه گذاشته و سپس آن را با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف کرده و غلظت این عناصر با دستگاه جذب اتمی قرائت شد. نمونه‌های مرکب گیاه (۳ نقطه و هر نقطه ۳ بوته) با قطع بوته‌ها از ۵ سانتی‌متری بالای یقه از همان کرت‌هایی که نمونه‌برداری خاک در آن‌ها صورت گرفته بود، تهیه شد. سپس دانه و کاه از هم جدا و دانه‌ها به برنج سفید تبدیل شد. تعداد ۴۶ نمونه برداشت شده (۲۳ نمونه کاه و ۲۳ نمونه برنج سفید) پس از انتقال به آزمایشگاه با آب معمولی و مقطر شستشو و سپس در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد (به مدت ۴۸ ساعت) خشک و پس از آن توسط آسیاب برقی پودر شده و در ظروف پلی‌اتیلن ذخیره گردید. برای عصاره‌گیری از روش سوزاندن خشک، اسید کلریدریک یک نرمال استفاده شد و غلظت این عناصر با دستگاه جذب اتمی قرائت (کلوت، ۱۹۸۵) و داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

نتایج و بحث

جدول ۱- غلظت میانگین، بیشینه و کمینه عناصر سنگین در آب، خاک و گیاه اراضی شالیزاری اطراف رودخانه‌های زرجوب.

غلظت عناصر سنگین (میلی گرم در لیتر)					حدود غلظت	نوع نمونه
مس	روی	نیکل	سرب	کادمیوم		
۰/۰۰۶۴	۰/۰۴۴	ND	ND	ND*	میانگین	آب
۰/۰۲۱	۰/۴	ND	ND	ND	بیشینه	
۰/۰۰۸	۰/۰۰۸	ND	ND	ND	کمینه	
۰/۲۰	۲	۰/۲۰	۵	۰/۰۱	استاندارد*	
غلظت عناصر سنگین (میلی گرم در کیلوگرم)						
۷/۵	۱۳/۲۳	۰/۹۸۷	۰/۰۸۴	۰/۰۸۸	میانگین	خاک لایه ۰-۱۵
۱۱/۵	۳۴/۴	۲/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۲	بیشینه	
۴	۴	۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۴	کمینه	
۷/۱۸	۱۱/۴۱	۱/۰۹	۰/۰۸۲	۰/۰۷۸	میانگین	خاک لایه ۱۵-۳۰
۱۲/۶	۲۶/۱	۴	۰/۰۱	۰/۲	بیشینه	
۲/۹	۲/۹	۰/۱	۰/۱۹	۰/۰۲	کمینه	
۴/۵	۲۷/۷	۲۲/۳	ND	ND	میانگین	برنج سفید
۹/۹	۳۰	۳۱/۸	ND	ND	بیشینه	
۲	۱۹/۳	۱۳/۳	ND	ND	کمینه	
۱/۴	۲۱/۷	ND	ND	ND	میانگین	کاه و کلش
۳/۳	۳۵/۹	۱۳/۹	ND	ND	بیشینه	
۰/۳	۱۲/۶	ND	ND	ND	کمینه	

ND=مقدار عنصر از حد ۰/۰۰۰۱ میلی گرم در کیلوگرم کم تر بوده و از حد تشخیص دستگاه جذب اتمی پایین تر است.
* استاندارد براساس ایز ۱۹۸۵).

جدول ۲- بررسی رابطه برخی خصوصیات خاک با غلظت عناصر سنگین در خاک.

معادله	R	نوع رگرسیون
$Cd = 0.053 - 0.002 EC + 0.19 pH - 0.002 CEC + 0.03 OC$	0.556	چندمتغیره
$Cd = 0.042 + 0.17 OC$	0.49*	گام به گام
$Pb = -0.181 + 0.009 EC + 0.31 pH - 0.002 OC + 0.01 Clay$	0.545	چندمتغیره
$Pb = -0.168 + 0.31 pH + 0.01 Clay$	0.521	گام به گام
$Ni = -0.05 EC - 0.776 pH - 0.005 CEC + 0.51 OC - 0.14 Clay$	0.484	چندمتغیره
$Ni = 0.474 - 0.396 pH$	0.438*	گام به گام
$Zn = 9.52 - 0.591 EC + 0.229 pH - 0.176 CEC + 4.345 OC - 0.49 Clay$	0.443	چندمتغیره
$Zn = 7.445 + 2.515 OC$	0.416*	گام به گام
$Cu = +4.327 + 0.047 EC + 1.191 pH - 0.004 CEC + 0.833 OC + 0.051 Clay$	0.766**	چندمتغیره
$Cu = -3.539 + 1.174 OC + 1.221 pH$	0.738**	گام به گام

جدول ۳- ضرایب همبستگی و آزمون t برای عناصر سنگین در دو لایه ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی متری خاک.

ملاحظات	R	میانگین	زوج‌های مورد بررسی
Zns _۱ : مقدار عنصر در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	۱۳/۲۳	0.044 ^{ns}	Zns _۱
Zns _۲ : مقدار عنصر در لایه ۱۵-۳۰ سانتی متری خاک	۱۱/۴۱		Zns _۲
Cus _۱ : مقدار مس در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	۷/۵	0.812**	Cus _۱
Cus _۲ : مقدار مس در لایه ۱۵-۳۰ سانتی متری خاک	۷/۲	0.81**	Cus _۲
Nis _۱ : مقدار نیکل در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	0/99	0.779**	Nis _۱
Nis _۲ : مقدار نیکل در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	۱/09	0.78**	Nis _۲
Cds _۱ : مقدار کادمیوم در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	0/088	0.839**	Cds _۱
Cds _۲ : مقدار کادمیوم در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	0/078	0.84**	Cds _۲
Pbs _۱ : مقدار سرب در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	0/084	0.789**	Pbs _۱
Pbs _۲ : مقدار سرب در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک	0/082	0.79**	Pbs _۲

جدول ۴- رابطه‌های رگرسیونی بین مقادیر برخی عناصر سنگین در آب، خاک و گیاه.

R	معادله	متغیر وابسته	متغیر مستقل
۰/۰۳۶	$Zns_1 = 13/02 + 3/186Znw$	Znw	Zns _۱
۰/۱۱۲	$Zns_2 = 11/765 - 6/863Znw$	Znw	Zns _۲
۰/۱۹۷	$Znp = 24/621 - 0/071Zns_1$	Zns _۱	Znp
۰/۱۹۹	$Znp = 24/729 - 0/091Zns_2$	Zns _۲	Znp
۰/۰۷۱	$Cus_1 = 7/687 - 30/472Cuw$	Cuw	Cus _۱
۰/۱۰۵	$Cus_2 = 7/515 - 52/327Cuw$	Cuw	Cus _۲
۰/۲۹۹	$Cup = 1/948 + 0/341Cus_1$	Cus _۱	Cup
۰/۲۵۳	$Cup = 2/723 + 0/248Cus_2$	Cus _۲	Cup
۰/۱۱۹	$Nip = 21/695 - 1/378Nis_1$	Nis _۱	Nip
۰/۲۴۷	$Nip = 17/944 + 2/2058Nis_2$	Nis _۲	Nip
۰/۱۴۷	$Znk = 23/297 - 0/012Zns_1$	Zns _۱	Znk
۰/۱۶	$Znk = 23/629 - 0/169Zns_2$	Zns _۲	Znk
۰/۱۷۶	$Cdk = 2/535 - 1/5Cds_1$	Cds _۱	Cdk
۰/۱۳۹	$Cdp = 2/142 - 0/102Cds_2$	Cds _۲	Cdk

Zns_۱: مقدار عنصر در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک، Zns_۲: مقدار عنصر در لایه ۱۵-۳۰ سانتی متری خاک، Znp: مقدار عنصر در دانه سفید، Cus_۱: مقدار مس در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک، Cus_۲: مقدار مس در لایه ۱۵-۳۰ سانتی متری خاک، Cup: مقدار مس در دانه سفید، Nis_۱: مقدار نیکل در لایه ۰-۱۵ سانتی متری خاک، Nis_۲: مقدار نیکل در لایه ۱۵-۳۰ سانتی متری خاک، Nip: مقدار نیکل در دانه سفید، Znw: مقدار روی در آب رودخانه، Cdw: مقدار کادمیوم در آب رودخانه، Znk: مقدار روی در کاه و Cdk: مقدار کادمیوم در کاه.

نتایج درج شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین، حداکثر و حداقل غلظت عنصر روی در ۲۳ نقطه نمونه برداری شده به ترتیب برابر ۰/۰۴۴، ۰/۴ و ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در لیتر و از آن مس به ترتیب برابر ۰/۰۰۶۴، ۰/۰۲۱ و ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. مقدار سرب، کادمیوم و نیکل موجود در آب رودخانه‌های زرجوب در حد تشخیص دستگاه (۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر) نبوده‌اند. غلظت سرب تنها در دو نمونه ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲ میلی‌گرم در لیتر بود. این دو نمونه مربوط به نقاط خروجی رودخانه از شهر رشت است. تغییرات غلظت این عناصر تحت تأثیر ورود فاضلاب‌های شهری خانگی و صنعتی بوده و قبل از شهر، متوسط پایین‌تری نسبت به داخل شهر داشته و سپس در خروجی شهر به حداکثر

می‌رسد. این روند با یافته‌های بهمنیار (۲۰۰۳) و شیرین‌فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) تطابق داشته و براساس سطوح استاندارد ارایه شده توسط آلوی (۱۹۹۰)، ایرز (۱۹۸۵) و آووا (۱۹۷۱)، غلظت عناصر در تمامی نمونه‌های مورد بررسی، زیر حد آستانه سمیت یا حد مجاز قرار دارند. همچنین مقایسه غلظت متوسط این عناصر با داده‌های بینای مطلق (۱۹۸۰)، پوررنگ (۱۹۸۰) و شیرین‌فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸)، بیانگر کاهش غلظت آن‌ها در این پژوهش است که احتمالاً ورود کم‌تر فاضلاب‌ها، تغییرات روزانه و فصلی غلظت فلزات، بارندگی فصلی و یا تخلیه توسط گیاه زراعی برنج می‌تواند در این کاهش تأثیرگذار باشد. حداکثر غلظت روی در لایه اول خاک ۳۴/۴، حداقل آن ۴ و میانگین آن ۱۳/۲۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و حداکثر مقدار روی در لایه دوم ۲۶/۱، حداقل آن ۲/۹ و میانگین آن ۱۱/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱). با توجه به ضریب همبستگی ۰/۰۴۴ بین مقادیر روی در لایه اول و دوم می‌توان نتیجه گرفت که رابطه معنی‌داری بین آن‌ها وجود ندارد (جدول ۳). اگرچه میانگین در لایه اول اندکی بیش‌تر از لایه دوم است. به‌نظر می‌رسد انجام شخم سالیانه برای کشت برنج در اختلاط خاک دو لایه بالا و کاهش تفاوت غلظت روی موجود در آن‌ها، تأثیر فراوان دارد بررسی غلظت روی در خاک‌های طول مسیر رودخانه نیز نشان می‌دهد که تفاوت چندانی بین غلظت روی نقاط نمونه‌گیری دیده نمی‌شود. همچنین مقایسه غلظت روی با حدود استاندارد این عنصر در اراضی شالیزاری بیانگر آن است که تنها یک نقطه به آستانه سمیت نزدیک است (روجان و همکاران، ۲۰۰۸؛ آلوی، ۱۹۹۰؛ ایرز، ۱۹۸۵؛ آووا، ۱۹۷۱). ولی مقایسه این اعداد (مقدار روی در هر دو لایه) با یافته‌های شیرین‌فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که مقدار میانگین روی در عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری ۲ برابر و در عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری ۱/۵ برابر نسبت به پژوهش قبلی افزایش یافته و می‌توان گفت در صورت ادامه این روند طی سال‌های آتی، احتمال آلودگی خاک‌ها به این عنصر به‌دلیل تجمع آن‌ها و نداشتن تحرک و خروج (شستشو) از خاک وجود دارد. بررسی همبستگی بین مقدار این عنصر و خصوصیات خاک (معادله استخراج شده از رگرسیون به روش گام به گام) نشان می‌دهد که روی تنها با مقدار کربن آلی رابطه معنی‌داری از خود نشان می‌دهد ($r=0/416^*$) (جدول ۲) که بنا بر عقیده برزونیک (۱۹۹۳) احتمالاً به تشکیل کمپلکس‌های پایدار این عناصر با لیگاندهای آلی مانند هیومیک، تانیک و فولویک موجود در مواد آلی و افزایش جذب آن مربوط است، همچنین ملکوتی و کاووسی (۲۰۰۲) اعلام می‌دارند که کود آلی باعث افزایش تمامی شکل‌های روی به‌جز اکسیدهای آهن کریستالی و روی باقی‌مانده شده و شرایط خیس و خشک شدن در اراضی شالیزاری باعث افزایش جزء آلی آن می‌شود ($r=0/416^*$)

(جدول ۲) (شیرین فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸؛ ملکوتی و کاووسی، ۲۰۰۳؛ لین، ۱۹۹۱). بررسی رگرسیون خطی بین مقدار این عنصر در آب و خاک (در ۲ لایه مختلف) (جدول ۴) نیز بیانگر این است که رابطه معنی‌داری بین مقدار آن‌ها وجود ندارد ($F=0/36$ برای لایه اول و $F=0/112$ برای لایه دوم). مقدار متوسط، حداکثر و حداقل روی در برنج سفید به ترتیب برابر ۲۷/۷، ۳۰ و ۱۹/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. این مقادیر در کاه برنج برابر ۱۲/۶، ۳۵/۹ و ۲۱/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱). بررسی این جدول نشان می‌دهد که مقدار روی در برنج سفید در تمام نقاط از یکنواختی بیش‌تری نسبت به مقدار آن در کاه برخوردار بود و مقدار آن در برنج سفید، تحت تأثیر پراکنش کورت‌های نمونه‌برداری شده در طول مسیر رودخانه نیست. مقایسه این داده‌ها با نتایج به‌دست آمده از مطالعه شیرین فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که مقدار میانگین روی کاهش یافته ولی مقدار حداقل روی، اندکی در بین نمونه‌ها افزایش نشان می‌دهد. مقدار روی در نمونه‌های برنج سفید همگی بالاتر از حد بحرانی کمبود و کم‌تر از حد سمیت بوده و مقدار روی در نمونه‌های کاه تنها در یک مورد بالاتر از حد بحرانی قرار دارد (۱۴/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم). جدول ۴ بیانگر آن است که رابطه معنی‌داری بین مقادیر روی موجود در برنج سفید و کاه با مقدار روی در لایه‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ خاک در این مطالعه به‌دست نیامده است (ضریب همبستگی (r) مقدار روی موجود در لایه‌های اول و دوم خاک با مقدار روی موجود در نمونه‌های برنج سفید ۰/۱۹۷ و ۰/۱۹۹ و در کاه به ترتیب ۰/۱۴۷ و ۰/۱۶ می‌باشد).

حداقل مقدار نیکل در لایه اول و دوم خاک به ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۱، مقدار حداکثر نیکل در لایه اول و دوم به ترتیب برابر ۲/۱۱ و ۴ و میانگین آن در لایه اول و دوم به ترتیب برابر ۰/۹۸۷ و ۱/۰۹ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (جدول ۱). بررسی مقادیر نیکل در ۲ لایه نشان از رابطه معنی‌دار آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد دارد ($F=0/679^{**}$) (جدول ۳)، که البته علت اصلی آن احتمالاً شخم سالیانه و اختلاط خاک در اثر گل‌خرابی است که بر خلاف تحرک کم این عنصر، مقدار نیکل در ۲ لایه از تفاوت چندانی برخوردار نمی‌گردد. مقایسه این داده‌ها با مقادیر مجاز و استاندارد نیکل در اراضی شالیزاری (آلوی، ۱۹۹۰؛ ایرز، ۱۹۸۵؛ آووا، ۱۹۷۱) نشان می‌دهد که مقدار نیکل در نقاط نمونه‌برداری شده بالاتر از حد مجاز بوده یا در آستانه فراتر رفتن از این حد می‌باشد. مقایسه نتایج بالا با یافته‌های شیرین فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که مقدار نیکل تغییر چشم‌گیری نیافته است. از آنجایی که این عنصر قابلیت تحرک بالایی در نیم‌رخ خاک ندارد می‌توان نتیجه گرفت که ورود نیکل به منابع آبی و سپس انتقال آن به خاک و گیاه کاهش و یا متوقف شده است. رگرسیون گام به گام بیانگر همبستگی

معنی‌دار بین نیکل و اسیدپته خاک در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد ($t=0/438^{**}$) (جدول ۲). این موضوع با یافته‌های پژوهندگان که اعلام نمودند همبستگی معنی‌داری بین نیکل خاک و گیاه در pH پایین‌تر وجود دارد، مطابقت دارد (شیرین‌فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸؛ آلوی، ۱۹۹۰). همچنین شیرین‌فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نیز رابطه معنی‌دار pH و نیکل خاک را گزارش کرده است. علت این موضوع این است که در pH کم‌تر از ۶/۵ ترکیبات نیکل به صورت نامحلول درآمده و قابلیت جذب خود را از دست داده و در خاک به صورت غیرقابل جذب می‌ماند. دونباین و بومر (۱۹۹۲) بیان داشتند که کانی‌های رسی و هیدروکسیدها در اراضی شالیزاری به‌طور انتخابی عناصر سنگین را جذب و رسوب داده ولی تغییرات اسیدپته می‌توانند این روند را اندکی تحت‌تأثیر قرار دهد و واکنش این عناصر به این شرایط متفاوت بوده و بیش‌ترین آن مربوط به سرب و سپس به‌ترتیب مس، روی، نیکل و کادمیوم است. حداقل غلظت نیکل در کاه کم‌تر از ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم که خارج از حد تشخیص دستگاه بوده و حداکثر آن ۱۳/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. به‌دلیل فراوانی نمونه‌هایی که مقادیر نیکل آن‌ها خارج از حد تشخیص دستگاه بود میانگین نیکل محاسبه نگردید. این در حالی است که حداقل غلظت نیکل در برنج سفید کم‌تر از ۰/۰۰۰۱، حداکثر ۳۱/۸ و میانگین آن ۲۰/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (جدول ۱). تفاوت چندانی بین غلظت نیکل نقاط نمونه‌گیری در طول مسیر رودخانه دیده نمی‌شود. براساس نظریه کاباتاپندیاس و پندیا (۱۹۹۲) که حد سمیت نیکل را برای گیاهان بین ۱۰۰-۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اعلام کرده است، غلظت نیکل در تمامی نمونه‌های برنج سفید و بخش زیادی از نمونه‌های کاه در حد سمیت قرار داشت. مقایسه داده‌های این مطالعه با شیرین‌فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نیز نشان از افزایش نیکل در گیاه برنج به مقدار ۳ برابر دارند که لازم است در این خصوص بررسی دقیق‌تر صورت پذیرد. حداقل غلظت مس در لایه اول و دوم خاک به‌ترتیب برابر ۴ و ۲/۹، حداکثر غلظت مس در لایه اول و دوم به‌ترتیب برابر ۱۱/۵ و ۱۲/۶ و میانگین غلظت مس در لایه اول و دوم به‌ترتیب برابر ۷/۵ و ۷/۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (جدول ۱). بررسی همبستگی غلظت مس بین ۲ لایه خاک نشان از همبستگی بالای مس در این ۲ لایه دارد ($t=0/812^{**}$) (جدول ۳). بررسی غلظت مس در رودخانه زرجوب نشان داد که از ابتدا به‌سمت انتهای مسیر نمونه‌برداری بر مقدار مس افزوده شده و این روند افزایشی در طول مسیر رودخانه حفظ شده است اگرچه بخش‌های کمی از این روند کلی پیروی نمی‌کنند. مقایسه مقادیر به‌دست آمده با حدود استاندارد مس در خاک (آلوی، ۱۹۹۰؛ ایرز، ۱۹۸۵؛ آووا، ۱۹۷۱) نشان می‌دهد که در این حال در هیچ‌یک از خاک‌ها خطر کمبود و یا سمیت مس وجود ندارد.

مقایسه این داده‌ها با یافته‌های شیرین فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نشان می‌دهد که طی یک دوره در حدود ۱۰ ساله، میانگین مقدار مس در خاک تقریباً ۲ برابر و در برخی موارد حتی تا ۴ برابر افزایش داشته است. شاید بتوان نتیجه گرفت در صورت حفظ این روند طی یک دهه آینده با مشکل سمیت و آلودگی مس در خاک‌های شالیزاری اطراف رودخانه‌های یادشده رو به رو باشیم که البته این افزایش در لایه اول شدیدتر از لایه دوم رخ خواهد داد. تجزیه و تحلیل همبستگی بین مقدار مس و خصوصیات خاک نشان می‌دهد که مس با گنجایش تبادل کاتیونی ($r=0/576^{**}$)، کربن آلی ($r=0/88^{**}$) و مقدار رس ($r=0/53^{**}$) در سطح احتمال ۱ درصد رابطه معنی‌داری دارد (جدول ۲). مشابه این رفتار نیز پیش از این توسط سایر پژوهش‌گران گزارش شده است (آووا، ۱۹۷۱؛ بهمنیار، ۲۰۰۳)، که دلیل آن ایجاد کمپلکس‌های آلی مس با اسید فولیک موجود در مواد آلی و نقش آن در تثبیت و آزادسازی این اسیدهاست و مشابه این رفتار توسط گنجایش تبادل کاتیونی و مقدار رس که در جذب و نگاهداری مس مانند ماده آلی عمل می‌کنند، گزارش شده است (ملکوتی و کاووسی، ۲۰۰۳؛ برزونیک، ۱۹۹۳؛ لیندسی، ۱۹۷۳). رگرسیون گام به گام نقش برجسته کربن آلی و تغییرات pH را با مقدار این عنصر به شدت مورد تأیید قرار می‌دهد ($r=0/638^{**}$) (شیرین فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸؛ آلوی، ۱۹۹۰). انجام رگرسیون خطی بین مقدار مس آب و مقدار مس در ۲ لایه خاک مورد بررسی نشان از همبستگی بسیار کم این دو نسبت به هم دارد.

غلظت حداقل، میانگین و حداکثر مس در برنج سفید به ترتیب برابر ۲، ۴/۵ و ۹/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و این ارقام برای کاه به ترتیب برابر ۰/۳، ۱/۴ و ۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۱). جدول یادشده نشان می‌دهد که غلظت مس در برنج سفید بیش‌تر از کاه می‌باشد. همانند مقادیر مس در خاک، مقادیر بالای مس در گیاه، غالباً مربوط به نمونه‌هایی است که پس از شهر رشت تهیه شده‌اند. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار مس در خاک‌های تحت مطالعه در بیش‌تر موارد کم‌تر از حد کمبود آن برای گیاه برنج (ملکوتی و کاووسی، ۲۰۰۳؛ ملکوتی، ۲۰۰۲؛ شیرین فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸؛ آلوی، ۱۹۹۰) قرار داشته و شاید نیاز باشد در آینده‌ای نزدیک توصیه کودهای محتوی مس به منابع کودی برنج اضافه شود. حد بحرانی مس برای برنج ۰/۱ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک عصاره‌گیری شده با اسیدکلریدریک ۰/۰۵ نرمال یا ۰/۳-۰/۲ میلی‌گرم مس در کیلوگرم خاک عصاره‌گیری شده با $DTPA+CaCl_2$ در pH برابر ۷/۳ می‌باشد (ملکوتی و کاووسی، ۲۰۰۳). بررسی رابطه‌های رگرسیون خطی بین غلظت مس در گیاه و ۲ لایه خاک نشان می‌دهد که بین غلظت مس در

گیاه و غلظت مس در لایه اول ($r=0/299$) (جدول ۳) و لایه دوم ($r=0/253$) همبستگی ضعیفی وجود دارد. بررسی همبستگی بین مقادیر عناصر سنگین در آب، خاک و گیاه (جدول ۲) نشان می‌دهد که بین غلظت مس در آب و غلظت مس در کاه رابطه معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۱ درصد وجود دارد ($r=0/587^{**}$) که با یافته‌های برخی از پژوهش‌گران مطابقت دارد (بینای مطلق، ۱۹۸۰؛ پوررنگ، ۱۹۹۳؛ شیرین فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸). حداقل، میانگین و حداکثر غلظت کادمیوم در لایه اول خاک به ترتیب برابر $0/04$ ، $0/088$ و $0/22$ میلی‌گرم در کیلوگرم و این مقادیر در لایه دوم به ترتیب برابر $0/02$ ، $0/078$ و $0/20$ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۱). مقادیر کادمیوم در ۲ لایه خاک همبستگی شدیدی با هم داشته ($r=0/839^{**}$) و رابطه آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است (جدول ۲). با توجه به تحرک نداشتن کادمیوم در خاک، همبستگی بالای غلظت کادمیوم دو لایه خاک به انجام عملیات شخم و گل‌خرابی در ضخامت ۳۰-۰ سانتی‌متری در زمان آماده کردن زمین شالیزاری مربوط است که سبب می‌شود توزیع این عنصر وابسته به عمق خاک نباشد. بررسی پراکنش مقادیر مختلف کادمیوم اندازه‌گیری شده در اراضی شالیزاری اطراف رودخانه‌ها نشان می‌دهد که بر خلاف وجود تغییرات جزئی در طول مسیر رودخانه، روند کلی افزایش مقدار آن از ابتدا تا انتهای مسیر رودخانه می‌باشد. مقایسه ارقام کادمیوم اندازه‌گیری شده با حدود استاندارد جهانی (آلوی، ۱۹۹۰؛ ایرز، ۱۹۸۵؛ آووا، ۱۹۷۱) بیانگر آن است که خاک‌های اراضی شالیزاری دارای مقدار کادمیوم بسیار پایین‌تری از حد مجاز سمیت این عنصر می‌باشند. مقایسه کادمیوم سنجش شده در این طرح با یافته‌های شیرین فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نشان می‌دهد طی این مدت میزان آلودگی بسیار کاهش یافته که این تفاوت ممکن است مربوط به نقاط مختلف نمونه‌گیری دو طرح و یا کاهش مصرف کودهای فسفره با استاندارد آلودگی پایین مربوط باشد که احتمالاً مربوط به کاهش مصرف کودهای فسفره باشد. بررسی رابطه بین غلظت عنصر کادمیوم قابل جذب خاک با خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان می‌دهد که رابطه کادمیوم قابل جذب با مقدار ماده آلی در سطح احتمال ۱ درصد ($r=0/498^{**}$) و با هدایت الکتریکی ($r=0/341^*$) و گنجایش تبادل کاتیونی ($r=0/338^*$) در سطح احتمال ۵ درصد رابطه معنی‌دار دارد. ولی پس از انجام رگرسیون گام به گام تنها با کربن آلی در سطح احتمال ۵ درصد رابطه معنی‌داری را نشان داد ($r=0/449^*$) (جدول ۲). آلوی (۱۹۹۰) دلیل این رابطه را تأثیر مواد آلی در حلالیت و قابلیت جذب کادمیوم در خاک‌های اسیدی اعلام می‌کند که طی آن کمپلکس‌های آلی کادمیوم در افزایش حلالیت آن دخالت دارند. وی رابطه منفی گنجایش تبادل کاتیونی با کادمیوم را ناشی از اثر آن

در جذب و نگاهداری کادمیوم در نقاط تبادلی بیان نموده است. بررسی نتایج به دست آمده از اندازه گیری کادمیوم در اندام های هوایی گیاه برنج (کاه و برنج سفید) (جدول ۱) نشان می دهد که به استثنای ۳ مورد (برنج سفید) در سایر موارد مقدار کادمیوم کم تر از حد تشخیص دستگاه بوده اند. از آنجایی که حد استاندارد مقدار کادمیوم در گیاه برنج براساس مطالعات چن (۱۹۹۴) ۰/۵ میلی گرم در کیلوگرم در تایوان و در ژاپن ۱ میلی گرم در کیلوگرم اعلام شده است می توان نتیجه گرفت هیچ گونه آلودگی کادمیومی در داخل نمونه های کاه و برنج سفید مورد بررسی دیده نمی شود. این بررسی با نتایج به دست آمده از شیرین فکر زل پیرانی (۱۹۹۸) نیز تطابق دارد.

حداقل، میانگین و حداکثر غلظت سرب در لایه اول خاک به ترتیب برابر ۰/۰۱، ۰/۰۸۴ و ۰/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم و این مقادیر در لایه دوم خاک به ترتیب عبارتند از ۰/۱۰، ۰/۰۸۲ و ۰/۱۹ میلی گرم در کیلوگرم (جدول ۱). بررسی رابطه غلظت سرب در ۲ لایه نشان می دهد که بین آن ها رابطه معنی داری در سطح احتمال آماری ۱ درصد وجود دارد ($t=0/689^{**}$) (جدول ۳). همانند سایر عناصر، علت همبستگی شدید مقدار این عنصر در ۲ عمق ۰-۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی متری، انجام عملیات شخم سالیانه در لایه ۰-۳۰ سانتی متری و انجام عملیات گل خرابی است که سبب می شود توزیع این عنصر در اثر اختلاط لایه ها در نیم رخ خاک یکنواخت شود. بررسی پراکنش غلظت سرب نمونه های خاک در طول مسیر رودخانه نشان می دهد که بر خلاف وجود ناهمگونی های اندک، سیر افزایشی مقدار سرب با حرکت از ابتدا به سمت انتهای مسیر نمونه برداری حفظ شده و مقادیر حداکثر غالباً مربوط به اراضی بعد از شهر رشت می باشند. مقایسه این ارقام با استانداردهای اعلام شده (سینق و همکاران، ۲۰۱۱؛ آلوی، ۱۹۹۰؛ ایرز، ۱۹۸۵؛ آووا، ۱۹۷۱) نشان می دهد که مقادیر سرب در خاک های اراضی شالیزاری مورد بررسی بسیار کم تر از استانداردهای رایج می باشد. نتایج به دست آمده از شیرین فکر زل پیرانی (۱۹۹۸) با داده های این پژوهش اختلاف فاحش دارد. از آنجایی که سرب از راه هوا و آلودگی ناشی از مواد سوختی نیز می تواند وارد خاک شود و از آنجایی که غالب نمونه ها از محل هایی دور از جاده و از حاشیه رودخانه ها گرفته شده است مقدار سرب نسبت به پژوهش قبلی کم تر است. انجام رگرسیون گام به گام نشان داد که تنها بین مقدار سرب قابل تبادل و مقدار رس و اسیدیته خاک رابطه معنی داری در سطح احتمال آماری ۱ درصد وجود دارد ($t=0/521^{**}$) (جدول ۲). از آنجایی که در اسیدیته زیر ۶ مقدار حلالیت سرب افزایش یافته و در pH بالای ۸ کانی های آن پایداری خود را حفظ می کنند و همچنین مقدار رس با تأثیر روی جذب سطحی این عنصر سبب غیرمتحرک شدن آن می شود این

رابطه‌ها قابل پیش‌بینی است (شیرین‌فکر زل‌پیرانی، ۱۹۹۸؛ لین، ۱۹۹۱؛ لیندسی، ۱۹۷۹). جدول ۱ نشان می‌دهد که مقدار سرب به‌استثنای یک مورد در بقیه موارد در زیر حد تشخیص دستگاه جذب اتمی (کم‌تر از ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار دارد که این مقادیر از استانداردهای اعلام شده (۴، ۶، ۸ و ۹) برای گیاه برنج بسیار کم‌تر بوده و با مطالعات شیرین‌فکر زل‌پیرانی (۱۹۹۸) نیز مطابقت دارد.

پیشنهادات

۱- با توجه به اهمیت رودخانه‌های مورد بررسی در حفظ محیط زیست منطقه، تالاب انزلی و اراضی کشاورزی تحت آبیاری آن‌ها لازم است نقاطی به‌صورت ثابت برای انجام آزمایش‌های مختلف سنجش آلودگی‌ها در طول مسیر انتخاب و این پایش به‌صورت سالیانه و بر حسب چرخه هیدرولوژیکی رودخانه‌ها به‌طور مداوم تکرار شود.

۲- از آن‌جایی که مقایسه بررسی‌های انجام شده طی چند دهه گذشته بیانگر کاهش غلظت عناصر سنگین در آب و خاک و گیاه برنج می‌باشد، لازم است سازمان‌های مربوطه با تدوین آیین‌نامه‌هایی با حفظ روند کنونی نسبت به دستیابی به هدفی بزرگ‌تر که پاک‌سازی این رودخانه‌ها و محیط‌های متأثر از آن از تمامی آلوده‌کننده‌هاست بکوشند.

۳- جایگاه بررسی باقی‌مانده سموم و غلظت نیترات و عناصر سنگین در محصولات کشاورزی به‌خصوص برنج و محصولاتی که مصرف تازه‌خوری دارند (صیفی‌جات و سبزی‌جات) از حالت یک فعالیت جنبی به یک نگاه مهم و تثبیت شده تغییر یافته و به‌طور سالیانه نسبت به کنترل انواع آلوده‌کننده‌ها اقدام مداوم به‌عمل آید.

۴- لازم است تا پژوهشی جامع‌تر (با امکانات کافی و حمایت مناسب‌تر) در سطح وسیع‌تر و نگاه جامع‌تر (کنترل رسوبات کف، مینرالوژی و...) تدوین و به مرحله اجرا درآید.

منابع

1. Alloway, B.J. 1990. Heavy metals in soils. Blackie and Son LTD. London, 368p.
2. AWWA. 1971. Water quality and treatment. A handbook of public water supplies. Prepared by the American water works association. Inc Mc Graw-Hill Book Company, 1223p.
3. Ayers, R.S. 1985. Water quality for agriculture. F.A.O. Irrigation and drainage. 174p.

4. Bahmanyar, M.A. 2003. Evaluation of heavy metals conditions in Tajan river of Mazandaran and its changes on water dams. 8th soil science congress of Iran. Guilan University. (In Persian)
5. Berzonik, P.L. 1993. Chemical kinetics and process dynamic in aquatic systems. Lewis Pub. Boca Raton Ann. Arbor. London, Tokyo, 784p.
6. Binaye Motlagh, P. 1980. Heavy metals of Zarjoob River in Rasht city and its sources. M.Sc. Thesis. Health College. Tehran University. (In Persian)
7. Chen, Z.S. 1994. Soil properties of soil contaminated with Cd and Pb and their remediation tests in Taiwan. National Chung-Hsing University Taiwan ROC. Pp: 3-17.
8. Dunbabin, J.S., and Bowermer, K.H. 1992. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial waste waters containing metals. *Science of the Total environment*, 3: 151-168.
9. Hamab consulting engineer. 2003. Spacious water project of Iran. Surface water resource of Sepidrood watershed, Anzali lagoon and Talesh. Power ministry. (In Persian)
10. Kabata-Pendis, A., and Pendia, H. 1992. Trace element in soil and plants, CRC Press. Boca Raton Ann Arbor. London, 223p.
11. Kimbrough, D.E., Cohen, Y., Winter, A.M., Creelman, L., and Mambai, C. 1999. A critical assessment of chromium in the environment. *Critical reviews in environment science and technology*, 29: 1. 1-46.
12. Klute, A. (Ed). 1985. Method of soil analysis. Part I and II. Am. Soc. Agron. U.S.A. 1358p.
13. Lin, H.T. 1991. A study on the establishment of heavy metal tolerance in soil through the heavy metal concentration of crop. Un pub. M.Sc. Thesis. Research institute of soil science. National University. Korea, 189p.
14. Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley and Sons. New York, 449p.
15. Malakooti, M.H. 2002. Source and decreasing methods of nitrate and cadmium pollutant in north of Iran paddy fields. Final report. Soil and water research institute. (In Persian)
16. Malakooti, M.H., and Kavooosi, M. 2003. Balanced nutrition of rice. Sena Pub. (In Persian)
17. Poorang, N. 1993. Comparison of heavy metals accumulation in two kinds of fish tissues at Anzali lagoon. M.Sc. Thesis. Natural resources college. Tehran University. (In Persian)
18. Römken, P.F., Guo, H.Y., Chu, C.L., Liu, T.S., Chiang, C.F., and Gerwin, F. 2005. Characterization of soil heavy metal pools in paddy fields in Taiwan: chemical extraction and solid-solution partitioning. *J. Soil Sed.* 9: 3. 216-228.
19. Rogan, N., Dolenc, T., Serafimovsk T., Tasev, I.G., and Dolenc, M. 2008. Determination of heavy metals in paddy soils (Kočani Field, Macedonia) by a sequential extraction procedure. *Materials and Geoenvironment*. 55: 4. 444-455.

20. Singha, J., Suraj, K.U., Pathaka, R.K., and Gupta, V. 2011. Accumulation of heavy metals in soil and paddy crop (*Oryza sativa*), irrigated with water of Ramgarh Lake, Gorakhpur, UP, India. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 93: 3. 462-473.
21. Shirinfekr Zolpirani, A. 1998. Evaluation of heavy metals concentration on Goohar rood and Zarjoob Rivers and its accumulation on soils and rice of paddy fields under their irrigation. M.Sc. Thesis. Azad University, Tehran. (In Persian)
22. Yaron, B., Calvet, R., and Prost, R. 1996. *Soil pollution, processes and dynamic*. Springer, 313p.
23. Zueng-Sang, C. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. Department of agricultural chemistry national Taiwan university. final report. Vol: 4. Taipei, Taiwan, ROC.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(3), 2013
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Heavy metals (kind and amount) in Zarjoob River and their effects on rice and paddy soils under its irrigation

***Sh. Mahmood Soltani**

Research Instructor, Rice Research Institute, Iran

Received: 11/16/2009; Accepted: 09/10/2012

Abstract

Low quality water use for agricultural production is increasingly regarded as a solution for water scarcity, and also provide new sources of water for higher food production in the world. But its use could create environmental and health hazards and prevent to achieve sustainable agriculture. The objectives of this study are to investigate the extent and degree of heavy metal contamination (Cadmium (Cd), Nickel (Ni), Zinc (Zn), Copper (Cu) and Lead (Pb)) at 23 points along Zarjoob river in water, soils of paddy fields under its irrigation, and rice grains and straws (Hashemi var.) and also the relationship between heavy metals concentration and soil physico-chemical properties (pH, CEC, texture, TNV, EC) and rice grain and straw were determined. The analytical results indicated measured heavy metals concentration in water, soil and plant tissues (except a numbers) are less than critical levels, however an increasing trend was found with river length (before city<city<after city) especially for lead, copper and cadmium in comparison with human health standard rates. The linear multiple regression equations indicated significant correlation of Cd, Zn and Cu with organic carbon and pH, Pb with clay content and pH, Ni with pH, concentration of Cu, Ni, Cd and Pb in 0-15 and 15-30 cm soil depth. No significant correlation was found between Cu, Ni, Cd, Zn and Pb concentration in water, soil and plant tissues. Comparing these data with last decade researches findings represent 3-4 times increase of these heavy metals at plant tissues.

Keywords: Heavy metals, Rice, Zarjoob River, Paddy fields

* Corresponding Author; Email: shmsoltani@gmail.com

