نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۵۸۳-۱۵۷۴

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1574-1583

غلظت فلزات سنگین در خاک‌های اراضی فضای سبز شرکت فولاد مبارکه

وحید مرادی نسب[۱*]- مهران شیروانی[۲] - شمس اله ایوبی[۳]- محمد رضا بابایی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش ۱۳۹۵/۰۱/۳۰

چکیده

با توجه به کمبود آب در نواحی خشک و نیمه خشک کشور، استفاده از آب های نامتعارف نظیر فاضلاب‌های تصفیه شده جهت آبیاری گیاهان ضروری است. شرکت فولاد مبارکه جهت آبیاری قطره‌ای حدود ۱۳۵۰ هکتار از اراضی فضای سبز خود از فاضلاب صنعتی تصفیه شده این مجتمع استفاده می‌کند. لذا این مطالعه به منظور بررسی تأثیر آبیاری با پساب تصفیه شده این شرکت به مدت ۲، ۶ و ۱۸ سال بر غلظت فلزات سنگین خاک در مقایسه با آب چاه و خاک بدون آبیاری انجام گرفت. بدین منظور از ناحیه پیاز رطوبتی درختان از سه عمق ۲۰-۰، ۴۰ -۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متر نمونه‌های خاک تهیه و غلظت قابل دسترس و کل فلزات سنگین در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج این مطالعه افزایش معنی‌داری را در غلظت آهن، مس، روی، سرب، کادمیم و نیکل قابل دسترس در خاک‌های آبیاری شده با پساب به مدت ۶ و ۱۸ سال نسبت به خاک بکر (نمونه شاهد) نشان داد. مقادیر کل فلزات سنگین نیز نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت ولی غلظت این فلزات بطور قابل توجهی کمتر از استانداردهای سازمان محیط زیست کشور بود. بنابراین، استفاده از پساب حاصل از تصفیه فاضلاب صنعتی، حتی در درازمدت، سبب آلوده شدن خاک‌های اراضی فضای سبز شرکت فولاد مبارکه نشده است. بنابراین، آبیاری اراضی جنگلی با پساب تصفیه شده می‌تواند به عنوان روشی مناسب در مدیریت بحران آب در مراکز صنعتی کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، آلودگی خاک، آبیاری قطره‌ای، پساب صنعتی

مقدمه

بحران کمبود آب یکی از مشکلاتی است که اکثر مناطق جهان را تحت تأثیر قرار داده است. محدودیت منابع آب در سال‌های اخیر توجه محققان را به استفاده از آب‌های شور و پساب‌های صنعتی و شهری معطوف نموده است. در اغلب کشورهای پیشرفته، فاضلاب‌های تصفیه شده با رعایت استانداردهای مربوط برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما درکشورهای درحال توسعه از جمله ایران، فاضلاب‌های خام نیز در برخی مناطق برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی به مصرف رسیده که می‌تواند پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی زیادی داشته باشد. با این حال، تحقیقات انجام گرفته در مورد کاربرد پساب‌ها در آبیاری اراضی کشاورزی در سطح کشور نشان می‌دهد که استفاده از پساب، عملکرد محصولات را افزایش داده و تأثیر منفی بر ویژگی‌های خاک و نفوذپذیری آن ندارد (۲، ۹ و ۱۷). استفاده از پساب در آبیاری اراضی، علاوه بر تأمین آب گیاهان زینتی و درختان فضای سبز، موجب اضافه شدن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به خاک شده و از این طریق به افزایش حاصلخیزی خاک و در نتیجه تقلیل مصرف کود کمک می‌کند، اما از طرف دیگر ممکن است موجب تجمع آلاینده‌های مختلفی از جمله فلزلت سنگین در خاک شود. لذا پایش اثرات مضر احتمالی ناشی از فلزات سنگین در خاک‌های تحت آبیاری با پساب ضروری به نظر می‌رسد.

وجود فلزات سنگین در پساب‌ها و تجمع این عناصر (به‌ویژه سرب و کادمیوم) در خاک از جمله موارد مهم زیست‌محیطی است (۷ و ۱۳). زمانی که ظرفیت نگهداری فلزات سنگین بوسیله خاک به‌علت کاربرد و استفاده مداوم از پساب کاهش یابد، فلزات سنگین می‌توانند به آب‌های زیرزمینی انتقال یافته و یا بوسیله گیاهان از محلول خاک جذب گردند (۴). عبدو و همکاران (۱) نشان دادند اگرچه آبیاری درازمدت اراضی با پساب سبب تجمع فلزات سنگین در خاک شد ولی بر اساس شاخص‌های آلودگی خاک مانند فاکتور آلایندگی و شاخص تجمع خاکی، تجمع فلزات سنگین در خاک به حد آلایندگی نرسید (۱).

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email:vahidmoradinasab@yahoo.com)
۴- رئیس فضای سبز و زیباسازی محیط شرکت فولاد مبارکه

تاکنون مطالعات زیادی در مورد تأثیر آبیاری با پساب بر کیفیت شیمیایی خاک‌ها انجام شده است. برای مثال، در خاک‌های منطقه‌ای از آلمان که برای مدت ۱۶ و ۲۵ سال با پساب آبیاری شده بودند، غلظت هیچ‌یک از فلزات سنگین به حد زیان‌آور نرسید و تنها غلظت عناصر نیکل، کادمیوم و روی در خاک به مرز زیان‌آور نزدیک شد (۵). استریک و ریچتر (۱۸) گزارش کردند که حرکت فلزات سنگین در خاک‌های آبیاری شده با پساب بسیار کند بوده و بیش از ۹۰ درصد فلزات کادمیوم، نیکل و سرب در عمق ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متری تجمع پیدا می‌کنند (۱۸). هایات و همکاران (۹) نیز در مطالعه تاثیر آبیاری با پساب پالایشگاه ماتورا در هند بر ویژگی‌های خاک نشان دادند غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس قابل جذب در خاک افزایش، غلظت منگنز، منیزیم، آلومینیم و کبالت قابل دسترس در طول مدت آبیاری با پساب کاهش شدید و غلظت قابل دسترس نیکل، سدیم، آهن، مولیبدن، آرسنیک، کروم و جیوه تغییری نشان ندادند (۹). آبیاری دراز مدت یک خاک شنی با پساب تصفیه شده از نظر افزایش ذخیره آب و عناصر غذایی خاک و کاتیون های تبادلی نیز بسیار مفید بود (۸).

استفاده از پساب تصفیه شده در آبیاری فضای سبز از مهم‌ترین برنامه‌های مجتمع فولاد مبارکه در جهت استفاده بهینه از آب و توسعه پایدار است. با توجه به اینکه بخش عمده آبیاری فضای سبز ۱۵۰۰ هکتاری مجتمع فولاد مبارکه با پساب تصفیه شده صورت می‌پذیرد، این تحقیق به منظور آگاهی از تأثیر کوتاه مدت (۲سال)، میان مدت (۶ سال) و درازمدت (۱۸ سال) کاربرد پساب تصفیه شده بر غلظت عناصر سنگین اراضی این مجتمع انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مجتمع فولاد مبارکه که در قسمت جنوب غربی شهرستان مبارکه قرار گرفته است دارای فضای سبزی به وسعت بیش از ۱۵۰۰ هکتار است. آبیاری فضای سبز مجتمع در ابتدا با آب چاه بوده است ولی هم اکنون به دلیل محدودیت شدید آب در استان اصفهان، به‌منظور پایدار نگه داشتن فضای سبز مجتمع، استفاده بهینه از منابع آبی موجود و جلوگیری از آلودگی محیط زیست به سبب رها نمودن فاضلاب خام، علاوه بر آب چاه از پساب تصفیه شده صنعتی نیز برای آبیاری اراضی فضای سبز استفاده می‌شود.

به منظور ارزیابی اثرات آبیاری با پساب بر غلظت فلزات سنگین در خاک اراضی فضای سبز این مجتمع، نمونه‌برداری از نواحی تحت آبیاری با پساب به مدت ۲ ، ۶ و ۱۸ سال، آبیاری با آب چاه و بدون آبیاری انجام گرفت. به‌دلیل وجود خاک‌های متنوع در محدوده اراضی فضای سبز، نمونه‌برداری در مکان‌هایی انجام شد که خاک‌های نسبتاً مشابه داشته باشند تا تأثیر تنوع خاک منطقه مورد مطالعه کاهش یابد. پس از بررسی ویژگی‌های خاک نواحی مختلف، از هر ناحیه چند نقطه جهت نمونه برداری انتخاب شد به‌طوری‌که ویژگی‌های خاک‌ها تقریباً یکسان باشند.

با توجه به وجود سیستم آبیاری قطره‌ای در اراضی مورد مطالعه، نمونه‌برداری خاک از محدوده پیاز رطوبتی ایجاد شده توسط قطره چکان‌ها انجام گرفت. در مطالعات ایوبی و همکاران (۳) نشان داده شد که در محدوده ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متری از سطح خاک منطقه، یک انقطاع محدودکننده رشد ریشه بوده و مشاهده شد که بخش عمده ریشه‌ها در خاک بالایی این لایه فعالیت دارند. همچنین به دلیل اختلاف پتانسیل ماتریکی که بین دو لایه در ناحیه انقطاع به وجود می‌آید، آب آبیاری در مرز بین دو لایه تجمع یافته و پیاز رطوبتی نیز عمدتاً در ناحیه بالاتر از انقطاع مشاهده شد. با توجه به اینکه لایه‌های سطحی خاک، دارای بیشترین فعالیت ریشه درختان، تجمع مواد آلی و عناصر غذایی و تمرکز جمعیت میکروبی و محل اصلی برهمکنش آلاینده‌ها با خاک می‌باشند، خاک ناحیه ۶۰-۰ سانتی‌متری جهت نمونه برداری خاک در این مطالعه انتخاب شد.

نمونه برداری مرکب از خاک از سه عمق صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰ و ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری از پیاز رطوبتی حاصل از قطره چکان‌های تعبیه شده در هر نقطه انجام شد. نمونه‌برداری خاک از ۲۸ نقطه در نواحی تحت آبیاری قطره‌ای با پساب، ۱۱ نقطه در نواحی تحت آبیاری با آب چاه و ۵ نقطه به‌عنوان خاک بکر (شاهد) (جمعاً ۱۳۲ نمونه) صورت گرفت. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارئه شده است.

پس از انجام نمونه برداری، خاک‌ها هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. سپس عصاره گیری غلظت قابل دسترس و کل فلزات سنگین (Fe-Mn-Cu-Zn-Cr-Cd-Pb-Ni) در خاک‌ها به ترتیب با روش عصاره‌گیری با DTPA ۰/۰۰۵ مولار و اسید نیتریک ۶ نرمال انجام گرفت (۱۱). غلظت فلزات سنگین در عصاره‌ها توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی مدل پرکین-المر۲۰-۲۰ اندازه‌گیری شد.

نمونه‌های پساب از دریاچه‌های مجتمع و چاه‌هایی که در محدوده مطالعاتی قرار داشتند و جهت آبیاری اراضی استفاده می‌شدند به صورت هر سه ماه یکبار انجام پذیرفت. در نمونه‌های جمع‌آوری شده، غلظت فلزات سنگین همچون آهن، روی، مس، منگنز، نیکل، سرب، کروم و کادمیوم با دستگاه طیف سنج جذب اتمی تعیین گردید. غلظت فلزات سنگین در پساب و آب چاه در غیر قابل تشخیص توسط این دستگاه بود (جدول ۲). غلظت قابل جذب و کل فلزات کادمیوم، سرب و کروم در خاک‌ها ناچیز بوده و توسط دستگاه جذب اتمی قابل تشخیص نبود، بنابراین در نتایج ارائه نشده‌اند.

جدول ۱- میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در تیمارهای مختلف
Table 1- Average Values of Some Pysicohemical Properties of soils studied in Different Treatments

تیمار	pH	EC (dS/m)	SOM (%)	CEC ($cmol_+/kg$)	Clay	Silt	Sand
۱۸ سال پساب 18 years wastewater	7.85	3.54	1.28	28.8	17.60	19.31	63.09
۶ سال پساب 6 years wastewater	7.96	2.98	1.27	32.53	16.65	21.39	61.96
۲ سال پساب 2 years wastewater	7.97	1.91	0.8	28.26	17.62	21.54	60.74
آب چاه groundwater	8.12	3.45	1.18	26.52	17.10	21.90	61
بکر unirrigated soils	7.91	0.74	0.56	17.87	16.01	18.48	65.51

جدول ۲- میانگین درازمدت برخی خصوصیات آب چاه و پساب تصفیه شده مجتمع فولاد مبارکه مورد استفاده در آبیاری اراضی فضای سبز
Table 2-Long term Average Values for Some Properties of Groundwater and Refined Wastewater of Mobarakeh Steel Complex used in Irrigation of the Green Space

پارامتر	واحد	پساب صنعتی	آب چاه
pH	-	8.06	7.5
EC_e	(dS/m)	3.2	3.4
Fe	(mg/L)	n.d	n.d
Mn	(mg/L)	n.d	n.d
Cu	(mg/L)	n.d	n.d
Zn	(mg/L)	n.d	n.d
Ni	(mg/L)	n.d	n.d
Pb	(mg/L)	n.d	n.d
Cr	(mg/L)	n.d	n.d
Cd	(mg/L)	n.d	n.d

n.d، غیر قابل تشخیص توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی شعله‌ای

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به‌منظور بررسی تأثیر تیمارهای آبیاری با آب چاه و پساب در دوره‌های زمانی مختلف (۲، ۶ و ۱۸ سال) و تیمار بدون آبیاری (بکر) بر غلظت فلزات در خاک بوسیله نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت. از طرح تجزیه مرکب بلوک‌های کاملاً تصادفی در چند مکان استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده گردید.

نتایج و بحث

غلظت قابل دسترس عناصر در خاک

جدول ۱ نشان‌دهنده روند تغییرات عناصر آهن، منگنز، مس، روی و نیکل قابل دسترس در نتیجه تیمارهای مختلف آبیاری با پساب و آب چاه است. بیشترین مقدار آهن قابل دسترس خاک در تیمار ۱۸ سال آبیاری با پساب و کمترین مقدار در خاک بکر مشاهده شد. از بین تیمارها، تیمار ۱۸ و ۶ سال آبیاری از نظر آهن قابل دسترس تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با خاک بکر داشتند. با توجه به مقدار بحرانی آهن قابل دسترس در خاک‌ها برای رشد گیاه که در حدود ۲/۵ تا ۴/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۱۲)، تمامی تیمارها به جز خاک بکر در محدوده بالاتر از حد بحرانی قرار می‌گیرند. بنابراین می‌توان گفت، آبیاری با پساب و احتمالاً فرونشت غبار حاوی آهن سبب شده است که غلظت آهن قابل دسترس خاک بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش یابد. همچنین، احتمال دارد به دلیل تجمع مواد آلی و فعالیت ریشه درختان و ریزجانداران در خاک اراضی فضای سبز و آزاد شدن ترکیبات آلی کلات کننده مختلف بوسیله آن‌ها، غلظت فلزات سنگین قابل دسترس در محلول خاک افزایش یافته است. در قطعه تحت آبیاری با آب چاه، به دلیل نزدیکی بیشتر با محل تجمع منابع اولیه سنگ آهن کارخانه افزایش غلظت آهن خاک سطحی می‌تواند در اثر حمل و فرونشست جوی ذرات حاوی آهن توسط باد

ایجاد گردیده باشد. ولی قطعات آبیاری شده با پساب نسبت به محل جمع آوری سنگ آهن فاصله بیشتری داشته و جابه‌جایی ذرات اکسید آهن توسط باد سهم کمتری در افزایش غلظت آهن کل خاک داشته است.

غلظت منگنز قابل دسترس خاک در تیمارهای تحت آبیاری با پساب و آب چاه تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند، ولی تمامی تیمارهای آبیاری پساب و آب چاه با خاک بکر از نظر منگنز قابل دسترس در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۳). مقدار بحرانی توصیه شده برای منگنز قابل دسترس در خاک‌ها حدود ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۲). بنابراین تمامی تیمارها، حتی خاک بکر دارای منگنز بیش از حد توصیه شده برای این خاک‌ها است. عابدی و همکاران (۲) گزارش کردند که استفاده از پساب صنعتی تصفیه شده اثر معنی‌داری بر منگنز قابل دسترس خاک در مقایسه با تیمار شاهد نداشت (۲).

بیشترین و کمترین مقدار روی قابل جذب خاک به ترتیب در تیمار ۱۸ سال آبیاری با پساب و خاک بکر مشاهده گردید. خاک بکر از نظر روی قابل جذب فاقد تفاوت معنی‌دار با خاکهای آبیاری شده با پساب به‌مدت ۲ سال و آب چاه در سطح احتمال ۵ درصد بود، ولی با خاک‌های آبیاری شده با پساب به مدت ۶ و ۱۸ سال دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). بنابراین ایجاد جنگل مصنوعی، آبیاری و سایر برنامه‌های مدیریتی در درازمدت موجب افزایش میزان روی قابل دسترس در این خاک‌ها شده است. مقدار توصیه شده حد بحرانی برای روی قابل جذب خاک ۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است (۱۲). بنابراین، تنها خاک بکر (بدون آبیاری) از نظر عنصر روی دارای کمبود می‌باشد. بول و همکاران (۵) گزارش کردند که استفاده از پساب به مدت ۱۶ سال سبب افزایش غلظت روی تا حد سمیت گردید (۵)، ولی عابدی و همکاران (۲) گزارش کردند که استفاده از پساب صنعتی تصفیه شده اثر معنی‌داری بر عنصر روی خاک در مقایسه با تیمار شاهد نداشت (۲).

جدول ۳- غلظت قابل دسترس فلزات سنگین خاک در تیمارهای مختلف

Table 3- Available Concentration of Soil Heavy Metals in Different Treatments

تیمار / عنصر قابل دسترس	Fe	Mn	Cu (mg kg^{-1})	Zn	Ni
۱۸ سال پساب 18 years wastewater	19.1^{a}	15.22^{a}	1.08^{a}	1.47^{a}	0.78a^{b}
۶ سال پساب 6 years wastewater	10.5^{b}	19.60^{a}	0.66^{b}	1.24a^{b}	0.83^{a}
۲ سال پساب 2 years wastewater	8.1b^{c}	22.31^{a}	0.52^{b}	0.80b^{c}	0.57b^{c}
آب چاه groundwater	8.2b^{c}	18.85^{a}	0.58^{b}	0.85ab^{c}	0.54^{c}
بکر unirrigated soils	2^{c}	6.27^{b}	0.48^{b}	0.37^{c}	0.21^{d}

در بین تیمارها، تیمار آبیاری ۱۸ سال با پساب از نظر مس قابل جذب خاک با خاک بکر در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌داری بود (جدول ۳). بیشترین مقدار مس قابل دسترس مربوط به تیمار ۱۸ سال آبیاری با پساب و کمترین مقدار مربوط به تیمار بکر بود. با توجه به مقدار بحرانی توصیه شده مس قابل دسترس برای خاک‌ها که در حدود ۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۱۲)، همه خاک‌ها در محدوده توصیه شده قرار دارند. صابر (۱۶) گزارش کرد که ۷ سال آبیاری با پساب اثر معنی‌داری بر غلظت مس خاک نداشت (۱۶). عابدی کوپائی (۲) نیز بیان کرد که آبیاری با پساب تصفیه شده اثر معنی‌داری بر غلظت مس خاک نداشت (۲).

از نظر مقدار نیکل قابل دسترس، تمامی تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد با خاک بکر دارای تفاوت معنی‌دار بودند (جدول ۳). همچنین تیمارهای ۶ و ۱۸ سال آبیاری با پساب دارای تفاوت معنی‌داری از نظر نیکل قابل دسترس خاک با بقیه تیمارها بودند. بیشترین مقدار نیکل در تیمار ۶ سال آبیاری با پساب و کمترین مقدار مربوط به خاک بکر بود.

تاثیر عمق نمونه‌برداری بر غلظت قابل دسترس عناصر

تفاوت در میانگین غلظت عناصر آهن، منگنز، مس، روی و نیکل قابل دسترس خاک بین عمق‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. بین عمق‌های مختلف خاک از نظر مقدار آهن قابل دسترس تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت. بیشترین مقدار آهن قابل استفاده در لایه سطحی (عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) و کمترین مقدار در عمق ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متری مشاهده شد. غنی شدن

لایه سطحی از نظر مقدار آهن قابل دسترس احتمالاً به دلیل تجمع مواد آلی در سطح خاک و فرونشست غبار حاوی آهن بوده، زیرا غلظت آهن در پساب تصفیه شده به حدی ناچیز بود که توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی قابل تشخیص نبود.

بین لایه سطحی (عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتر) و لایه‌های تحتانی خاک به لحاظ مقدار مس قابل دسترس نیز تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد. بیشترین مقدار مس قابل دسترس خاک در لایه سطحی و کمترین در عمق ۴۰ تا ۶۰ مشاهده شد. همچنین، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد برای عنصر روی در بین لایه سطحی و دو لایه دیگر وجود داشت (جدول ۴).

بیشترین مقدار روی در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. غلظت منگنز و نیکل نیز از سطح خاک به عمق‌های پایینی روند کاهشی نشان داد و اختلاف معنی‌داری بین عمق‌ها در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شد (جدول ۴). بطور کلی علت افزایش معنی دار غلظت قابل دسترس فلزات در خاک سطحی می‌تواند تجمع مواد آلی و بقای گیاهی در سطح خاک و آزاد شدن ترکیبات کلات کننده از تجزیه بقایا، ریشه درختان و ریزجانداران در لایه سطحی باشد. همچنین، تجمع فلزات در اثر آبیاری با پساب و فرونشست ذرات حاوی فلزات از بخش تولید و انباشت، عمدتاً در سطح خاک صورت می‌گیرد.

جدول ٤- تاثیر عمق نمونه برداری بر غلظت قابل دسترس فلزات سنگین خاک

Table 4- Effect of Sampling Depth on Available Concentration of Soil Heavy Metals

عمق (سانتی متر) / عنصر قابل دسترس	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
			(mg kg^{-1})		
0-20	15.13^{a}	20.13^{a}	0.85^{a}	1.64^{a}	0.76^{a}
20-40	8.47^{b}	17.58^{b}	0.65^{b}	0.81^{b}	0.61^{b}
4060	7.17^{b}	14.65^{c}	0.53^{b}	0.54^{b}	0.51^{c}

غلظت کل عناصر در خاک

تغییرات غلظت آهن، منگنز، مس، روی و نیکل کل خاک‌های تحت آبیاری با پساب و آب چاه در مقایسه با خاک بکر (بدون آبیاری) در جدول ۵ نشان داده شده است. تمامی تیمارهای آبیاری از نظر مقدار آهن کل دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با خاک بکر بودند. اما بین خاک‌های تیمارشده با پساب و آب چاه اختلاف معنی‌داری از نظر آهن کل خاک وجود نداشت.

در بین تیمارها، بیشترین مقدار آهن کل خاک در تیمار ۶ سال آبیاری با پساب (۸۱۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کمترین مقدار (۲۳۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار خاک بکر مشاهده گردید. با توجه به این‌که آهن فلز ساختاری اغلب خاک‌ها می‌باشد نمی‌توان این فلز را به‌عنوان یک آلاینده تلقی کرد. اما تغییرات آهن کل خاک در بین تیمارها نشان می‌دهد که پس از احداث جنگل مصنوعی و آبیاری درختان فضای سبز با آب چاه و پساب در طی سال‌ها تغییراتی در آهن کل خاک ایجاد شده است. این تغییرات در خاک‌های تحت آبیاری با پساب بیشتر از خاک‌های تحت آبیاری با آب چاه بود، گرچه این اختلاف از نظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار نشد. در اراضی تحت آبیاری با آب چاه، قطعه‌ای وجود دارد که به دلیل قرار گرفتن در مسیر بادی که حاوی غبار حاصل از محل تجمع سنگ آهن است لایه سطحی خاک از گردوغبار پوشیده شده و ذرات گرد و غبار حاوی آهن سبب افزایش غلظت آهن کل در این ناحیه شده‌اند.

تمام تیمارهای آبیاری در مقایسه با تیمار خاک بکر از نظر منگنز کل خاک دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد بودند. در بین تیمارهای پساب، هیچ یک از تیمارهای ۲، ۶ و ۱۸ سال اختلاف معنی‌داری از نظر منگنز کل خاک با یکدیگر نداشتند. مقدار منگنز کل خاک از ۱۵۵۸–۵۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متفاوت بود. بیشترین مقدار منگنز کل خاک در تیمار ۶ سال آبیاری با پساب مشاهده شد. اگرچه عنصر منگنز جزء کانی‌های ساختاری خاک‌هاست، اما مقایسه بین تیمارهای آبیاری با خاک بکر نشان می‌دهد که مدیریت آبیاری به‌گونه‌ای بوده که سبب افزایش منگنز کل خاک‌ها گردیده است. البته این افزایش می‌تواند ناشی از فرونشست جوی آلاینده‌ها از خط تولید کارخانه فولاد نیز باشد. رحمانی (۱۴) در مطالعه اثر آبیاری با پساب کارخانه ذوب آهن بیان داشت که غلظت منگنز کل خاک در اثر استفاده از این پساب، فراتر از غلظت معمول در خاک‌ها بود (۱۴).

از نظر غلظت مس کل خاک، بین تمامی تیمارها و تیمار شاهد در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین حتی تیمارهای پساب در زمان ۱۸ سال آبیاری تأثیری بر مس کل خاک نداشته‌اند. غلظت کل مس در خاک‌های مورد مطالعه از ۲/۹۷ تا ۵/۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متفاوت بود که با توجه به مقدار مجاز توصیه شده توسط سازمان محیط زیست برای مس کل خاک (۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، هیچ‌یک از خاک‌ها محدودیتی از نظر آلودگی مذکور ندارند. رامیرز و همکاران (۱۵) نیز بیان نمودندکه آبیاری طولانی مدت با پساب تصفیه شده سبب افزایش معنی‌داری در غلظت مس کل خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد (۱۵).

جدول ۵- غلظت کل فلزات سنگین خاک در تیمارهای مختلف

Table 5- Total Concentration of Heavy Metals in Different Treatments

تیمار / عنصر	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
			(mg.kg^{-1})		
۱۸ سال پساب 18 years wastewater	7456^{a}	1513^{a}	2.95^{a}	60^{a}	20.9^{ab}
۶ سال پساب 6 years wastewater	8161^{a}	1558^{a}	3.47^{a}	61^{a}	25.14^{a}
۲ سال پساب 2 years wastewater	7081^{a}	1291^{a}	4.2^{a}	53.4^{a}	24.5^{a}
آب چاه groundwater	6113^{a}	1198^{a}	5.18^{a}	50.6^{a}	20^{ab}
بکر unirrigated soils	2321^{b}	508^{b}	4.97^{a}	25.6^{b}	16.8^{b}

تمامی تیمارهای آبیاری از نظر روی کل خاک دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با تیمار شاهد بودند. اما در مقایسه بین تیمارهای پساب با آب چاه، هیچ یک از تیمارها از نظر روی کل خاک تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۵ درصد نشان ندادند. با توجه به این‌که مقدار مجاز توصیه شده برای روی کل خاک برای مناطق جنگلی و مرتعی ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۱۰) و با توجه به اینکه مقدار روی کل در خاک‌های مورد مطالعه بین ۲۵/۶ تا ۶۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است، محدودیتی از نظر آلودگی خاک‌های اراضی فضای سبز مجتمع فولاد از نظر روی وجود ندارد، هرچند روی کل خاک نسبت به خاک بکر در نتیجه آبیاری و غبار حاصل از سنگ معدن و خط تولید در خاک‌ها افزایش داشته است. رحمانی (۱۴) بیان نمود که در اثر آبیاری با پساب کارخانه ذوب آهن غلظت عنصر روی در خاک تحت مطالعه بیش از مقدار مجاز بود و سبب آلودگی خاک‌های تحت آبیاری شد (۱۴)، در حالی که رامیرز و همکاران (۱۵) اظهار داشتند که آبیاری طولانی مدت پساب سبب کاهش غلظت عنصر روی کل در خاک گردید (۱۵).

از بین تیمارها، فقط تیمارهای ۲ و ۶ سال آبیاری با پساب تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۵ درصد از نظر مقدار نیکل کل خاک نشان دادند و تیمارهای آب چاه و ۱۸ سال پساب در مقایسه با خاک بکر از نظر نیکل کل خاک فاقد تفاوت معنی‌داری بودند. بنابراین از لحاظ مقدار، تیمار ۶ سال پساب با ۲۵/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین و تیمار خاک بکر با ۱۶/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین غلظت نیکل کل خاک را دارا بودند. با توجه به مقدار توصیه شده سازمان حفاظت محیط زیست برای نیکل کل خاک در مناطق جنگلی که ۵۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد (۱۰)، هیچ یک از اراضی تحت آبیاری با آب چاه و پساب، محدودیتی به لحاظ آلودگی نیکل خاک ندارند.

تاثیر عمق نمونه‌برداری بر غلظت کل عناصر در خاک

تغییرات عناصر کل خاک در توالی عمق‌ها نیز در جدول ۶ نمایش داده شده است. بین لایه اول و سوم خاک از نظر مقدار آهن کل تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد. از نظر مقدار آهن کل خاک، بیشترین مقدار مربوط به لایه سطحی بوده و با افزایش عمق از مقدار آهن کل خاک کاسته شد. بخشی از این افزایش در لایه سطحی علاوه بر آبیاری می‌تواند ناشی از فرونشت‌های جوی حاوی سنگ‌آهن از محل انباشت آن باشد.

بین عمق‌ها در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری برای منگنز کل خاک وجود داشت. مقدار بیشتر منگنز در سطح خاک نشان می‌دهد منگنز در نتیجه آبیاری یا فرونشست غبارهای حاوی منگنز تجمع یافته است.

بین عمق‌های خاک به لحاظ مقدار مس کل خاک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده نشد، که نشان می‌دهد هر چند لایه سطحی دارای مس کل بیشتری است اما از نظری آماری تفاوت معنی‌داری با عمق‌های زیرین خود ندارد و مس کل خاک عمدتاً مربوط به مقدار طبیعی موجود در مواد مادری است. نتایج مقایسات میانگین نشان داد که بین هر سه عمق از نظر روی کل خاک در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. به‌عبارت دیگر عنصر روی در لایه سطحی خاک تجمع یافته که نشان می‌دهد منشاء روی، آب آبیاری یا فرونشست غبار آلوده به روی است. میانگین نیکل کل خاک در عمق‌های مختلف نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین عمق‌های مختلف در سطح احتمال ۵ درصد از نظر مقدار نیکل کل خاک است.

جدول ٦- تاثیر عمق نمونه برداری بر غلظت کل فلزات سنگین خاک

Table 6- Effect of Sampling Depth on Total Concentration of Soil Heavy Metals

عمق (سانتی متر) / عنصر قابل دسترس	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni
			(mg kg^{-1})		
0-20	7189^{a}	1478^{a}	4.5^{a}	61^{a}	22.8^{a}
20-40	6676a^{b}	1273^{ab}	3.8^{a}	52^{b}	21.92^{a}
4060	5994^{b}	1104^{b}	3.9^{a}	44^{c}	20.9^{a}

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد خاک بکر ارضی مجتمع فولاد مبارکه از نظر غلظت قابل دسترس عناصر کم‌نیاز گیاه مانند آهن، روی و منگنز دچار کمبود است ولی در خاک اراضی فضای سبز مجتمع احتمالاً به دلیل مدیریت آبیاری با پساب و احداث جنگل مصنوعی، افزایش مواد آلی و بقایای گیاهی، فعالیت ریشه گیاه و ریزجانداران غلظت این عناصر افزایش یافته است. مقادیر غلظت کل فلزات سنگین در این خاک‌ها نیز نسبت به خاک بکر افزایش یافته اما در مقایسه با استانداردهای ارائه شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست ایران کمتر بوده و با حدود مجاز آلودگی خاک فاصله زیادی دارند. بنابراین، آبیاری فضای سبز جنگلی با پساب تصفیه شده که به عنوان راهکار مناسبی برای کمک به مدیریت بحران آب در این مجتمع انجام گرفته موجب آلودگی خاک این اراضی نشده است.

منابع

1- Abdu, N., Abdulkadir, A., Agbenin, J.O., and Buerkert, A. 2011. Vertical distribution of heavy metals in wastewater-irrigated vegetable garden soils of three West African cities. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 89: 387-397.

2- Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., and Bagheri, M. 2006. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. Plant Soil and Environment, 52: 335-344.

3- Ayubi, S, Khademi, H., Shariatmadari, H., and Melali, A. 2013. Assessing the limitations and determination of the capabilities and capacities of soils in green space of Mobarake Steel complex. Mobarake Steel complex Report No. 9000010400. (in Persian).

4- Bagheri, M.R. 2000. The effects of wastewater and irrigation systems on soil physicochemical properties and contamination under different crops. M.Sc. thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in Persian).

5- Boll, R., Dernbach, H., and Kayser, R. 1986. Aspects of land disposal of wastewater as experienced in Germany. Water Science & Technology. 18: 383-390.

6- Chang, A., Warneke, J., Page A., and Lund, L. 1984. Accumulation of heavy metals in sewage sludge-treated soils. Journal of Environmental Quality, 13: 87-91.

7- Cid, B. P., M. de Jesús González and Gómez, E.F. 2002. Comparison of single extraction procedures, using either conventional shaking or microwave heating, and the Tessier sequential extraction method for the fractionation of heavy metals from environmental samples. Analyst, 127: 681-688.

8- Duan, R., Sheppard, C.D., and Fedler C.B. 2010. Short-term effects of wastewater land application on soil chemical properties. Water, Air and Soil Pollution, 211: 165-176.

9- Hayat, S., Ahmad, I., Azam, Z., Ahmad, A., and Inam, A. 2002. Effect of long-term application of oil refinery wastewater on soil health with special reference to microbiological characteristics. Bioresource Technology, 84: 159-163.

10- Iranian Department of Environmental Protection. 2013. Soil Resources Quality Standards and their Guidelines. (in Persian).

11- Khoshgoftarmanesh, A.H. 2009. Evaluation of Plant Nutrition Status and Optimum Fertilizer Management. Isfahan University of Technology Publication, Isfahan. (in Persian)

12- Kumar, D. 2008. Definitional Glossary of Agricultural Terms, volume 2. I. K. International Pvt Ltd.

13- Malakouti, M. J., and Homaie, M. 2003. Soil Fertility in Arid Regions. Tarbiat Modarres University Publication, Tehran. (in Persian).

14- Rahmani, H.R. 2008. Eflluent quality of Zob-Ahan Company and its effects on irrigated Grape fields. Environmental Sciences, 5: 135-144.

15- Ramirez-Fuentes, E., C. Lucho-Constantino, E. Escamilla-Silva and L. Dendooven. 2002. Characteristics, and carbon and nitrogen dynamics in soil irrigated with wastewater for different lengths of time. Bioresource

Technology. 85: 179-187.
16- Saber, M. 1986. Prolonged effect of land disposal of human wastes on soil conditions. Water Science & Technology. 18: 371-374.
17- Safari Sanejani, A. 1995. Implications of wastewater irrigation on some chemical properties of soil of Isfahan Borkhar region and accumulation of some nutrients in alfaalfa. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Isfahan University of Technology. (in Persian).
18- Streck, T., and J. Richter. 1997. Heavy metal displacement in a sandy soil at the field scale: I. Measurements and parameterization of sorption. Journal of Environmental Quality, 26: 49-56
19- Water and Soil Research Institute. 2009. Guidelines for Laboratory Analysis of Soil and Water Samples. No 467. (in Persian).

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1574-1583

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۵۸۳-۱۵۷۴

Soil Heavy Metal Concentrations in Green Space of Mobarake Steel Complex

V. Moradinasab[1*]- M. Shirvani[2]- Sh. Ayoubi[3]- M. R. Babaee[4]

Received: 22-09-2014
Accepted: 18-04-2016

Introduction: Water shortage in arid and semiarid regions of the world is a cause of serious concerns. The severe water scarcity urges the reuse of treated wastewater effluent and marginal water as a resource for irrigation. Mobarake Steel Complex has been using treated industrial wastewater for drip-irrigation of trees in about 1350 ha of its green space. However, wastewater may contain some amounts of toxic heavy metals, which create problems. Excessive accumulation of heavy metals in agricultural soils through wastewater irrigation may not only result in soil contamination, but also affect food quality and safety. Improper irrigation management, however, can lead to the loss of soil quality through such processes as contamination and salination. Soil quality implies its capacity to sustain biological productivity, maintain environmental quality, and enhance plants, human and animal health. Soil quality assessment is a tool that helps managers to evaluate short-term soil problems and appropriate management strategies for maintaining soil quality in the long time. Mobarakeh Steel Complex has been using treated wastewater for irrigation of green space to combat water shortage and prevent environmental pollution. This study was performed to assess the impact of short- middle, and long-term wastewater irrigation on soil heavy metal concentration in green space of Mobarake Steel complex.

Materials and Methods: The impacts of wastewater irrigation on bioavailable and total heavy metal concentrations in the soils irrigated with treated wastewater for 2, 6 and 18 years as compared to those in soils irrigated with groundwater and un-irrigated soils. Soils were sampled from the wet bulb produced by under-tree sprinklers in three depths (0-20, 20-40 and 40-60 cm). Soil samples were air-dried, and crushed to pass through a 2-mm sieve. Plant-available metal concentrations were extracted from the soil with diethylenetriaminepentaacetic acid-$CaCl_2$-triethanolamine (DTPA-TEA). To determine the total concentration of heavy metals, the soil samples were digested in 6 M HNO_3. Concentrations of heavy metals in the extracts were determined by Atomic Absorption Spectroscopy. Finally, available metal micronutrient levels in the soil were compared with the critical deficiency ranges suggested for calcareous soils. Also, total concentrations of the metals in the soils were compared with the standards of the Iranian Environmental Protection Agency to assess possible contamination of soils with heavy metals in the studied area.

Results and Discussion: The results of this study showed significant increases of plant-available Fe in the soils irrigated with wastewater for 6 and 18 years as compared to the unplanted control. Regardless of the type of irrigation water used, available Mn and Ni were significantly increased in all forested areas as compared to the unplanted soils. Available Zn fraction was significantly higher in the soils with history of 6 and 18 years of wastewater irrigation. Increase in available Cu concentration was statistically significant only in the soils irrigated with wastewater for 18 years. As the metal concentration in the wastewater used for irrigation was very low, it seems that the major source of metal accumulation in the soils is particulate fallout or emissions directly from the dump sites and metal plating operation. Furthermore, irrigation and forestation practices might have improved bioavailability of micronutrient metals in the soils of green space of Mobarakeh Steel complex through increasing organic matter content of the soils which enhances metal chelation reactions.

Total concentrations of the metals in the forested soils also increased as compared to those of the control. Total Fe, Mn, and Zn concentrations were notably higher in all soils of the green space area as compared to those in the unplanted control sites. Wind-driven particle transport from dumping site to nearby soils may be the main reason for metal build-up in the green space soils. Total concentration of Cu showed no significant difference among the soils of the treatments and the control. Although metal accumulation has been occurring in the soils of the Mobarakeh Steel complex green space, total concentrations in the soils were still considerably lower than the allowable levels recommended by the Iranian Environmental Protection Agency.

Conclusions: The results of this study revealed that metal accumulation has been occurring in the green space soils of the Mobarakeh Steel complex. Considering the short distance of the dumping and metal smelting sites with the green space and very low concentrations of metals in wastewater, in may be concluded that fall out of metallic particles on the soil surfaces from the dumping and smelting sites is the main route for metals

1, 2 and 3- Former M.Sc. student, Associate Proffesor and Proffesor Department of soil science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology
(*-Corresponding Author Email: vahidmoradinasab@yahoo.com)
4- Manager of Green Space and Environmental Beautification of Mobarakeh Steel Company

accumulation in the soils of the green space areas.

Keywords: Available concentration of heavy metals, Industrial wastewater, Total concentration of heavy metals and soil