محیط شناسی، سال سی و پنجم، شمارهٔ ۵۱ پاییز ۸۸، صفحهٔ ۲۷-۳۶

بررسی مهم‌ترین منبع آلایندهٔ صنعتی خاک و آب و گیاه در استان یزد

چکیده

استان یزد یکی از مناطق خشک کشور از نظر منابع آب است. بهره‌برداری مجدد از پساب‌های صنعتی در کشاورزی می‌تواند تا حدودی کمبود آب را جبران کند. از طرف دیگر آثار منفی استفاده از این آبها نیز برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست باید در نظر گرفته شود. در تحقیق حاضر ابتدا با بررسی اطلاعات جمع‌آوری شده و نتایج تحقیقات قبلی صورت گرفته، طبقه‌بندی صنایع استان بر حسب میزان آلایندگی انجام و مهم‌ترین منبع آلاینده آب و خاک و گیاه پساب صنعتی و مهم‌ترین صنعت تولیدکننده پساب صنعت نساجی تعیین شد. سه واحد مهم صنعتی نساجی افشار، سلک‌باف و یزدباف انتخاب وطی دو سال کیفیت پساب و آثار آن بر خاک، گیاه و آب زیرزمینی بررسی شد. نتایج نشان داد در واحدهای صنعتی مورد بررسی برای تخلیه پساب به آب سطحی از نظر pH ، TDS ، TSS، سولفات، کلر، روی و کادمیم، برای تخلیه پساب به چاه جاذب از نظر TDS ، سولفات، کلر، روی و کادمیم و برای آبیاری اراضی کشاورزی با پساب از نظر pH، شوری، TDS ، TSS، سولفات، کلر، بی‌کربنات، مس، روی و کادمیم پساب محدودکننده بود. چاههای آب از نظر عناصر سنگین مورد بررسی، غلظت کمتر از حد مجاز بود و هیچ گونه محدودیتی از این نظر نداشتند اما از نظر مشخصه‌های pH ، شوری، TDS، سولفات، کلر و بی‌کربنات دارای محدودیت بودند. در خاکهای مورد بررسی غلظت عناصر سنگین روی و کادمیم در محدودهٔ غلظت بحرانی قرار داشت و خاکها از نظر مواد آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب مقادیر بالاتری را نسبت به شاهد دارا بودند. گیاهان مورد بررسی از نظر عناصر سنگین روی و مس دارای آلودگی بودند. در کلیهٔ مناطق غلظت کلیه عناصر سنگین مورد بررسی در خاک نسبت به شاهد بالاتر بود. همچنین غلظت برخی از عناصر سنگین در خاک و گیاه فراتر از حد مجاز قرار داشت که مبین آلودگی خاکها و گیاهان توسط پساب صنعتی مورد استفاده بود.

کلید واژه

حد مجاز ، عناصر سنگین ، آلودگی ، غلظت بحرانی ، پساب صنعتی

سرآغاز

تخلیهٔ بی‌رویه فاضلاب‌های صنعتی به آبهای پذیرندهٔ آثار زیان‌باری را به محیط زیست بویژه اراضی کشاورزی که با این آبها مشروب می‌شوند وارد می‌سازد. از جمله مسائلی که اخیراً توجه عده زیادی از محققان و صاحب‌نظران به مسائل زیست‌محیطی را جلب کرده است وجود فلزات سنگین در پساب‌های کاربردی و تأثیر آن بر خاکهای زراعی پذیرنده و گیاهان کشت شده در آن مناطق است. آب مصرفی به‌وسیلهٔ صنعت در بسیاری از کشورها رشد چشمگیری داشته است. برای مثال در چین مقدار آب مصرفی توسط صنعت در سال ۱۹۹۵ برابر ۵۲ بیلیون تن بوده است که این رقم در سال ۲۰۳۰ به ۲۶۹ بیلیون تن خواهد رسید. از طرف دیگر بیش از ۴۰۰ شهر کوچک و متوسط صنعتی در چین هر ساله مقادیری بیش از ۱۰ بیلیون تن پساب تولید می‌کنند (Brown, & Brain,1998). در پاکستان پساب به‌طورمستقیم در آبیاری استفاده می‌شود. در این کشور ۳۲۵۰۰ هکتار از اراضی با پساب آبیاری می‌شوند(Ensink, et al., 2004). در هند ۲۵ درصد و در آفریقای جنوبی ۲۴ درصد از پساب تولیدی در اراضی کشاورزی برای آبیاری استفاده می‌شود (Gigzen, 2000). وجود عناصر سنگین در پساب‌ها و تجمع این عناصر (بویژه کادمیم و سرب) در خاک از جمله موارد مهم زیست محیطی است (Cid, et al.,2002). کادمیم مواد سمی زیادی برای گیاه و حیوان دارد،

نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۳۳۰۰۹۴۴۶

E-mail: hr.rahmanii@yahoo.com

به‌طوری‌که در گیاهان غلظت بالای کادمیم باعث کاهش عمل فتوسنتز و جذب آب و مواد غذایی می‌شود (Ditoppi & Gabrielli, 1999). در یک تحقیق بالاترین غلظت کادمیم در برنج قهوه‌ای رشد کرده بر روی خاکهای آلوده، ۵/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد که مقدار آن در حد بحرانی است (Chen, et al., 1994). تایوان دارای بیش از ۱۰۰۰۰۰ واحد صنعتی است که ۲۰ درصد آنها تولید پساب می‌کنند. سطح وسیعی از اراضی کشاورزی تیمارشده با پساب این واحدها آلوده شده‌اند. غلظت کادمیم در دانه برنج این مزارع به‌طور متوسط ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. همچنین در این اراضی غلظت بحرانی عناصر سنگین کادمیم، کروم، سرب، روی و مس بترتیب ۱۰ ، ۱۶ ، ۱۲۰ ، ۸۰ ، ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک گزارش شده است که از حد مجاز EPA بالاتر است (EPA/ROC,1989). تحقیقات دیگر در زمینهٔ استفاده از پساب‌ها نشان داده است که فلزات سنگین در بهره‌گیری از پساب در آبیاری کشتزارها زیان‌آور نبوده است. همچنین تحقیقات انجام شده دیگر بر خاکهای آبیاری شده با پساب نشان دادند که هیچ یک از فلزات سنگین بعد از ۱۶ و ۲۵ سال به مرز زیان‌آوری نرسیده‌اند. اما در مجموع گزارش‌های بسیاری نیز وجود دارند که نشان داده‌اند استفاده از پساب‌های صنعتی توانایی افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک را تا مرز زیان‌آوری داشته است (Elliot, & Stevenson,1986). سازمان بهداشت جهانی و بسیاری از کشورها برای امنیت غذایی و سلامتی انسان و جانداران، استانداردها و جداول راهنمایی برای استفاده از پساب‌ها را ایجاد کرده‌اند (WHO, 2006) که توجه به این حدود ارائه شده (با تعدیل آنها با توجه به شرایط منطقه) ضروری است.

روش و مواد بررسی

با بررسی و شناخت صنایع مهم استان، طبقه‌بندی صنایع از نظر آلودگی انجام گرفت. از بین صنایع مهم آلایندهٔ آب و خاک صنعت نساجی به‌عنوان مهم‌ترین صنعت برای بررسی و تحقیق انتخاب شد و برای انجام تحقیق واحدهای مهم نساجی یزدباف، افشار و سلک‌باف برگزیده شد (شکل شمارهٔ ۱). تحقیق طی دوسال با بررسی کیفیت پساب‌های واحدهای انتخابی و خاک و گیاه متأثر از پساب آنها صورت گرفت. برای بررسی تأثیر پساب‌های صنعتی بر آب زیرزمینی، وضعیت آب زیرزمینی در شمال یزد (منطقه‌ای با تراکم استقرار صنایع) با انتخاب چاههای عمیق شرق، سلطانی، حاج‌صفار و حاج‌خلیفه و بررسی آب این چاهها و اثر آنها بر خاک و گیاه در مناطق ۱و۲ افشار صورت گرفت.

شکل شمارهٔ (۱): موقعیت منطقهٔ مورد بررسی

برای نمونه‌گیری پساب، ظروف نمونه‌برداری یک بار با اسید نیتریک ۴ درصد و ۳ بار با آب مقطر برای جلوگیری از آلودگی شست‌وشو شدند. نمونه‌گیری پساب ۴ بار در سال و هر بار در هر واحد در یک دوره ۴۸ ساعته (هر ۸ ساعت یک‌بار) و نمونه‌گیری از آب چاهها ۲ بار در سال انجام شد. در نمونه‌های پساب و آب چاهها اندازه‌گیری pH و هدایت الکتریکی در محل انجام و سایر اندازه‌گیری‌ها شامل COD,BOD,TSS,TDS ، ازت نیتراتی، فسفر، کربن آلی، سختی کل، ازت کل، پتاسیم قابل جذب، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و غلظت عناصر سنگین مس، روی، کادمیم، سرب و کروم با انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه طبق روش استاندارد (APHA, 1995) انجام گرفتند. برای بررسی آثار پساب بر خاک و گیاه اراضی تحت آبیاری پساب واحدهای سلک‌باف (منطقه سلک‌باف) و یزدباف (منطقه یزدباف)که به ترتیب تحت استقرار گیاهان تاغ سیاه و پنجه مرغی بودند انتخاب شدند همچنین برای بررسی آثار آب زیرزمینی (منطقه با تراکم استقرار صنعت و تخلیه پساب‌ها در منطقه) بر خاک و گیاه دو منطقه تحت کشت گندم (مناطق افشار ۱ تحت آبیاری چاه شرق و افشار ۲ تحت آبیاری چاه حاج‌خلیفه) انتخاب و بررسی شدند. برای نمونه‌گیری از خاک و گیاه متأثر از پساب، یا آب چاه در اراضی آبیاری شده برای هر منطقه سطحی به‌وسعت یک هکتار انتخاب شد و نمونه‌گیری خاک در ۵ نقطه به‌صورت تصادفی (یک نقطه خارج از سطح مورد نظر و در اراضی بکر به‌عنوان شاهد) و در اعماق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر (در مناطق سلک‌باف و یزدباف در دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۷۰ سانتیمتر از سطح) طی دو سال (هر سال یک‌بار) انجام گرفت. نمونه‌های خاک با انتقال به آزمایشگاه خشک، کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و مشخصه‌های pH ، EC، درصد اندازه ذرات، مواد آلی، کربنات کلسیم ، ازت کل، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و غلظت عناصر سنگین مس، روی،

کادمیم، سرب و کرم در آنها اندازه‌گیری شد(Page, et al., 1982). همچنین نمونه‌گیری گیاه در سطح یک هکتار از مناطق انتخابی طی ۲ سال (هرسال یک‌بار) از گیاه غالب هر منطقه (در منطقه یزدباف گیاه پنجه‌مرغی Cynodon dactylon، در منطقه سلک‌باف تاغ سیاه Haloxylon aphyllum و درمناطق ۱و۲ افشار گیاه گندم Triticum aestivum) در ۵ نقطهٔ تصادفی و به‌طور جداگانه از اندام هوایی و ریشه صورت گرفت. نمونه‌های گیاهی با انتقال به آزمایشگاه مورد تجزیهٔ مشخصه‌های درصد ماده خشک، کلر، فسفر قابل جذب، ازت کل، پتاسیم قابل جذب و عناصر سنگین مس، کادمیم، روی، سرب و کروم قرار گرفتند (Robert,1990)

نتایج و بحث پساب واحدهای مورد بررسی

جدول شمارهٔ (۱) دامنه مقادیر مشخصه‌های مورد اندازه‌گیری در نمونه‌های پساب در سال اول و دوم در واحدهای مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج و حدود مجاز (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۳) می‌توان گفت از نظر pH پساب‌های واحدهای افشار و یزدباف برای تخلیه به چاه جاذب محدودیتی ندارند، اما برای تخلیه پساب به آب سطحی و استفاده در کشاورزی گاهی دارای محدودیت هستند. پساب واحد سلک‌باف برای کلیهٔ موارد مصرف از نظر pH ، بیشتر اوقات دارای محدودیت است (سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۳).

جدول شمارهٔ (۱): دامنه مقادیر مشخصه‌های مورد اندازه‌گیری در نمونه‌های پساب واحدهای مختلف

مشخصه	واحد یزدباف	واحد سلک‌باف	واحد افشار
pH	۷/۰– ۸/۹	۸/۶–۱۰/۰	۷/۸–۹/۰
Ec (ds/m)	۳/۸۴ –۵/۱۰	۱۷/۸۰–۲۳/۷۰	۴/۷۵–۵/۴۰
ازت نیتراتی (mg/l)	۱/۱۰–۲/۱۰	۱۸/۷۰–۲۹/۸۰	۹/۶۰–۲۲/۸۰
TSS (mg/l)	۲۸۶۲/۳ –۳۶۲۰/۵۰	۶۳۴۰/۸۰–۱۰۲۶۶/۷۰	۳۳۳/۳۰–۳۸۵۰/۸۰
TDS(mg/l)	۲۵۵۱/۵–۳۰۲۴/۰	۱۲۲۲۲/۰ –۱۲۹۱۵/۰	۲۹۹۲/۵۰–۳۳۴۵/۳۰
BOD5 (mg/l)	۱۲۱۴–۱۳۲۶	۱۱۲۰–۱۱۸۰	۷۸۰–۹۲۰
COD(mg/l)	۱۲۸۵–۱۴۳۵	۱۲۰۳–۱۲۵۷	۱۰۵۰–۱۱۳۰
سولفات (mg/l)	۳۲۶/۴–۷۴۸/۸	۱۲۰۰/۰–۲۱۷۹/۲	۶۹۶/۰–۱۳۱۰/۴
بی کربنات (mg/l)	۲۸۹/۸–۵۹۷/۸	۵۱۸/۵–۸۰۵/۲	۹۷/۶–۵۴۲/۹
کلر (mg/l)	۵۹۶/۴۰–۱۱۹۶/۴۰	۴۹۷۰/۰–۶۹۳۳/۱۵	۴۵۴/۴۰–۱۲۹۵/۷۵
Cu(mg/l)	۰/۲۴ –۰/۵۷	۰/۸۰–۱/۰۰	۰/۱۴–۰/۳۶
Zn(mg/l)	۲/۴۸–۳/۴۲	۱۱/۲۰–۱۸/۰۰	۲/۴۶–۴/۳۵
Cd (mg/l)	۱/۷۷–۴/۵۰	۲/۷۶–۴/۳۵	LOD[1]۴/۳۱
Pd (mg/l)	LOD –۰/۰۷	LOD –۰/۱۱	LOD–۰/۱۱
Cr (mg/l)	LOD –۰/۰۳	LOD –۰/۰۷	LOD–۰/۰۴

1-Limit Of detection

در مطالعات، شوری معمول پساب‌ها ۰/۲ تا ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (رحمانی،۱۳۷۶). در مقایسه مقادیر شوری پساب‌ها با حد معمول فوق، مشاهده می‌شود که پساب کلیه واحدها دارای شوری فراتر از حد فوق است. همچنین طبق نظر آیرز و وسکات (حاج‌رسولیها، ۱۳۶۴) هدایت الکتریکی آب آبیاری اگر کمتر از ۰/۷ ، ۰/۷ تا ۳ و بیش از ۳ دسی‌زیمنس بر متر باشد به‌ترتیب آب برای آبیاری بدون محدودیت، دارای محدودیت کم تا متوسط و محدودیت شدید است که با توجه به نتایج و حدود ذکر شده می‌توان گفت پساب کلیهٔ واحدها جهت آبیاری دارای محدودیت شدید است. حد مجاز غلظت ازت نیتراتی در پساب برای تخلیه به آب سطحی و چاه

جاذب ۵۰ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر ذکر شده است. نتایج پساب واحد یزدباف در مقایسه با حدود مجاز از نظر ازت نیتراتی محدودیتی ندارد. پساب‌های واحدهای سلک‌باف و افشار جهت تخلیه به آب سطحی محدودیتی نداشته ولی برای تخلیه این پسابها به چاه جاذب دارای محدودیت است. طبق نظر آیرز و وسکات غلظت ازت نیتراتی در آب چنانچه کمتر از ۵ ، ۵ تا ۳۰ و بیش از ۳۰ میلی‌گرم در لیتر باشد استفاده از آب در کشاورزی بترتیب دارای عدم محدودیت، محدویت کم تا متوسط و محدودیت شدید است. با توجه به نتایج، پساب واحد یزدباف از نظر ازت نیتراتی برای استفاده در کشاورزی محدودیتی ندارد اما پساب واحدهای سلک‌باف و افشار دارای محدودیت کم تا متوسط است. در شهر یزد چاههای آب شرب در بسیاری از موارد نزدیک به محل‌های تخلیه فاضلاب‌های صنعتی یا شهری است بنابراین غلظت نیترات چنانچه در آب زیرزمینی بالا رود می‌تواند آب آشامیدنی را آلوده کند. استفاده از پساب‌های واحدهای سلک‌باف و افشار برای کشاورزی نیز دارای محدودیت است. استفاده بیش از حد نیاز کودهای ازته در سالهای متمادی گذشته سبب شده است که اراضی کشاورزی خود منبعی از فرم‌های مختلف ازت از جمله نیترات بوده و شستشوی نیترات به آب زیرزمینی از این اراضی از جمله موارد آلودگی است. به این ترتیب اضافه‌سازی آبهای با ازت نیتراتی بالا در اراضی که خود حاوی ازت بالا هستند سبب می‌شود اولاً جذب غلظت بالایی از نیترات توسط گیاه زراعی صورت گرفته، ثانیاً آبشوئی نیترات با آب زیرزمینی انجام شود. از طرف دیگر آلودگی نیترات در آب زیرزمینی، بویژه در مناطقی که اراضی کشاورزی با سطحی وسیع وجود دارند دارای اهمیتی خاص است. نیترات خود برای سلامتی مسئله‌ای ایجاد نمی‌کند بلکه با هضم نیترات و تبدیل آن به نیتریت سبب تهدید سلامتی می‌شود. نیتریت می‌تواند سبب سندرم کبودی بچه (متهموگلو بینمیا) در کودکان تا ۳ ماهگی شود. همچنین بررسی‌های دیگر نشان داده است بالا بودن نیترات در آب زیرزمینی مناطق خشک معمول است و به‌عنوان یک مشکل مطرح است. با این وضعیت تحمیل هرگونه منبع ازت نیتراتی به اراضی این مناطق یا آب زیرزمینی بر مشکل خواهد افزود. کل مواد معلق و کل مواد محلول اندازه‌گیری شده در پساب‌های واحدها (جدول شمارهٔ ۱) در مقایسه با حدود مجاز نشان می‌دهد که پساب‌ها دارای غلظت بالایی از این مشخصه‌ها بوده که از حد مجاز بسیار بالاتر است. همچنین برطبق نظر آیرز و وسکات، TDS نمونه آب اگر کمتر از ۴۵۰ ، ۴۵۰ تا ۲۰۰۰ و بیش از ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد، آب به‌ترتیب دارای عدم محدودیت، محدودیت کم تا متوسط و محدودیت شدید است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند کلیه پساب‌ها دارای TDS بالای ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر بوده و استفاده از آنها برای آبیاری با محدودیت شدید همراه است. بنابراین استفاده از این پساب‌ها بویژه در مناطق خشک برای آبیاری نیازمند توجه جدی است. غلظت سولفات و کلر نمونه‌های پساب (جدول شمارهٔ۱) در مقایسه با حدود مجاز بسیار بالا بوده و از حدود ذکر شده فراتر است. استفاده از پساب‌ها برای آبیاری یا تخلیه آنها به آب سطحی و چاه جاذب از نظر سولفات و کلر محدود کننده است. همچنین طبق نظر آیرز و وسکات جهت آبیاری سطحی اگر غلظت کلر در آبها کمتر از ۱۴۲ ، ۱۴۲ تا ۳۵۵ و بیش از ۳۵۵ میلی‌گرم در لیتر باشد به‌ترتیب آب از نظر کلر دارای عدم محدودیت، محدودیت کم تا متوسط و محدودیت زیاد است. با توجه به نتایج و مقایسهٔ آنها با حدود ذکر شده مشخص می‌شود کلیه پساب‌ها از نظر کلر دارای محدودیت شدید جهت استفاده در کشاورزی است. طبق استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۱۹۹۳)، استاندارد سولفات در آب آشامیدنی ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است. بنابراین ورود پساب‌های با غلظت بالای سولفات به چاههای جاذب و در نتیجه آب زیرزمینی می‌تواند سبب آلودگی آب چاههای شرب شود. از طرف دیگر تخلیه این پساب‌ها به آب سطحی و استفاده در کشاورزی (با شستشو به آب زیر زمینی) نیازمند توجه به محدودیت شدید آن است. طبق نظر آیرز و وسکات جهت استفاده از آب برای آبیاری اگر غلظت بی‌کربنات کمتر از ۴۵/۷۵ ، ۴۵/۷۵ تا ۲۵۹/۲۵ و بیش از ۲۵۹/۲۵ میلی‌گرم در لیتر باشد آب دارای عدم محدودیت، محدودیت کم تا متوسط و محدودیت زیاد است. با توجه به نتایج (جدول شمارهٔ ۱)، استفاده از پساب‌ها برای آبیاری از نظر بی‌کربنات در واحدهای یزدباف و سلک‌باف دارای محدودیت زیاد و در واحد افشار دارای محدودیت متوسط تا زیاد است. غلظت مس در کلیهٔ پساب‌ها برای تخلیه به آب سطحی و چاه جاذب کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر بوده و محدودیتی ندارد اما جهت استفاده از پساب برای آبیاری (حد مجاز ۰/۲ میلی گرم در لیتر)، غلظت عنصر مس پساب کلیه واحدها از حد مجاز فراتر است و پساب‌ها از این نظر دارای محدودیت هستند. بنابراین با توجه به محدودیت مورد نظر و سمی‌بودن مس در گیاهان (سمی‌بودن مس در گیاهان دو برابر روی است) استفاده از این پساب‌ها درکشاورزی برای عنصر مس محدودکننده است. حد مجاز عنصر روی برای کلیهٔ موارد مصرف پساب ۲ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به نتایج جدول شمارهٔ (۱)، پساب کلیه واحدها برای تخلیه به چاه جاذب و آب سطحی و استفاده جهت آبیاری دارای

غلظت روی فراتر از حد مجاز است. استفاده از این پساب‌ها از نظر عنصر روی نیازمند بررسی بیشتر در استفاده درازمدت از آن است. در مناطق خشک از جمله ایران خاکها با کمبود روی مواجه‌اند (روی به دلیل pH بالاو کربناته بودن خاک و میزان بی‌کربنات بالای آب، قابلیت دسترسی آن کم می‌شود)، اما در مناطقی مانند مناطق مورد مطالعه افزایش پیوسته و دراز مدت عنصر روی به خاک از طریق پساب باید با بررسی پیوسته و دائم خاک وگیاه کنترل شود. به نظر می‌رسد زمانی عنصر روی در پساب محدودکننده نیست که گیاه کشت شده در این خاک‌ها دارای غلظت بیش از حد مجاز عنصر مذکور نباشد. غلظت کادمیم در پساب کلیه واحدها جدول شمارهٔ (۱) از حدود مجاز جهت تخلیه به آب سطحی و چاه جاذب و آبیاری بالاتر بوده و محدوده کننده است. در ژاپن استفاده از آب آبیاری با غلظت کادمیم ۰/۵ تا ۵ میلی گرم در لیتر سبب تجمع این عنصر در برنج با غلظت ۰/۴ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم شد و استفاده از برنج مورد نظر عامل ایجاد بیماری ایتای- ایتای شد (رحمانی، ۱۳۷۶). همچنین در تحقیق دیگری غلظت کادمیم و سرب موجود در پساب صنعتی سبب کاهش جوانه‌زنی در دو گونه درختی شد (Zafar, et al.,2000). بنابراین استفاده از پساب با غلظت کادمیم فراتر از حد مجاز می‌تواند غلظت این عنصر را در خاک و گیاه افزایش داده و سلامتی انسان را مورد تهدید قرار دهد

چاههای آب مورد بررسی

در مقایسه نتایج تجزیه نمونه‌های آب چاهها (جدول شمارهٔ ۲) با حدود مجاز(سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۷۳) می‌توان گفت pH آب در کلیهٔ چاهها در محدوده مجاز قرار داشته و محدودیتی ندارد. اما آب چاههای ۲،۳و۴ برای تخلیه به آب سطحی دارای محدودیت کمی است. طبق نظر آیرز و وسکات (حاج‌رسولیها،۱۳۶۴) نیز آب چاهها از نظر pH برای آبیاری دارای محدودیت کم است.

جدول شمارهٔ(۲):مقادیر مشخصه‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب چاه

مشخصه	چاه۱(حاج‌صفار)	چاه ۲(سلطانی)	چاه ۳(شرق)	چاه ٤ (حاج‌خلیفه)
ازت نیترات (mg /l)	۵/۲	۲/۱	۳/۸	۳/۵
پتاسیم (mg /l)	۳/۵	۳/–	۳/۵	۵/۰
سختی کل (mg /l)	۸/۷۰	۷۴۰	۹۴۰	۱۷۴۰
TDS (mg /l)	۱۶۸۸/۴	۱۲۷۸/۹	۱۷۰۱/۰	۲۹۵۴/۷
کلسیم + منیزیم (meq /l)	۱۷/۲	۱۴/۸	۱۸/۸	۳۴/۸
سدیم (meq /l)	۱۱	۱۱	۱۱	۱۵
سولفات (meq /l)	۸/۲	۸	۱۰	۱۲
کربنات (meq /l)	–	–	–	–
بی کربنات (meq /l)	۴/۸	۴/–	۴/۰	۳/۲
کلر (meq /l)	۱۴	۱۲/۵	۱۴/۷	۳۳/۱
pH	۷ – ۷/۲	۶ – ۶/۲	۶ – ۶/۲	۶ – ۶/۳
Ec(ds/m)	۲/۲۱ – ۳/۲۶	۱/۴۶ – ۲/۶۱	۲/۲۰ – ۳/۲۰	۴/۲۱-۵/۱۷
Cu(mg /l)	LOD	LOD	LOD	LOD
Zn(mg /l)	LOD	LOD	LOD	LOD
Cd(mg /l)	LOD	LOD	LOD	LOD
Pb(mg /l)	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۶
Cr(mg /l)	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۰۵

LOD (Limit OF Detection)

با توجه به شوری معمول در آبها (۰/۲ تا ۲/۲ دسی‌زیمنس بر متر)، کلیه چاهها دارای مقدار هدایت الکتریکی فراتر از این حد معمول در بعضی نمونه‌ها هستند.

طبق نظر آیرز و وسکات از نظر شوری، آب چاههای ۱و۴ دارای محدودیت شدید و آب چاههای ۲و۳ دارای محدودیت کم تا متوسط برای آبیاری است. همچنین چاههای ۱و۲و۳ از نظر TDS دارای محدودیت کم و چاه ۴ دارای محدودیت شدید است. غلظت سولفات در چاههای ۱و۲و۳ بترتیب ۳۹۳/۶ ، ۳۸۴ و ۴۸۰ میلی گرم در لیتر بوده و برای آبیاری پائین‌تر از حد مجاز است اما آب چاه شماره۴ دارای غلظت سولفات (با غلظت ۵۷۶ میلی‌گرم در لیتر) بالاتر از حد مجاز است. غلظت کلراید در آب چاههای ۱و۲و۳ بترتیب ۴۹۷، ۴۴۳/۸ و ۵۲۱/۸۵ میلی‌گرم در لیتر بوده که کمتر از حد مجاز (۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر

جهت آبیاری) است اما چاه شماره ۴ با غلظت کلراید ۱۱۷۵/۱ میلی‌گرم در لیتر برای آبیاری دارای غلظت فراتر از حد مجاز است. از نظر بی‌کربنات نیز کلیه چاههای آب برای آبیاری دارای محدودیت کم تا متوسط هستند. طبق نظر آیرز و وسکات غلظت بی‌کربنات کمتر از ۱/۵ ، ۱/۵ تا ۸/۵ و بیش از ۸/۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر به‌ترتیب برای آبیاری بدون محدودیت، دارای محدودیت کم تا متوسط و دارای محدودیت شدید است. بدین ترتیب چاههای آب از نظر بی‌کربنات طبق نظر آیرز و وسکات دارای محدودیت کم تا متوسط هستند. غلظت ازت نیتراتی در کلیهٔ چاهها از حد مجاز کمتر است.

طبق نظر آیرز و وسکات نیز از نظر نیترات آب چاهها برای استفاده در آبیاری دارای محدودیت نیستند. چاههای ۱و۲و۳ از نظر کلر برای تخلیه به آب سطحی و استفاده برای آبیاری محدودیتی ندارند، اما آب چاه شمارهٔ ۴ در کلیهٔ موارد دارای محدودیت است. طبق نظر آیرز و وسکات آب کلیهٔ چاهها از نظر کلر دارای محدویت شدید برای آبیاری است.

غلظت عناصر سنگین مس، روی و کادمیم در آب چاهها در مقدار بسیار ناچیز وجود دارد. همچنین غلظت عناصر مس و کروم در آب کلیه چاهها کمتر از حد مجاز است. به این ترتیب آب تمام چاهها از نظر غلظت عناصر سنگین محدودیتی ندارد.

خاک‌های مورد بررسی

دامنهٔ غلظت عناصر سنگین نمونه‌های خاک آلوده و شاهد در سالهای مورد بررسی در مناطق یزدباف و سلک‌باف در جدول شمارهٔ (۳) نشان داده شده است. با توجه به جدول شمارهٔ (۳)، در منطقهٔ یزدباف غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک آلوده نسبت به شاهد (در سالهای اول و دوم) حاوی مقادیر بالاتر است و اختلاف زیادی را نشان می‌دهد.

در مقایسهٔ دامنه غلظت عناصر با حدود معمول و بحرانی عناصر سنگین نتیجه‌گیری می‌شود که غلظت مس نمونه‌ها در دامنهٔ غلظت بحرانی قرار نداشته، اما فراتر از دامنهٔ غلظت معمول این عنصر است. غلظت روی نمونه‌ها در محدودهٔ غلظت معمول قرار داشته و بجز چند نمونه در عمق اوّل از سال اول و عمق دوم از سال دوم که در محدودهٔ غلظت بحرانی قرار دارند بقیه نمونه‌ها دارای غلظت روی پایین‌تر از غلظت بحرانی این عنصر در خاک هستند. غلظت کادمیم در بعضی از نمونه‌های خاک در دامنه غلظت بحرانی است، اما غلظت عناصر سنگین سرب و کروم خاک در دامنهٔ غلظت معمول بوده و پایین‌تر از دامنهٔ غلظت بحرانی این عناصر در خاک قرار دارند. در منطقهٔ سلک‌باف غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک آلوده در کلیهٔ موارد بالاتر از نمونه شاهد بوده و دارای اختلاف زیادی است. در مقایسه غلظت این عناصر با حدود معمول و بحرانی می‌توان گفت غلظت مس نمونه‌ها در برخی از موارد از حدود معمول تجاوز کرده اما در هیچ یک از نمونه‌ها در دامنهٔ غلظت بحرانی قرار ندارد.

غلظت روی نمونه‌ها در دامنهٔ غلظت معمول این عنصر در خاک قرار داشته و بجز یکی دو نمونه، در سایر نمونه‌ها غلظت این عنصر در محدودهٔ بحرانی قرار ندارد. غلظت کادمیم در بعضی نمونه‌ها فراتر از حد معمول بوده و در محدوده غلظت بحرانی این عنصر در خاک است و غلظت سرب و کروم در کلیهٔ نمونه‌ها در محدودهٔ غلظت معمول بوده و زیر حد غلظت بحرانی این عنصر در خاک قرار دارد.

در خاکهای مناطق ۱و۲ افشار غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک بالاتر از نمونه شاهد بوده و دارای اختلاف غلظت زیادی نسبت به آن است (جدول شمارهٔ ۴). در مقایسهٔ غلظت عناصر سنگین نمونه‌ها با حدود معمول و بحرانی این عناصر در خاک می‌توان گفت غلظت مس در کلیهٔ نمونه‌های خاک منطقهٔ ۱ افشار در دامنهٔ غلظت معمول و زیر دامنه غلظت بحرانی این عنصر در خاک قرار دارد، اما در خاک‌های منطقهٔ ۲ افشار، تعدادی اندک از نمونه‌ها دارای غلظت مس فراتر از حد معمول این عنصر در خاک است.

غلظت روی در خاک‌های مناطق ۱و۲ افشار در دامنه غلظت معمول و زیر حدود بحرانی این عنصر قرار دارد امّا غلظت عنصر کادمیم در نمونه‌های خاک هر دو منطقه فراتر از دامنهٔ غلظت معمول و در محدوده غلظت بحرانی این عنصر در خاک است. غلظت عناصر سرب و کروم در کلیهٔ نمونه‌های مناطق ۱و۲ افشار در دامنهٔ غلظت معمول و کمتر از حد بحرانی غلظت این عناصر در خاک قرار دارد.

در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که غلظت مس در بعضی نمونه‌های خاک مورد بررسی از غلظت معمول بالاتر است ولی در محدودهٔ غلظت بحرانی قرار نمی‌گیرد.

با توجه به این‌که سمی‌بودن مس برای گیاهان دو برابر عنصر روی است و عوارض نامطلوب مس در خاک زمانی بروز می‌کند که غلظت آن در محلول خاک از ۰/۱ میلی گرم در لیتر تجاوز کند، ضرورت دارد برای استفاده از پساب‌های مورد نظر برای آبیاری، غلظت مس (اگرچه در محدودهٔ بحرانی قرار ندارد اما بالاتر از حد غلظت معمول است) مورد توجه قرار گیرد و گیاهان کشت شده به‌طور مرتب از نظر غلظت مس کنترل شوند.

جدول شمارهٔ(۳): دامنهٔ غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک و شاهد مناطق یزدباف و سلک‌باف در مقایسه با غلظت معمول و بحرانی این عناصر بر حسب میلی گرم در کیلو گرم (Allaway,1990;Pendias & Pendias,1992)

عنصر	منطقه یزدباف					منطقه سلک‌باف				
	سال اول		سال دوم			سال اول		سال دوم		
	عمق اول	شاهد	عمق اول	عمق دوم	شاهد	عمق اول	شاهد	عمق اول	عمق دوم	شاهد
Cu	۲۴/۳–۴۱	۱۸	۱۹/۱–۲۵/۵	۲۳–۳۸/۶	۲۰	۲۱–۳۸	۱۲	۲۱/۹–۲۶	۱۳–۱۸/۶	۱۴
Zn	۵۳/۲–۱۰۰	۳۷	۴۲/۶–۶۷/۵	۶۳/۹–۷۹/۱	۴۱	۵۱/۸–۷۱/۹	۴۵	۵۶/۸–۶۸	۳۶–۴۲/۸	۴۳
Cd	۱–۱/۲	۱/۲	۲/۳–۳/۸	۲–۶/۲	۱/۸	۱–۱/۲	۱/۱	۲–۴/۱	۲–۲/۵	۱/۷
Pb	۳–۱۳	۳	۹/۶–۱۸/۹	۵/۸–۱۲	۴/۳	۸/۷۵–۱۳	۲	۱۴–۳۲	۴/۸–۱۵/۱	۳/۹
Cr	۱۶/۳–۵۳	۳	۱۷/۹–۳۶/۲	۱۲/۱–۳۱	۹/۲	۱۵/۳–۳۵/۲	۷/۸	۱۵/۱–۲۸/۷	۱۰/۱–۲۶/۳	۸/–

جدول شمارهٔ (۴): دامنه غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک و شاهد مناطق ۱ و ۲ افشار در مقایسه با غلظت معمول و بحرانی این عناصر بر حسب میلی گرم در کیلو گرم (Allaway,1990;Pendias & Pendias,1992)

عنصر	منطقهٔ ۱ افشار		منطقهٔ ۲ افشار		غلظت معمول	غلظت بحرانی
	عمق اول	شاهد	عمق اول	شاهد		
Cu	۱۴–۲۳/۵	۵	۱۳–۲۶	۲	۲–۲۵	۶۰–۱۲۵
Zn	۵۳/۹–۶۵/۲	۳۲	۴۱/۴–۶۷/۹	۲۱/۳	۱–۹۰۰	۷۰–۴۰۰
Cd	۲/۳–۳/۸	۱	۲/۴–۴/۰	۰/۸	۰/۰۱ –۲	۳–۸
Pb	۱۴–۲۰/۵	۲	۱۳/۱–۱۹/۸	۲/۳	۲–۳۰۰	۱۰۰–۴۰۰
Cr	۱۵/۵–۲۶	۳	۱۱/۵–۱۹/۶	۳/–	۵–۱۵۰۰	۷۵–۱۰۰

عنصر روی در بعضی نمونه‌های خاک در محدودهٔ بحرانی قرار دارد. به‌نظر می‌رسد با توجه به آهکی‌بودن خاکهای زراعی در مناطق خشک و pH بالای خاک، حضور بی‌کربنات در آب آبیاری (پساب‌ها) و مصرف فراوان و بیش از نیاز کودهای فسفاته مقدار در دسترس یا قابل جذب عنصر روی برای گیاه زیاد نبوده (ملکوتی و بای‌بوردی ، ۱۳۷۸) و در مجموع مقدار جذب روی از خاک به اندازه‌ای نباشد که در گیاه سم ایجاد کرده، و یا غلظت آن در گیاه سلامتی انسان و موجودات را تهدید کند. اما با افزایش غلظت این عنصر در خاک در اثر مصرف مداوم و دراز مدت پساب با غلظت بالای روی نمی‌توان عوامل محدودکنندهٔ جذب را مؤثر دانست و جذب گیاهی با افزایش عنصر در خاک افزایش خواهد یافت. در مجموع در تحقیق حاضر غلظت کادمیم در خاکها از حد مجاز فراتر رفته و در محدودهٔ بحرانی قرار دارد و هرگونه استفاده از پساب از نظر کادمیم دارای محدودیت است. در بررسی‌ها و تحقیقات پیشنهاد شده است که بهتر است میزان کادمیم در خاکها از ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم تجاوز نکند. بنابر اطلاعات دیگر حداکثر میزان افزایش کادمیم در خاک که اثر نامطلوبی بر رشد گیاه، میزان محصول و کیفیت محصول نداشته باشد سه میلی‌گرم در کیلوگرم است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۷۹).

گیاهان مورد بررسی در مناطق

در مجموع نتایج مبین افزایش غلظت عناصر سنگین در اراضی تیمار شده با پساب صنعتی است. در تحقیقات انجام شده نیز مناطق آلوده شده توانسته‌اند جذب عناصر را در گیاه افزایش دهند. در مناطق شالیکاری ژاپن غلظت بالای کادمیم آب آبیاری در اثر اختلاط با پساب صنعتی سبب افزایش غلظت کادمیم خاک و در نتیجه افزایش غلظت عنصر در گیاه برنج شد. در تحقیقی دیگر استفاده از پساب با غلظت بالای کادمیم و سرب، جوانه‌زنی را در دو نوع گونهٔ درختی کاهش داد (Chen, et al., 1994). غلظت عنصر مس در گیاه پنجه مرغی در منطقه یزدباف فراتر از دامنه غلظت معمول و در دامنه غلظت بحرانی این عنصر در گیاه قرار داشت (جدول شمارهٔ ۵). همچنین در مناطق سلک‌باف ، افشار ۱و افشار ۲ نیز این وضعیت وجود داشت. سمی‌بودن مس برای گیاهان دو برابر روی است. برای بسیاری از گونه‌های گیاهی مقدار زیاد مس در محیط غذایی سمی است. توقف

رشد ریشه یکی از سریع‌ترین واکنش‌ها نسبت به سطوح سمی مس است. بررسی‌ها نشان داده است که مس اثری کشنده روی ساختمان غشا دارد (سالاردینی، ۱۳۶۷). بعضی از گونه‌های گیاهی قادرند مس را تا مقدار ۱۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم مادهٔ خشک خود جمع کنند. گیاه پنجه‌مرغی (منطقه یزدباف) و گندم (مناطق ۱و۲ افشار) تمایل دارند مقدار زیادی مس را در ریشهٔ خود جمع کنند اما گیاه تاغ سیاه (منطقهٔ سلک‌باف) کاملاً بر عکس عمل کرده و جذب بیشتری از مس را در اندام هوایی داشته است. در منابع آمده است بعضی گونه‌های گیاهی مقدار زیادی مس را در ریشهٔ خود جمع می‌کنند به‌طوری‌که میتوان تصور کرد ممانعتی از جذب به اندام‌های هوایی در کار است. بنابراین مقادیر زیادی مس ممکن است به نقاط با بار منفی مواد پکتینی (گروههای $-COO$) در دیوارهٔ سلولی پوست ریشه جذب شود. ولی در گونه‌های گیاهی دیگر ممکن است از ۲ تا ۵۰ برابر مقدار عادی مس در برگها یافت شود. در این گیاهان از رفتار سمی ناشی از مس اضافی به‌طریقی جلوگیری می‌شود (سالاردینی، ۱۳۶۷). غلظت عنصر روی در کلیه نمونه‌های گیاهی در دامنه غلظت معمول قرار دارد جدول شمارهٔ (۴). همچنین غلظت روی در کلیهٔ نمونه‌ها بجز بعضی نمونه‌های اندام هوائی منطقهٔ یزدباف زیر دامنهٔ غلظت بحرانی عنصر در گیاه قرار دارد. سمیت روی در غلظت‌های نسبتاً زیاد در گیاه گزارش شده است. گزارش‌های بیشتر از مناطق آلوده شده با لجن فاضلاب، پساب صنعتی، یا مواد زاید بوده است. سمی‌بودن روی در گیاهان با غلظت کمتر نسبت به حیوانات اتفاق می‌افتد و این حساسیت گیاهان وسیله‌ای خودکار برای حفاظت در برابر تجمع روی در زنجیره غذائی است (کریمیان،۱۳۷۱). میانگین عنصر روی در اندام هوایی نسبت به ریشه در مناطق یزدباف و سلک‌باف بیشتر است، اما این مسئله در گیاه گندم (مناطق ۱و۲ افشار) کاملاً برعکس است. در گیاه گندم تجمع عنصر روی در ریشه بالاتر از اندام هوایی است. به نظر می‌رسد وضعیت تجمع عنصر روی در گیاه نیز مانند مس در گیاهان مختلف متفاوت باشد. بعضی گیاهان مقادیر روی را در ریشه جمع کرده و از انتقال آن به اندام هوایی ممانعت به عمل می‌آورند و در مقابل برخی دیگر از گیاهان به عکس عمل می‌کنند. غلظت عناصر سنگین کروم، کادمیم وسرب در کلیه نمونه‌های گیاهی کم تا بسیار ناچیز بوده و محدودیتی در گیاه ندارند

جدول شمارهٔ (۵): دامنهٔ غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی مناطق مورد مطالعه و مقایسه با دامنهٔ غلظت معمول و بحرانی این عناصردر گیاه بر حسب میلیگرم بر کیلوگرم (Allaway,1990;Pendias & Pendias,1992)

عنصر	منطقهٔ یزدباف (پنجه‌مرغی)		منطقهٔ سلک‌باف(تاغ سیاه)		منطقهٔ افشار۱ (گندم)		منطقهٔ افشار ۲ (گندم)		دامنهٔ غلظت	دامنهٔ غلظت
	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	معمول	بحرانی
Cu	۱۱/۲ -۳۱	۱۹/۶-۳۸	۲۴-۳۴	۸-۴۸/۵	۱۸/۲ -۳۱/۳	۲۳/۴-۳۸	۱۸-۲۶/۲	۱۶/۴-۳۷/۳	۵-۲۰	۲۰-۱۰۰
Zn	۳۲/۶-۱۱۶	۲۶/۵-۶۳/۳	۱۶/۲ -۸۹/۴	۱۸-۶۴	۲۴-۵۱/۲	۴۱/۲-۶۴/۰	۱۷-۴۵/۴	۳۹-۶۴	۱-۴۰۰	۱۰۰-۴۰۰
Cd	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	۰/۱-۲/۴	۵-۳۰
Pb	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	۰/۲-۲۰	۳۰-۳۰۰
Cr	۰/۰۶-۰/۱۹	۰/۱۲-۰/۳۱	LOD -۰/۳۱	۰/۰۹-۰/۲۶	۰/۰۳-۰/۱۱	۰/۰۶ -۰/۲۳	۰/۰۵ -۰/۱۲	۰/۱۰-۰/۲۱	۱-۴۰۰	۱۰۰-۴۰۰

نتیجه‌گیری

۱- کلیه پساب‌های واحدهای مورد بررسی برای تخلیه به آب سطحی از نظر pH، TDS، TSS، سولفات، کلر، روی و کادمیم، برای تخلیه به چاه جاذب از نظر TDS، سولفات، کلر، روی و کادمیم و برای آبیاری اراضی کشاورزی از نظر pH، شوری، TDS، TSS، سولفات، کلر، بی‌کربنات، مس، روی و کادمیم دارای محدودیت استفاده‌اند.

۲- تمام چاههای آب مورد بررسی دارای محدودیت شدید کلر و محدودیت کم تا متوسط pH و بی‌کربنات هستند اما آب این چاهها از نظر عناصر سنگین مورد بررسی، دارای غلظت کمتر از حد مجاز بوده و هیچ گونه آلودگی از این نظر ندارند.

۳- خاکهای تیمار شده با پساب صنعتی واحدها دارای مواد آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب بالاتری نسبت به شاهد هستند. کربن آلی، ازت و پتاسیم پساب، اضافه شدن بقایای گیاهی به سطح خاک و استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی می‌تواند علت این مسئله باشد.

۴- در خاکهای مورد بررسی غلظت مس در بعضی نمونه‌ها فراتر از حد معمول و زیر حد بحرانی، غلظت روی در دامنهٔ غلظت معمول و در برخی از نمونه‌ها در محدودهٔ غلظت بحرانی، غلظت کادمیم فراتر از دامنهٔ غلظت معمول و در محدودهٔ غلظت بحرانی و غلظت‌های عناصر سرب و کرم در دامنهٔ غلظت معمول و زیر حد بحرانی بودند. به این

ترتیب عناصر روی و کادمیم در خاک دارای غلظت بیش از حد مجاز و آلوده کننده بودند.

۵- در گیاهان مورد بررسی منطقهٔ یزدباف عناصر روی و مس و درگیاهان مناطق سلک‌باف ، افشار ۱ و افشار ۲ عنصر مس از حد مجاز فراتر و در محدودهٔ بحرانی این عناصر در گیاه قرار داشت.

۶- نتایج نشان داد که گیاهان پنجه‌مرغی و گندم در جذب و تجمع مس در ریشه نسبت به اندام هوایی تمایل بیشتری دارند. اما در گیاه تاغ‌سیاه، این مسئله کاملاً برعکس بوده و تجمع مس در اندام هوایی بیشتر است. در مورد روی برای گیاهان پنجه‌مرغی و تاغ‌سیاه تجمع در اندام هوایی بیشتر از ریشه و برای گیاه گندم در ریشه بیش از اندام هوایی بوده است.

۷- محدودیت کلیهٔ پساب‌ها از نظر عناصر سنگین روی، مس و کادمیم سبب افزایش غلظت این عناصر در خاک و جذب روی و مس تا حد بحرانی در گیاه شده است. به این ترتیب آلودگی خاک و گیاه به عناصر سنگین مذکور را می‌توان به غلظت این عناصر سنگین در پساب نسبت داد.

۸- در مجموع می‌توان گفت پساب‌های صنعتی مورد بررسی دارای محدودیت‌های زیادی برای استفاده در کشاورزی، تخلیه به آب سطحی یا چاه جاذب هستند. در هر صورت پساب‌های مربوط برای هر گونه استفاده، اعم از تخلیه به محیط زیست یا استفاده در کشاورزی نیازمند تصفیه و رساندن غلظت مشخصه‌ها به حد مجاز است

۹- پساب‌های صنعتی در آلودگی اراضی کشاورزی آبیاری‌شده با پساب، آبهای زیرزمینی و گیاهان رشد کرده بر اراضی آلوده، نقش مهم داشته و در دراز مدت فقط منبع آب یزد (آب زیرزمینی) را به‌شدت آلوده خواهند ساخت. تخلیهٔ پساب‌های صنعتی به پوکه قنوات انتقال آلودگی پساب‌ها را به آبهای زیر زمینی تسریع می‌کند.

پیشنهادها

۱- با توجه به نتایج تحقیق و بررسی‌های انجام گرفته، به نظر می‌رسد شیوه‌ای که در حال حاضر برای دفع فاضلاب صنعتی استفاده می‌شود غیر اصولی و برای محیط زیست مضر است زیرا با توسعهٔ واحدهای صنعتی هر روز بر میزان فاضلاب‌های صنعتی افزوده خواهد شد. اگر فاضلاب‌های منازل را نیز بدان اضافه کنیم خطر آلودگی سفرهٔ آبهای زیرزمینی هر روز گسترده‌تر خواهد شد و جوابگویی به نیازهای نسل آینده از نظر محیط زیستی سالم بویژه در شهر یزد با افزایش سریع جمعیت ممکن نخواهد بود. بنابراین ایجاد تأسیسات جمع‌آوری فاضلاب صنعتی و انتقال فاضلاب‌ها به تصفیه‌خانه‌ای که خوشبختانه در شمال شهر یزد تأسیس شده از ضروریات حیاتی است.

۲- تمام قنات‌های متروک و فعال در شهر یزد که محل ریزش انواع و اقسام فاضلاب‌ها هستند و عمق آنها با عمق چاههای مورد بهره‌برداری تقریباً یکسان است به همراه صنایعی که فاضلاب‌های خود را به این قنات‌ها سرازیر می‌کنند دقیقاً مورد شناسایی قرار گیرند و چاههای آب از نظر شیمیایی و بیولوژیکی به طور مرتب کنترل شدند.

۳- بهترین عمل برای کنترل آلودگی در شهرک‌های صنعتی تازه تأسیس احداث سیستم تصفیه‌خانه صنعتی و انتقال فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی کلیهٔ واحدها به آن است. در این صورت می‌توان اذعان داشت عمـدهٔ مسئلـه آلودگـی این مناطق قابل کنترل خواهد بود.

۴-آلودگی سفرهٔ آب زیرزمینی در شهر یزد فقط به‌وسیلهٔ پساب‌های صنعتی تهدید نمی‌شود بلکه فاضلاب‌های شهری منازل از منابع دیگر آلودگی هستند. بهتر است علاوه بر چاره‌جویی در عدم تحمیل پساب‌های صنعتی به آب زیرزمینی، برای فاضلاب‌های شهری نیز چاره‌ای اندیشیده شود.

۵- در مواردی چاههای آب در عمق یکسان با محل تخلیه پساب‌ها، یا درمجاورت آنها قرار دارند. دراین حالت انتقال آلاینده‌ها و ترکیبات سمی به منابع آب شرب بسیار آسان صورت می‌پذیرد. برای کنترل سریع این مسئله بهتر است این چاهها شناسایی شده و در صورت آلودگی شدید، استفاده‌هایی که باعث تهدید سلامتی می‌شود منع شود.

تشکر و قدردانی

از شورای پژوهش‌های علمی کشور به‌خاطر تأمین بودجه این پژوهش و دانشکدهٔ منابع‌طبیعی و کویرشناسی، معاونت پژوهشی و دانشجویان رشته محیط زیست دانشگاه یزد به سبب مساعدتشان جهت انجام تحقیق حاضر قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

حاج رسولیها، ش. مترجم، .۱۳۶۴. کیفیت آب برای کشاورزی، تألیف آیرز و وسکات، مرکز نشر، دانشگاهی، ۱۳۵ صفحه

رحمانی، ح.ر. ۱۳۷۶. بررسی خصوصیات و غلظت عناصر سنگین سرب، کادمیم و نیکل در پساب خروجی چند واحد صنعتی شهر یزد، گزارش نهایی، معاونت پژوهشی دانشگاه یزد.

سازمان حفاظت محیط زیست (معاونت تحقیقاتی) .۱۳۷۳. استاندارد خروجی فاضلاب‌ها، دفتر محیط انسانی سازمان حفاظت محیط زیست .
سالاردینی، ع.ا. (مترجم). ۱۳۶۷. اصول تغذیه گیاه، تألیف کنراد منگل و ارنست کوکبی، جلد دوم، نشر دانشگاهی، ۳۱۶ صفحه.

کریمیان، ن. (مترجم).۱۳۷۱. شیمی خاک، جلد اوّل : مبانی، تألیف بولت و بروگنورت، مرکز نشر دانشگاهی، ۲۹۸ صفحه.

ملکوتی، م.ج. ، ترابی، م. و طباطبائی،ج. ۱۳۷۹. آثار سوء کادمیم و روش‌های کاهش غلظت در محصولات کشاورزی، قسمت اوّل، نشریه فنی ۸۷، وزارت کشاورزی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب .

ملکوتی، .م.ج، بای‌بوردی، ع. ۱۳۷۸. روی عنصری مهم و فراموش شده در چرخهٔ حیات گیاه و انسان، نشریهٔ ۷۷ ،وزارت کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب

Allaway, B.J.1990. Heavy metals in soils, Blackie and sonltd. Glassgow, London, pp.177-196.

APHA.1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, prepared and published by APHA, AUWA and WEF, 19th ed, pp(part 2000,part 3000 and part 5000).

Brown,L. and H., Brain.1998. China's water shortage world watch press release, http://www.igc.apc.org/worldwatch/alerts/pr980422.html.

Chen,Z.S., S.L.,Lo, and H.C.,Wu.1994.Summary analysis and assessment of rural soils contaminated with Cd in Taoyuan , Project report of Scientific Technology Adisor Group (STAG) , executive Yuan , Taipei , taiwan .

Cid,B.P.,M.de, J.,Gonzalez and E.F.,Gomez.2002. Analyst, 126, 1304-1311.

Di Toppi,L.S., and R.,Gabrielli. 1999. Response to Cd in higher plants, Environmental and Experimental Botany,Vol.41,Isue.2,pp.105-130.

Elliott,L.F. and F.J.,Stevenson .1986. Soils for management of oragnic waste and waste water , Second printing , soi. sci . Am . Inc , publisher . Madison . wisconsin , USA, pp. 650 .

Ensink,J.H.J.and et al. 2004. A nation-wide assessment of wastewater use in Pakistan: an obscure activity or a vitally important one? Water Policy 6, 1–10.

EPA/ROC .1989. Final reports of heavy metals contents in Taiwan Agricultural soils , 4 vols .Taiwan ,ROC.

Gijzen,H. 2000. Low Cost Wastewater Treatment and Potentials for Re-use. A Cleaner Production Approach to Wastewater Management. IHE, Delft.

Page,A.L. , R.H.,Miller and D.R.,keeney.1982. The methods of soil analysis part2 : Chemical and microbiological properties , 2nd. , soi . sci. sco, Inc . Madison.

Pendias,A.K. , and H.,Pendias .1992. Trace elements in soils and plants: V. Lead, 2nd ed. Boca Raton Arbor , London , p . 187-198.

Robert,I.A.1990. Methods of plant analysis, official methods of analysis of the A.O.A.C.

WHO.2006. World Health Organization,http://www.who.int/water_sanitation_health/en/

Zafar Ibal,M. K., Mushtaq and M.,Shafiq .2000. The effect of lead and caldmium on trees , from City trees , The Journal of the society of municipal Arborists , vol . 36, NO. 1.