علـوم محـیـطی سال پنجم ، شماره چهارم، تابستان ۱۳۸۷
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.5, No.4 , Summer 2008
۱۳۵-۱٤٤

کیفیت پساب صنعتی شرکت ذوب آهن اصفهان و اثرات آن بر اراضی تحت کشت مو

حمید رضا رحمانی *

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

چکیده

برای بهره‌گیری مجدد از پساب‌ها نیاز است که به کیفیت آن توجه داشته و برای کاربرد آن در بخش‌های گوناگون روال درستی در نظر گرفته شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی کاربرد و تأثیر پساب صنعتی ذوب آهن بر اراضی کشاورزی و گیاه مو از نظر زیست محیطی می‌باشد. برای بررسی کیفیت پساب نمونه‌گیری به‌صورت فصلی و در هر فصل نمونه مرکب در یک دوره ۴۸ ساعته انجام شد. بررسی خاک و گیاه با انتخاب اراضی تحت کشت مو صورت گرفت. نمونه‌گیری از خاک در هر مزرعه در ۳ تکرار و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری همراه با نمونه‌گیری خاک شاهد (خاک بکر) و نمونه‌گیری از اندام هوایی مو و میوه انگور انجام شد. نتایج نشان داد پساب صنعتی واحد مورد بررسی از نظر پارامترهای COD، NO3-, TDS, TSS, BOD ،کلراید، سولفات و غلظت Co، Cr و Cd برای تخلیه پساب به آب سطحی، چاه جاذب و آب آبیاری محدود کننده است. خاک‌های تحت آبیاری پساب صنعتی دارای غلظت قابل جذب (عصاره کشی توسط DTPA) عناصر سنگین فراتر از خاک شاهد بود اما از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار نبود وغلظت کل Cu، Mn، Zn و Cd در دامنه غلظت بحرانی این عناصر در خاک قرار داشت. در برگ درخت مو غلظت Mn فراتر از حد معمول این عنصر در گیاه بود اما در میوه انگور کلیه عناصر دارای غلظت معمول بودند. در کلیه نمونه‌های گیاهی مورد مطالعه در اراضی کشاورزی اطراف واحدهای صنعتی مورد بررسی غلظت عنصر آهن در نمونه‌های شسته نشده بالاتر از غلظت عنصر آهن در نمونه‌های شسته شده بود. این مطلب نشان دهنده فرونشست ذرات اتمسفری آهن در اطراف واحد صنعتی مورد بررسی بر سطح اندام هوایی گیاه، علاوه بر جذب آهن توسط ریشه در اراضی تحت آبیاری با پساب است.

کلیدواژه‌ها: پساب صنعتی، کیفیت پساب، ذوب آهن، حد مجاز، غلظت بحرانی، فلزات سنگین، گیاه مو.

Effluent Quality of Zob-Ahan Company and its Effects on Irrigated Grape Fields

Hamid Reza Rahmani*

Soil and Water Division, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Esfahan

Abstract

Knowledge of quality and chemical composition of industrial effluent water (EW) for safe and lawful reuses is required. The effect of application of Zob-Ahan (ZA) industrial EW on agricultural land and irrigated grape plants were studied. The compound EW samples were seasonally collected during a two-day period. In addition, the soil and grape plant irrigated with EW were also sampled. Three fields were selected, and in each field soil from 0 to 30 cm, grape plant leaf, and grape samples were collected in three replicates. For each soil, leaf and fruit sample three sub samples were collected and were compounded. Also soil samples of virgin land (control) adjacent each field were collected. In addition the well water in vicinity of EW ponds were sampled seasonally. The results show that the industrial EW COD, TSS, BOD, TDS, NO3-, Cl-, SO4-- and heavy metals concentration of Co, Cr, and Cd is limiting for discharge into absorbtion well and irrigation. The available heavy metals concentration of land irrigated with EW were higher than control (Virgin adjacent land) and total heavy metals concentration of land irrigated with EW were in the critical range. The grape leaf Mn concentration was higher than normal range, but grape fruit heavy metals concentration were in normal range. The heavy metal concentration of Fe in all unwashed plant samples were higher than washed ones. Therefore the air pollution and aerosol fall out of Fe is an additional factor to EW application in land and plant contamination in the vicinity of Zob-Ahan industrial complex.

Keywords: industrial waste water, quality of waste water, Zob-Ahan, permit limit, critical range,heavy metals, grape plant.

* Corresponding author. *E-mail Address*: hr.rahmanii@yahoo.com

مقدمه

باتوجه به کمبود آب در مناطق خشک ونیمه خشک، بهره‌برداری مجدد از آب‌های نامتعارف از جمله پساب فاضلاب‌های شهری وصنعتی با رعایت ملاحظات زیست محیطی جهت جبران بخشی از این کمبود ضروری است. برای بهره‌گیری دوباره از این گونه آبها نیاز است که از کیفیت آن آگاهی داشته و برای کاربرد آن در بخش‌های گوناگون استانداردهایی در نظر گرفته شود. تخلیه بی‌رویه فاضلاب‌های صنعتی به آبهای سطحی، اثرات زیانباری را به محیط زیست به‌ویژه اراضی کشاورزی که با این آبها آبیاری می‌شوند وارد می‌سازد. هینزلی اظهار می‌دارد که اگر چه دفع فاضلاب در زمین در حال حاضر از کمترین هزینه برخوردار است ولی اثرات سوء آن می‌تواند تجمع فلزاتی نظیر کروم، نیکل و کادمیم را به همراه داشته باشد که این عناصر در وهله نخست خاک را آلوده خواهند ساخت(Chen *et al.*, 1994). در تایوان بسیاری از اراضی کشاورزی تحت آبیاری پساب صنعتی آلوده و غیر قابل استفاده شده‌اند. مقدار کادمیم در دانه برنج این مزارع بطور متوسط ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است. همچنین بیش از ۴۰ درصد رودخانه‌ها در این کشور آلوده هستند(Chen *et al.*, 1994).

در تایوان بیش از ۱۰۰۰۰۰ واحد صنعتی وجود داشته که ۲۰ درصد آنها تولید پساب می‌کنند. بسیاری از اراضی کشاورزی نزدیک به این مراکز صنعتی بوسیله پساب صنعتی آلوده شده‌اند برای مثال در استفاده از پساب دو واحد صنعتی بیش از ۱۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی مجاور آلوده و غیر قابل استفاده شده‌اند. مقدار کادمیم در دانه برنج این مزارع بطور متوسط برابر ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شده است (Chen,1992; Chen *et al.*,1994). همچنین بیش از ۴۰ درصد رودخانه‌ها بطور متوسط تا شدید توسط پسابهای صنعتی آلوده شده‌اند (EPA/ROC,1998).خاک‌های آلوده شده توسط پساب‌های صنعتی در این کشور سطحی درحدود ۸۰۰ هکتار را تشکیل می‌دهند. در این اراضی مقادیر بحرانی عناصر سنگین کادمیم، کرم، سرب، روی و مس به ترتیب ۱۰، ۱۶، ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شده است که فراتر از حدود بحرانی آژانس حفاظت محیط‌زیست امریکاست (Frank and Martinze,1981).

آب مصرفی توسط صنعت در بسیاری از کشورها رشد قابل ملاحظه‌ای 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 and Brain, 1998). در پاکستان پساب مستقیما مورد استفاده در آبیاری قرار می‌گیرد. 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).

برادلی (۱۹۷۹) اعلام کرد که با کاربرد آب فاضلاب در اراضی کشاورزی می‌توان از مواد آلاینده این آبها نظیر نیتروژن، فسفر و مواد آلی در جهت افزایش حاصل‌خیزی خاک و از آب آن به منظور افزایش و ذخایر سفره‌های آب زیرزمینی استفاده نمود (نقل از ملاحسینی،۱۳۸۲). تساویلاس (۱۹۹۷) در یونان نشان داد که در شرایط بدون کاربرد کودNPK ذرت تحت آبیاری با آب فاضلاب عملکرد بالاتری نسبت به ذرت تحت آبیاری با آب معمولی دارد (نقل از ملاحسینی،۱۳۸۲).

وجود عناصر سنگین در پساب‌ها و تجمع این عناصر (به ویژه کادمیم و سرب) در خاک از جمله موارد مهم زیست محیطی است (Cid *et al.*,2002). کادمیم دارای سمیت بالا برای گیاه و حیوان بوده بطوریکه در گیاهان غلظت بالای کادمیم سبب کاهش عمل فتو سنتز و جذب آب و مواد غذایی می شود (Di toppi and Gabrielli,1999).

نتایج بررسیها در یک تحقیق بر پساب صنایع نساجی شهر یزد نشان داد که غلظت هیچ یک از عناصر Ni ،Cd و Pb فراتر از حد مجاز(استاندارد خروجی فاضلابها،سازمان حفاظت محیط زیست،۱۳۷۳) نبود بلکه محدودیت این پسابها شوری،pH و غلظت بالای برخی کاتیونها و آنیونها ذکر شده است (رحمانی، ۱۳۸۲). نتایج حاصل از بررسی دیگر بر پساب صنایع شهر یزد و اثرات آنها بر خاک و آب و گیاه نشان داد کلیه پسابهای مورد بررسی جهت کاربرد در کشاورزی دارای محدودیت pH، TDS، TSS، سولفات، کلراید، بی‌کربنات و غلظت عناصر سنگین Zn، Cu و Cd بودند. در این تحقیق محدودیت آب‌های زیر زمینی کلر، سولفات و بی‌کربنات ذکر شد. اما خاک‌های تیمار شده دارای مواد آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب بالاتری نسبت به شاهد بودند و غلظت Cu,Cdو Zn فراتر از غلظت معمول و در دامنه غلظت بحرانی و غلظت عناصر Pb و Cr در دامنه غلظت معمول قرار داشته‌اند(رحمانی، ۱۳۸۰).

مواد و روش‌ها

جهت بررسی کیفیت پساب واحد صنعتی ذوب آهن و آب زیر زمینی، از پساب وارد شده به لاگون‌های تبخیری و چاه‌های آب، به‌صورت فصلی و در هر فصل در یک دوره ۴۸ ساعته و به مدت یک سال نمونه‌گیری شد. جهت بررسی اثرات پساب بر خاک و گیاه ۳ مزرعه تحت کشت مو واقع در شرق واحد ذوب آهن انتخاب گردید. در هر مزرعه اقدام به نمونه‌گیری خاک در ۳ تکرار از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر و همچنین نمونه‌گیری خاک شاهد (خاک بکر) شد. نمونه‌گیری از اندام هوایی گیاه و میوه آن نیز در سه تکرار صورت گرفت.

تجزیه‌های انجام شده در خاک شامل pH ، EC، بافت خاک، درصد موادآلی، کاتیون‌ها، آنیون‌ها و غلظت عناصر سنگین Cu , Zn, Mn, Fe, Cd و Pb , در پساب شامل pH,TDS, TSS، سختی کل، کاتیونها، آنیونها، $N\text{-}NO_3$, BOD, COD و غلظت عناصر سنگین Cu, Zn, Cd, Pb, Fe, Ni, Co, Mn, Cr و در گیاه شامل درصد ماده خشک و غلظت عناصر سنگین Cu,Zn,Cd,Pb,Fe و Mn بود.

قبل از آنالیز نمونه‌ها هر نمونه به دو قسمت تقسیم گردید یک بخش جهت اندازه‌گیری عناصر سنگین با افزایش اسید نیتریک غلیظ به نمونه به نسبت ۱ درصد و نگهداری در یخچال در دمای کمتر از ۴ درجه سانتی‌گراد تحت حفاظت قرار گرفت (pH نمونه‌ها به زیر ۲ رسانده شد) (APHA, 1995). بخش دیگر برای اندازه گیری سایر پارامترهای مورد نظر استفاده گردید. در نمونه‌ها سولفات به روش توروبیدو متری (کدورت سنجی) (APHA,1995) ، کلراید بوسیله تیتراسیون پتانسیومتریک با محلول نیترات نقره (APHA, 1995)، کلسیم و منیزیم با تیتراسیون توسط ورسین (Page et al, 1982)، نیترات با روش احیای نیترات به نیتریت توسط سولفات هید رازین، COD (اکسیژن خواهی شیمیائی) با استفاده از روش اکسیداسیون توسط دی کرومات پتاسیم، BOD (اکسیژن خواهی بیوشیمیائی) به روش میکروبیولوژی و اندازه‌گیری اکسیژن محلول نمونه در ابتدا و بعد از ۵ روزتوسط دستگاه BOD_5 تعیین گردید. برای اندازه گیری مواد معلق (TSS) نمونه‌ها، ابتدا نمونه پساب بدت ۲۰ دقیقه توسط دستگاه شیکر[1] تکان داده شد. آن‌گاه نمونه کاملاً مخلوط شده از روی صافی استاندارد گذرانده شد. مواد باقی مانده بر روی صافی در حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. با توزین مواد خشک شده بر صافی، مقدار مواد معلق جامد نمونه به‌دست آمد (APHA, 1995). جهت اندازه گیری مواد جامد محلول (TDS)، مقدار ۲۰۰ میلی‌لیتر از نمونه صاف شده در حرارت ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت یک‌ساعت قرار داده شد آنگاه مواد جامد توزین گردید و به‌عنوان مواد جامد محلول در نظر گرفته شد (APHA, 1995). برای اندازه گیری عناصر سنگین در نمونه های

حفاظت شده، توسط دستگاه جذب اتمی غلظت عناصر اندازه‌گیری شد. نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بسیار اندک بوده و دستگاه قادر به اندازه‌گیری نبود غلظت عناصر آنها توسط دستگاه جذب اتمی (کوره گرافیت) موجود در مؤسسه خاک و آب اندازه‌گیری گردید.

نتایج با حدود مجاز، غلظت معمول و بحرانی عناصر سنگین (alloway,1990;Pendias and Pendias,1992) مقایسه و میانگین داده‌ها با استفاده از نرم افزار spss و به روش one sample t test تجزیه و تحلیل گردید.

نتایج و بحث

جدول ۱ دامنه مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های پساب صنعتی را نشان می‌دهد. با مقایسه داده‌ها (جدول۱) با استاندارد خروجی فاضلاب‌ها (سازمان حفاظت محیط زیست،۱۳۷۳)، حدود توصیه‌ای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA/ROC , 1989) و جدول رهنمودهای آیرز و وسکات (۱۹۸۵) مشخص شد pH کلیه پساب‌ها در محدوده مجاز است و محدودیتی جهت بهره‌برداری از پساب‌ها ایجاد نمی‌کند. هدایت الکتریکی پساب‌ها طبق حدود توصیه ای EPA و نظر آیرز و وسکات در مقایسه با حدود توصیه‌ای فراتر از حداکثر مقدار مجاز برای آبیاری و دارای محدودیت زیاد برای استفاده در آبیاری می‌باشد. بنابراین پساب‌ها از جهت کل املاح محلول TDS نیز دارای محدودیت زیاد می‌باشند. کل مواد معلق TSS جهت تخلیه پسابها به آب سطحی محدود کننده است.اما برای بهره‌گیری از پسابها در آبیاری محدودیت ندارد. از نظر پارامتر BOD پساب جهت تخلیه به آب سطحی و چاه جاذب محدودیت داشته و برای بهره‌گیری از پسابها در آبیاری پساب محدودیت ندارد. پارامتر COD در پساب برای تخلیه پسابها به آب سطحی یا چاه جاذب محدودیت داشته اما جهت استفاده از پساب در آبیاری دارای محدودیت نیست. غلظت ازت نیتراتی جهت تخلیه پساب به آب سطحی و چاه جاذب محدود کننده است و جهت بهره‌گیری از پساب در آبیاری، غلظت ازت نیتراتی دارای محدودیت زیاد یا پیامد بد آبیاری می باشد. از نظر بی‌کربنات جهت آبیاری پساب محدودیتی ندارد. اما طبق نظر آیرز و وسکات استفاده از پساب واحدها برای آبیاری از نظر غلظت بی‌کربنات پساب دارای محدودیت کم تا متوسط می‌باشند. غلظت کلر پساب برای کلیه مصارف پساب (تخلیه پساب به آب سطحی ، چاه جاذب یا استفاده برای آبیاری) دارای محدودیت شدید می‌باشد. همچنین غلظت کلر پساب‌ها از حداکثر غلظت توصیه شده کلر برای آبیاری بسیار بالاتر است. طبق نظر آیرز و وسکات استفاده از پساب‌ها برای آبیاری بارانی و سطحی دارای محدودیت زیاد یا پیامد بد می‌باشد. غلظت کلر پساب می‌تواند علائم سمیت را حتی در گیاهان متحمل متظاهر سازد. غلظت سولفات پساب جهت تخلیه به آب سطحی و چاه جاذب دارای محدودیت می‌باشند همچنین برای استفاده از پساب در آبیاری غلظت سولفات دارای محدودیت بوده و از حد مجاز فراتر است. غلظت سولفات پساب برای آبیاری از حداکثر غلظت توصیه شده نیز بسیار بالاتر است.

با مقایسه داده ها با استاندارد خروجی فاضلاب‌ها (سازمان حفاظت محیط زیست،۱۳۷۳) از مجموع خصوصیات شیمیایی مورد بررسی پساب ذوب آهن (جدول۱) پارامترهای TDS, TSS, COD, BOD, $N\text{-}NO_3$، کلراید و سولفات جهت تخلیه پساب به آب سطحی و چاه جاذب و جهت استفاده از پساب برای آبیاری پارامترهای $N\text{-}NO_3$, HCO_3^-, SAR, TDS، کلراید و سولفات محدود کننده بودند.

با توجه به حدود مجاز غلظت عناصر سنگین (سازمان حفاظت محیط زیست،۱۳۷۳)، غلظت کلیه عناصر اندازه‌گیری شده در پساب (جدول ۱) جهت تخلیه پساب به آب سطحی و چاه جاذب در محدوده مجاز قرار داشته و محدودیتی ندارند. برای استفاده از پساب برای آبیاری

تنها عنصر Co دارای غلظت بیش از حد مجاز بوده و محدودیت دارد اما در مقایسه داده‌ها با حدود مجاز آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA/ROC,1989) غلظت کروم، کبالت و کادمیم دارای غلظت فراتر از حدود ذکر شده بوده و محدودیت دارند. تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است. نتایج یک تحقیق انجام شده بر پساب واحدهای نساجی نشان داد که غلظت Cd، Ni و pH پسابها کمتر از حد مجاز برای کلیه مصارف بوده است (رحمانی،۱۳۸۲).در تحقیقی دیگر غلظت عناصر سنگین Cu , Zn ,Cu در کلیه پساب‌های واحدهای مختلف صنعتی فراتر از حد مجاز برای کلیه مصارف از جمله آبیاری بوده است(رحمانی، ۱۳۸۰).

جدول ۱- دامنه مقادیر پارامترهای مورد اندازه گیری در پساب صنعتی مورد بررسی

پارامتر مورد اندازه‌گیری	دامنه مقادیر	پارامتر مورد اندازه‌گیری	دامنه مقادیر
pH	۷-۷/۷	$(meq/l)CO_3^{2-}$	۰
(dS/m)EC	۰/۸۴-۲۶/۷	$(meq/l)HCO_3^-$	۰/۰ -۲
$(mg/l)N\text{-}NO_3$	۰/۸-۱۶۵/۸	$(meq/l)Cl^-$	۳/۲-۲۰۰۰
(mg/l)سختی کل	۲۰۰-۲۸۰۰	$(meq/l)SO4^{2-}$	۲/۳-۲۱
(mg/l)TDS	۵۳۷/۶-۱۷۰۸۸	$(meq/l)Na^+$	۴/۴-۴۲/۹
(mg/l)TSS	۳۶-۶۲	$Mg^{2+} + (meq/l)Ca^{2+}$	۴-۵۶
(mg/l)BOD	۶/۰-۵۵	SAR	۲/۵۴-۹/۸۵
(mg/l)COD	۴۴/۵-۱۱۵	(mg/l)Co	۰/۰ — ۰/۱۴
(mg/l)Cu	۰/۰۲ -۰/۰۸	(mg/l)Cd	۰/۰ — ۰/۰۲
(mg/l)Zn	۰/۰۱ — ۰/۱۸	(mg/l)Ni	۰/۰ — ۰/۰۴۲
(mg/l)Fe	۰/۰۸ — ۰/۴۱	(mg/l)Cr	۰/۰ — ۰/۱۳
(mg/l)Pb	۰ - ۰/۰۶		

جدول ۲- میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده برخی خصوصیات فیزیکو شیمیایی نمونه‌های خاک مزارع مورد مطالعه
(عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر)

پارامتر	مزرعه ۱	مزرعه ۲	مزرعه ۳
pH گل اشباع	۷/۸۲	۷/۹۵	۷/۸۶
(ds/m)EC	۴/۰۸	۳/۵۳	۳/۳۴
مواد آلی(٪)	۰/۶۱	۰/۳۹	۰/۶۹
شن(٪)	۴۸	۵۳	۴۹/۱
سیلت (٪)	۲۱/۹۷	۲۵/۳۳	۲۷/۸
رس(٪)	۳۰/۰۳	۲۱/۶۷	۲۳/۱
سدیم (meq/l)	۲۸/۲	۲۱/۲	۱۳/۹۷
منیزیم+ کلسیم (meq/l)	۲۵/۷	۱۲/۶۳	۳۵/۵
کلر (meq/l)	۲۳/۱	۱۸/۲	۱۳/۸۷
کربنات (meq/l)	۰/۸۳	۰/۵۲	۰/۶۷
بی کربنات (meq/l)	۵/۱	۴/۴۲	۴/۴۲
SAR	۷/۸۷	۸/۴۴	۳/۳۲

جدول ۲ میانگین برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزارع مورد بررسی و جدول ۳ غلظت قابل جذب عناصر سنگین را درخاک‌های اراضی کشاورزی مو در مقایسه با شاهد نشان می‌دهد. طبق جدول ۳ غلظت قابل جذب عناصر سنگین خاک در مقایسه با شاهد برای کلیه عناصر بالاتر بوده و اختلاف قابل توجهی را داراست. تفاوت غلظت قابل جذب عناصر سنگین خاک در مقایسه با شاهد نشانگر افزایش تدریجی غلظت عناصر سنگین از طریق پساب به خاک است. نتایج تجزیه پساب واحد صنعتی مورد بررسی نشان می‌دهد که غلظت عناصر Cd,Cr و Co از حد مجاز فراتر است و سایر عناصر دارای غلظتی کمتر از حد مجاز می‌باشند. با توجه به این‌که نمونه خاک شاهد از اراضی بکر که تحت آبیاری قرار نمی‌گیرد برداشت شده است افزایش غلظت عناصر در خاک فقط مربوط به استفاده از آب آبیاری است.

جدول ۴ غلظت کل عناصر سنگین را در نمونه‌های خاک اراضی کشاورزی تحت کشت مو نشان می‌دهد. در مقایسه داده‌ها با حدود معمول و بحرانی عناصر سنگین در خاک (Alloway,1990; Pendias and Pendias,1992)، غلظت عنصر سرب در دامنه غلظت معمول این عنصر در خاک قرار داشته اما غلظت عناصر Zn و Mn فراتر از غلظت معمول این عناصر در خاک و غلظت عناصر Zn و Cd فراتر از غلظت معمول در دامنه غلظت بحرانی این عناصر در خاک قرار دارند. در مجموع نتایج نشان می‌دهند در خاک‌های اراضی کشاورزی مورد بررسی غلظت عناصر Zn و Cd در محدوده غلظت بحرانی و غلظت عناصر Cu و Mn دارای غلظت فراتر از حد معمول این عناصر در خاک بوده و محدود کننده‌اند. به‌طور کلی غلظت عناصر Zn و Cd در خاک‌های منطقه دارای محدودیت شدید و غلظت عناصرCu و Mn دارای غلظت

جدول ۳- مقایسه غلظت قابل جذب عناصر سنگین (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک شاهد(خاک بکر کشت نشده) (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)

عناصر سنگین	نمونه‌های خاک آلوده (آبیاری شده با پساب)		نمونه‌های خاک شاهد (خاک بکر)	
	دامنه غلظت	میانگین	دامنه غلظت	میانگین
Fe	۸/۲۲-۴۴/۴	۲۲/۸	۳/۵۲-۴/۹۰	۴/۰۲
Cu	۱/۰۴-۷/۶۴	۲/۶۷	۰/۷۲-۱/۳۴	۱/۰۷
Mn	۹/۶۶-۲۰/۰۰	۱۵/۴۱	۷/۷-۱۲	۹/۹
Zn	۱/۶۸-۱۳/۸۲	۵/۱	۱-۲/۳۴	۱/۸۳
Cd	۰/۱۴-۱/۱۸	۰/۴۲	-	۰/۱۲
pb	۱/۷۶-۱۱/۹	۴/۴۸	-	۱/۷۶

جدول ٤- غلظت کل عناصر سنگین (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک آلوده (آبیاری شده با پساب) و شاهد (خاک بکر) در مقایسه با حدود غلظت معمول و بحرانی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) (Alloway,1990;Pendias and Pendias,1992)

عناصر سنگین	نمونه‌های خاک آلوده			نمونه‌های خاک شاهد		حدود غلظت معمول وبحرانی	
	دامنه غلظت	میانگین	sd	میانگین	sd	غلظت معمول	غلظت بحرانی
Fe	۱۵۷۴۰-۲۱۴۹۰	۱۷۲۶۶	۱۳۴۹/۴۱	۱۷۰۳۰	۲۶۸۰/۰۵	-	-
Cu	۲۵/۵ -۳۹/۸	۲۶/۸۷	۰/۶۵	۲۰/۲	۱/۰۵	۲ - ۲۵	۶۰ - ۱۲۵
Mn	۴۷۵ -۵۳۴	۵۶۴	۳۴/۹۹	۴۷۶	۲۵/۱۷	۱۰۰ - ۴۰۰	-
Zn	۵۴-۱۰۹	۵۷/۶	۴/۱۵	۳۸/۴	۲/۵۴	۱ - ۹۰۰	۷۰ - ۴۰۰
Cd	۳/۰ - ۶/۰	۵/۰	۱/۰	۳/۶۷	۰/۵۸	۰/۰۱ - ۲	۳ - ۸
pb	۳۲ - ۸۸	۵۴	۳/۶	۳۶	۱/۵۲	۲ - ۳۰۰	۱۰۰ - ۴۰۰

فراتر از حد معمول و محدود کننده‌اند. قبلاً اشاره شد محدودیت پساب برای آبیاری عناصر Cr ,Co و Cd می‌باشند. در مجموع می‌توان گفت خاک‌های اراضی کشاورزی برای عناصر سنگین Zn ,Cd ,Cu و Mn دارای آلودگی‌اند. به‌طوری‌که خاک‌ها برای عناصر Zn و Cd آلودگی زیاد و برای عناصر Mn و Cu آلودگی کم دارند.

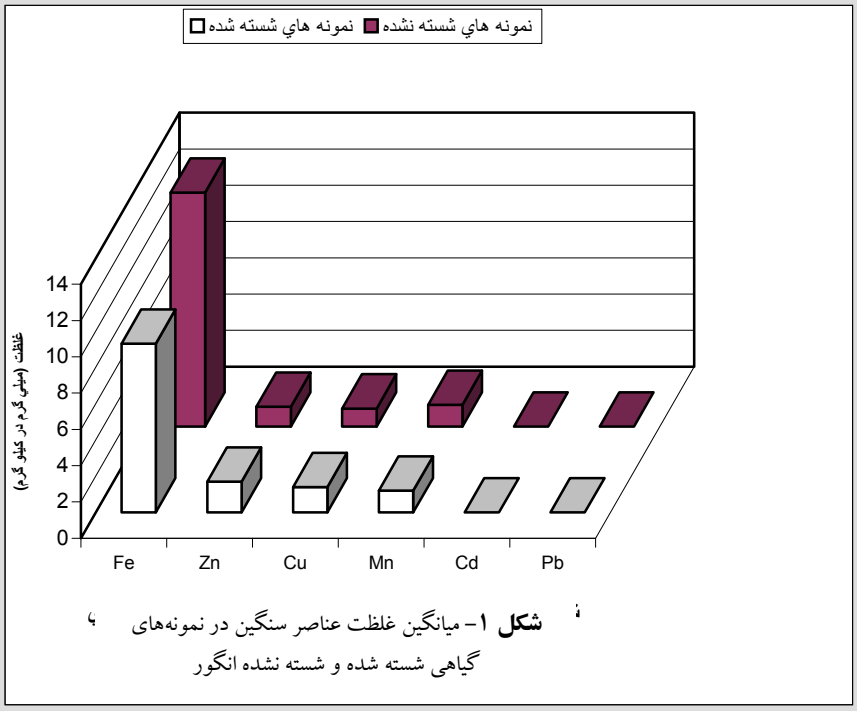
باتوجه به نتایج تجزیه پساب صنعتی، نتایج اندازه‌گیری غلظت قابل جذب عناصر سنگین خاک در مقایسه با شاهد و نتایج محدودیت یا آلودگی بعضی عناصر سنگین در خاک‌های اراضی کشاورزی می‌توان گفت آب آبیاری مورد استفاده در اراضی کشاورزی برای برخی از عناصر سنگین محدودیت داشته و دارای غلظت فراتر از حد مجاز (استاندارد خروجی فاضلاب‌ها، سازمان محیط زیست،۱۳۷۳) هستند و استفاده از این آب‌آبیاری سبب افزایش غلظت قابل جذب عناصر سنگین در خاک نسبت به شاهد شده و این تفاوت قابل توجه است و همچنین غلظت کل عناصر سنگین در خاک افزایش یافته، به حدی که غلظت کل برخی عناصر سنگین وارد محدوده غلظت بحرانی یا فراتر از غلظت معمول شده و آلودگی خاک این اراضی به این عناصر را سبب شده است. نتایج به‌دست آمده با نتایج بسیاری از محققان مطابقت دارد. گزارش‌های بسیاری نشان داده‌اند که پساب‌های تصفیه نشده توانایی افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک را داشته و در برخی موارد به مرز زیان‌آوری هم رسیده‌اند (Elliot and Stevenson,1986). همچنین در بررسی ۵ منطقه با آلودگی شدید در مناطق روستایی تایوان، خاک‌ها آلوده به عناصر Pbو Cd و دیگر عناصر بوده‌اند(Chen, 2000). همچنین مشکل اصلی خاک‌های آلوده در مناطق برنج‌کاری تایوان کادمیم ذکر شده است. حد مجاز Cd در خاک در تایوان ۰/۵ تا ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و در ژاپن ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Chen, 2000) .

جدول ۵ میانگین غلظت عناصر سنگین را در گیاه برگ مو و انگور نشان می‌دهند. در مقایسه داده‌ها با حدود معمول وبحرانی عناصر سنگین در خاک (Alloway,1990;Pendias and Pendias, 1992)، غلظت عناصر سنگین Cu, Pb, Cdو Zn در گیاه برگ مو و انگور در محدود غلظت معمول قرار دارد اما غلظت عنصر Mn در میوه انگور دارای غلظت معمول اما در برگ مو دارای غلظت بحرانی است. تحقیقات دیگر نیز به آلودگی گیاه در اثر مصرف آب آلوده اشاره کرده‌اند. در اراضی تحت آبیاری پساب در تایوان متوسط غلظت عناصر سنگین کادمیم ۰/۰۷ ، کروم ۰/۱۶، مس ۲/۴۸، سرب ۰/۴۳ و

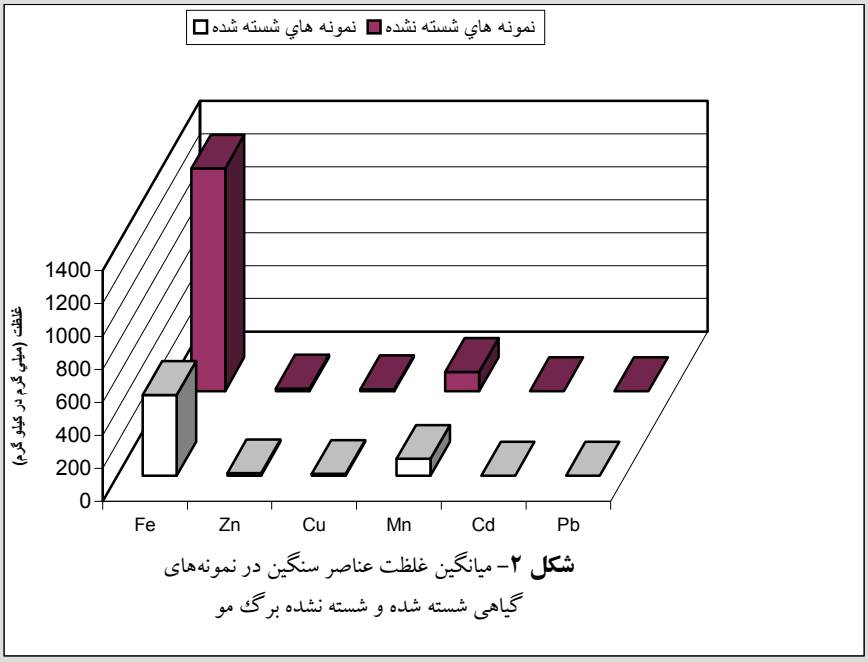
جدول۵- میانگین غلظت عناصر سنگین (برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های گیاه مو در مقایسه با حدود بحرانی (alloway,1990;Pendias and Pendias,1992)

عناصر سنگین	برگ مو		انگور		غلظت معمول	غلظت بحرانی
	میانگین	sd	میانگین	sd		
Fe	۴۵۹/۰	۱۱۳/۴۷	۸/۶	۱/۹۰	–	–
Cu	۱۱/۳	۰/۵۳	۱/۶	۰/۶۷	۵ – ۲۰	۲۰ – ۱۰۰
Mn	۱۰۵	۲۲/۳۵	۱/۱۳	۰/۲۷	۱۵ – ۱۰۰	–
Zn	۱۶/۵	۳/۸۰	۱/۷	۰/۱۲	۱ – ۴۰۰	۱۰۰ – ۴۰۰
Cd	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۱ – ۲/۴	۵ – ۳۰
pb	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۲ – ۲۰	۳۰ – ۳۰۰

روی ۳۹/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم برنج قهوه‌ای گزارش گردیده است (Chen, 2000). در تحقیقی دیگر در تایوان غلظت کادمیم در برنج رشد کرده در خاک‌های آلوده از پساب صنعتی ۵/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم برنج خشک گزارش شده‌است (Chen *et al.*, 1994). با توجه به تحقیقات انجام شده، در مناطق تحت آبیاری پساب صنعتی غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه می‌تواند افزایش یافته و به مرز زیان‌آوری برسد. در تحقیق حاضر غلظت برخی از عناصر در گیاه به حد زیان‌آوری رسیده و غلظت آنها در محدوده غلظت بحرانی قرار گرفته است.



شکل ۱- میانگین غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی شسته شده و شسته نشده انگور



شکل ۲- میانگین غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های گیاهی شسته شده و شسته نشده برگ مو

شکل‌های ۱ و۲ میانگین غلظت عناصر سنگین را درنمونه‌های شسته شده و شسته نشده برگ موو میوه انگور نشان می‌دهند. از بین عناصر مورد بررسی تنها غلظت عنصر آهن در کلیه نمونه‌های شسته نشده گیاه مورد بررسی بالاتر از نمونه‌های شسته شده است و برای سایر عناصر در مواردی غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های شسته شده بالاتر است. علت این موضوع را می‌توان حاصل فرونشست ذرات مواد جامد حاوی عنصر آهن از هوا بر سطح اندام هوایی گیاه به دلیل نزدیکی به منبع آلاینده (صنعت ذوب آهن) دانست. جذب عناصر سنگین در گیاهان به دو طریق انجام پذیر است یکی جذب از راه اندام‌های هوایی (شاخ و برگ) و دیگری جذب از طریق ریشه است (Pendias and Pendias,1992). وارد و همکاران ثابت کردند که اکثر گیاهان نسبت به جذب عناصر از طریق شاخ و برگ و ساقه خود اقدام می‌کنند. بنابراین شستشوی گیاهان بعد از نمونه‌برداری کاهشی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد را در مقایسه با گیاهان شسته نشده نشان داده‌است (نقل از رحمانی،۱۳۸۲). اگر چه بعضی گزارشات جذب عناصر را از طریق اندام‌های هوایی با تردید بیان می‌کنند اما عناصر موجود بر روی این اندام‌ها خطری جدی برای انسان از طریق مصرف گیاهان زراعی است. از طرفی احشام گیاهان علوفه‌ای را بدون شستشو مصرف می‌کنند و غلظت عناصر سنگین فرو نشست شده بر اندام هوایی در زنجیره غذایی آنها قرار می‌گیرد.

پی‌نوشت

1- Shaker

منابع

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

Allaway, B. J. (1990). *Heavy metals in soils*, London: Blackie and sonltd , Glassgow.

Ayers, R.S and D.W. Westcot (1985). *Water quality for agriculture*, F.A.O. Paper.No.29.

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. (2000). Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops, Department of Agricultural chemistry, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, Roc .

Chen, Z.S. (1992). *Metal contamination of flooded soils , rice plants , and surface waters in Asia In : Biogeochemistry of trace metals.* D.C.Adriano (Ed.) ,Lewis publishers Inc.,Florida ,USA,PP.85-107.

Chen, Z. S., S. L. Lo and H. C. Wu (1994). *Summary analysis and assessment of rural soils contaminated with Cd in Taoyuan.* project of Scientific Technology Advisor 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*, 41: 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.

Rahmani, H.R. (1995). *The soil leads pollution by on road Vehicles in some Highways of Iran* (In Farsi). M.S. Thesis. Isfahan University of Technology, Iran. 140PP.

Rahmani, H.R. (1998). The Chemical characteristics and the concentration of Pb, Cd, Ni heavy metals in the effluent water of industrial factories of Yazd City. *The Journal of Environmental Studies of Iran*. 31:31-36.

Rahmani, H.R. (2001). *The Pollutant sources of soil, water and plant in Yazd Province*. The final report of approved National Scientific board. Yazd Unoversity, Iran.

Rahmani, H.R. (2003). *The optimum utilization of industrial effluent in agriculture*. The final report of Esfahan Province for development. Planning and administration organization of Esfahan Province. P.159

Torabian, A. and A. Baghuri (1996). Investigation of Contamination by application of Industrial and municipal Effluent water in agricultural land in the southern part of Tehran. *The Journal of Environmental Studies of Iran*. 18:31-36.

Ensink, J. H. J., T. Mahmood, W. van der Hoek, L. Raschid-Sally and F.P. Amerasinghe (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.

EPA/ ROC (1998). Environmental information of Taiwan , ROC , Environmental Protection Agency (EPA) , Taipei , Taiwan , ROC.

Frank, M. D. and J. A. Martinez (1981). *Municipal waste water irrigation agriculture*., by Academic press , Inc , pp. 358-362.

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

IEPO (Iranian Environmental Protection Organization) (1994). *The Standards for discharging effluent water*. The Research deputy of Iranian Environmental Protection Organization.

Mollahoseini, H. (2003). Investigation of effects of municipal wastewater on Sorgum. *Proceeding of 8th Iranian congress of soil sciences*.

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*. 2nd ed . Boca Raton Arbor , London , p . 187-198.