

Effect of Irrigation with Industrial Effluent and Well Water on the Levels of Heavy Metals in Wheat (Case Study of Alborz Industrial Center)

Zarrabi MM¹, Mafakheri S*¹, Mahdavi Mazdeh A², Jafari Halali Z³

1. Assistant professor, Department of Horticultural sciences engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2. Assistant professor, Department of Water engineering, Faculty of engineering and technology, Imam Khomeini international university, Qazvin, Iran.

3. MSc of water engineering, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.

* *Corresponding author.* Tel: +982833901228, Fax: +982833901236, E-mail: smafakheri@gmail.com

Received: Jun 18, 2018

Accepted: Nov 11, 2018

ABSTRACT

Background & objectives: This study was conducted to investigate the effect of irrigation with industrial wastewater and well water on the pollution of heavy metals of wheat plants, which is cultivated in Alborz Industrial city, Qazvin.

Methods: Samples were taken from wastewater, soil and wheat in the fields adjacent to the industrial city of Alborz. Meanwhile, healthy water used by farmers, soil and field plants located at 5 km from the Alborz industrial city as a control. Atomic Absorption Spectroscopy was used to measure the levels of Cd, Cu, Ni, Cr, Mn and Al in wastewater, soil and wheat and compare with the limit and control values.

Results: Although the concentrations of metals in the wastewater were below the FAO limit for irrigation, the concentration of cadmium, copper, chromium, manganese and aluminum in wheat grain irrigated by wastewater was higher than the limit. Cd, Cu, Cr and Ni concentration in all the collected samples from wastewater irrigated site were significantly higher than clean water irrigated ones, whereas Mn and Al concentrations in all the collected samples were higher than the permissible limits in both wastewater irrigated site and clean water irrigated ones but the difference were not significant ($p>0.05$).

Conclusion: The study concludes that the use of treated wastewater for irrigation has increased the contamination of Cd, Cu, Cr and Ni in soil and agricultural products.

Keywords: Atomic Absorption Spectrometry; Heavy Metals; Pollution; Wastewater; Wheat

بررسی تاثیر آبیاری با پساب‌های صنعتی و آب چاه بر سطوح برخی فلزات سنگین در گیاه گندم (مطالعه موردی شهرک صنعتی البرز)

محمد مهدی ضربایی^۱، سودابه مفاخری^{۱*}، علی مهدوی مزده^۲، زهرا جعفری هلالی^۳

۱. استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳. دانش آموخته مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۲۸۳۳۹۰۱۲۲۸ فکس: ۰۲۸۳۳۹۰۱۲۳۶ ایمیل: smafakheri@gmail.com

چکیده

زمینه و هدف: این مطالعه به منظور بررسی و مقایسه تاثیر آبیاری با پساب‌های صنعتی و آب چاه در آلودگی به فلزات سنگین مزارع گندم کشت شده در محدوده شهرک صنعتی البرز، قزوین، انجام گرفت.

روش کار: جهت اجرای این مطالعه کاربردی، نمونه برداری از پساب، خاک و گیاهان مزارع مجاور شهرک صنعتی البرز، انجام شد. از آب مورد استفاده کشاورزان، خاک و گیاهان مزرعه‌ای واقع در ۵ کیلومتری این شهرک نیز به عنوان شاهد، نمونه برداری شد و سطوح فلزات کادمیوم، مس، نیکل، کروم، منگنز و آلومینیوم در پساب، خاک و محصول گندم، توسط دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی تعیین گردید و با حد مجاز و مقادیر شاهد مقایسه شد.

یافته‌ها: اگر چه غلظت فلزات در پساب، زیر حد مجاز FAO برای استفاده در آبیاری بود، ولی غلظت کادمیوم، مس، کروم، منگنز و آلومینیوم دانه گندم در مناطق آبیاری شده با پساب، بالاتر از حد مجاز بود. غلظت کادمیوم، مس، نیکل و کروم در تمام نمونه‌های منطقه آبیاری شده با پساب بطور معنی‌داری بالاتر از نمونه‌های آبیاری شده با آب چاه بود، در حالی که غلظت منگنز و آلومینیوم در نمونه‌های هر دو منطقه آبیاری شده با پساب و آب چاه، بالاتر از حد مجاز بود و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که استفاده از پساب تصفیه شده جهت آبیاری، آلودگی به فلزات کادمیوم، مس، نیکل و کروم را در خاک و محصول گندم افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: اسپکترومتری جذب اتمی، آلودگی، پساب، فلزات سنگین، گندم

دریافت: ۹۷/۳/۲۸ پذیرش: ۹۷/۸/۲۰

مقدمه

تخلیه بی‌رویه فاضلاب‌های صنعتی، آثار مخربی را به محیط زیست، بویژه اراضی کشاورزی که با این آب‌ها آبیاری می‌شوند، وارد می‌سازد. پساب و لجن فاضلاب حاوی مقادیر زیادی از عناصر کم مصرف و فلزات سنگین می‌باشند. هنگامی که این مواد به زمین اضافه می‌شوند، گیاه این عناصر را نیز جذب می‌کند. جذب عناصر کم مصرف و فلزات سنگین

به مقدار زیاد به وسیله گیاه، می‌تواند سبب آلودگی زنجیره غذایی انسان و دام شود. برای پیشگیری از جذب بیش از حد فلزات سنگین، برخی از کشورها و همچنین سازمان حفاظت محیط زیست و سازمان بهداشت جهانی قوانینی وضع کرده‌اند و حدودی را برای غلظت عناصر و ویژگی‌های مختلف پساب‌ها جهت مصرف به عنوان آب آبیاری، تعیین نموده‌اند (۲،۱).

در ایران، کاربرد مجدد فاضلاب‌ها و پساب حاصل از تصفیه آنها در کشاورزی به علت نیاز روزافزون به آب، روز به روز بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. کاربرد پساب از جنبه زراعی و محیطی حائز اهمیت است چرا که پساب‌های شهری به دلیل دارا بودن عناصر مغذی، کودهای آلی مرغوبی محسوب می‌شوند که ارزشی بیش از کودهای شیمیایی دارند. این امر به علت دیر رهاسدن عناصر کودی و همچنین افزوده شدن مواد آلی قابل تجزیه و افزایش هوموس خاک می‌باشد (۳).

در همین راستا تحقیقات نشان می‌دهند که آبیاری سبزیجات (گوجه فرنگی، کاهو، هویج و خیار) با فاضلاب تصفیه شده، معادل ۲۵ تن کود حیوانی در هر هکتار صرفه‌جویی دارد. با این وجود در استفاده از پساب در کشاورزی باید به میزان فلزات سنگین و آلاینده‌های موجود در آن توجه داشت زیرا هرچند غلظت عناصر در پساب ممکن است کم و ناچیز باشد، ولی تجمع آنها در خاک می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر در گیاهان کشت شده شود. اگرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد گیاه لازم هستند ولی غلظت بیش از حد آنها می‌تواند برای گیاه و جانور مشکل‌ساز باشد، فلزاتی مانند کادمیوم، سلیسیم، نیکل، سرب، کروم و آرسنیک به طور معمول در خاک کشاورزی یافت نمی‌شوند و در غلظت زیاد برای گیاهان سمی هستند (۴). در تحقیقی مشخص شد که کاربرد لجن فاضلاب، جذب مس و روی توسط گوجه‌فرنگی را افزایش داده است (۵). گزارش شده است که استفاده از لجن فاضلاب سبب افزایش معنی‌دار روی و منگنز در ریشه و مس و منگنز در اندام هوایی کاهو و اسفناج می‌شود (۶). همچنین آبیاری برنج با آب رودخانه‌هایی که متأثر از فاضلاب صنعتی بود موجب افزایش تجمع نیکل در اندام هوایی گیاه برنج گردید (۷). در بررسی تاثیر فلزات سنگین، طی استفاده از فاضلاب نهر فیروزآباد، در اراضی کشاورزی جنوب تهران، مشخص گردید که میانگین

میزان تجمع کادمیوم در گیاهان برخی از مناطق جنوب تهران ۱ تا ۲ برابر بیشتر از مناطق غیرآلوده و مقدار کروم، هم برای گیاه و هم برای انسان از مقادیر استاندارد بیشتر بود (۸). همچنین مشخص شد که در اراضی قسمت مرکزی استان مازندران که تحت تأثیر پساب شهری قرار داشته‌اند میزان نیکل حداقل دو برابر افزایش یافته است (۹). در خاک و گیاهان روئیده تحت شرایط آبیاری با پساب صنعتی، تجمع فلزات سنگین به خصوص کادمیوم مشاهده شده است (۱۰). محققان گزارش کردند خاک‌های آبیاری شده با پساب در بیجینگ^۱ چین حاوی ترکیبات فلزات سنگین هستند. همچنین غلظت فلزات سنگین در گیاهان کشت شده در خاک‌های آبیاری شده با پساب نسبت به گیاهان رشد یافته در خاک شاهد، بیشتر از حدود مجاز تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست در چین و سازمان بهداشت جهانی بود (۱۱).

از جمله مسائلی که اخیراً توجه عده زیادی از محققان و صاحب‌نظران به مسائل زیست محیطی 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. بر همین اساس پژوهش حاضر به منظور بررسی و مقایسه تاثیر آبیاری با آب معمولی (آب چاه) و آبیاری با پساب صنعتی بر محتوای فلزات سنگین (کروم، نیکل، کادمیوم، مس، منگنز و آلومینیوم) در خاک زراعی و گیاه زراعی غالب منطقه، گندم، انجام گرفت.

روش کار

محدوده مورد مطالعه

جهت اجرای این مطالعه، نمونه برداری از پساب، خاک و گیاهان مزارع مجاور شهرک صنعتی البرز انجام شد. ضمن اینکه از آب مورد استفاده کشاورزان (آب چاه)،

^۱ Beijing

خاک و گیاهان مزرعه‌ای واقع در ۵ کیلومتری شهرک صنعتی البرز، به عنوان شاهد نمونه‌برداری شد.

شهرک صنعتی البرز در ۱۴۰ کیلومتری شمال غربی تهران و ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهر قزوین واقع شده است. از مجموع ۹۰۰ هکتار اراضی شهرک صنعتی البرز ۵۵۰ هکتار در قسمت شرقی به مناطق صنعتی اختصاص داده شده است و با گذشت قرین نیم قرن از احداث این شهرک، هم‌اکنون به عنوان بزرگترین شهرک صنعتی ایران با فراهم نمودن بسترهای لازم جهت تولید و توسعه کارخانجات صنعتی، بالغ بر ۴۵۰ واحد تولیدی بزرگ و کوچک و بیش از هزار واحد کارگاهی و خدماتی را در خود جای داده است که پساب حاصل از این واحدها بعد از عملیات تصفیه در اختیار آبیاری بخش کشاورزی قرار می‌گیرد. صنایع فعال در این شهرک شامل؛ محصولات غذایی و آشامیدنی، منسوجات، پوشاک، دباغی و پرداخت چرم، چوب، کاغذ و محصولات وابسته، مواد و محصولات شیمیایی و مشتقات نفتی، محصولات لاستیکی و پلاستیکی می‌باشد. همزمان با احداث شهرک صنعتی البرز در سال ۱۳۴۶ فاز اولیه تصفیه‌خانه فاضلاب نیز احداث گردید. در سال ۱۳۷۸ طرح توسعه تصفیه‌خانه البرز در دو خط به ظرفیت هفتاد هزار متر مکعب در شبانه روز، به بهره‌برداری رسید که با توجه به توسعه صنایع و افزایش پساب صنعتی تا ظرفیت نود هزار متر مکعب، قابل توسعه می‌باشد. این تصفیه‌خانه به عنوان بزرگترین تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی کشور، در حال حاضر با ظرفیت معمول شبانه روز بین ۴۷ تا ۶۸ هزار متر مکعب فاضلاب صنعتی را تصفیه می‌نماید. روش جمع‌آوری فاضلاب صنعتی از طریق شبکه فاضلاب و به صورت ثقلی صورت می‌گیرد. ضمن پذیرش پساب از طریق شبکه فاضلاب، عملیات و فرآیند تصفیه فاضلاب صنعتی به شکل بیولوژیکی صورت می‌گیرد و بعد از عملیات تصفیه کامل پساب‌های ورودی به تصفیه‌خانه، کلرزنی به منظور گندزدایی و ضدعفونی کردن پساب

تصفیه شده انجام شده و بر اساس استانداردهای تعریف‌شده زیست محیطی در اختیار آبیاری بخش کشاورزی قرار می‌گیرد.

نمونه‌برداری

برای نمونه‌گیری پساب، از ظروف شیشه‌ای که از قبل با اسید سولفوریک کر داده شده بود استفاده گردید. نمونه‌ها بصورت ۳ بار تکرار و از محل کانال تخلیه پساب به مزارع، جمع‌آوری شد. برای جلوگیری از آلودگی میکروبی به هر ۱۰۰ میلی‌لیتر از نمونه، ۱ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه گردید و نمونه‌ها تا زمان آنالیز، در یخچال نگهداری گردیدند (۱۲).

نمونه‌برداری از آب چاه نیز با ۳ بار تکرار، از محل کانال تخلیه آب چاه به مزارع، جمع‌آوری شد و مراحل ذکرشده در بالا عیناً برای آن تکرار گردید. نمونه‌برداری از خاک مزارع گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه، همزمان با برداشت محصول، انجام پذیرفت. نمونه‌های خاک مزارع از عمق ۲۰-۰ سانتیمتر و در حجم‌های ۵۰۰ گرمی در کیسه‌های پلی‌اتیلنی جمع‌آوری شدند. از هر یک از مزارع طبق مدل زیگزاگ ۵ نمونه تهیه و سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و از نمونه‌های حاصل، نمونه مرکب مربوط به هر یک از مزارع تهیه شد (۱۳). در ادامه نمونه‌ها در معرض هوا خشک گردیدند و پس از آسیاب، با مش ۲ میلی‌متر الک شدند و تا زمان آنالیز در دمای اتاق نگهداری شدند. نمونه‌برداری از گیاه گندم آبیاری شده با پساب و آبیاری شده با آب چاه، در فصل برداشت آنها و همزمان با نمونه‌برداری از خاک، طبق مدل زیگزاگ و بصورت تصادفی انجام پذیرفت. نمونه‌ها به صورت دستی برداشت گردیدند و به آزمایشگاه منتقل شدند. جهت حذف آلودگی خاک روی اندام‌های گیاه، ریشه و ساقه با آب دیونیزه شستشو گردید، سپس نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. نمونه‌های گیاهی خشک‌شده توسط آسیاب به صورت پودر در آمده و با الک مش یک میلی‌متر الک گردیدند و تا زمان

استاندارد ساخته شده مربوط به هر فلز، کالیبره و سپس غلظت نمونه‌ها با توجه به منحنی کالیبراسیون آن فلز تعیین گردید.

تحلیل آماری

غلظت‌های گزارش شده توسط دستگاه جذب اتمی، با استفاده از نرم افزار SPSS-18 مورد آنالیز قرار گرفت. مقایسه میانگین‌های به دست آمده توسط روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح ۵ درصد انجام گردید. جهت رسم نمودارها و جداول مقایسه غلظت فلزات با استاندارد و مقادیر شاهد، نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

یافته‌ها

نتایج حاصل از سنجش میزان فلزات سنگین در پساب و آب چاه در جدول ۱ آورده شده است. مقادیر بدست آمده بیانگر این موضوع است که غلظت فلزات کروم، نیکل، کادمیوم و منگنز با مقادیر نمونه‌های شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند اما میان غلظت فلزات آلومینیوم و مس در پساب و آب چاه اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید. به احتمال ۹۸ درصد غلظت فلزات نیکل، مس، منگنز و آلومینیوم در آب چاه و پساب، همچنین کروم و کادمیوم در آب چاه، کمتر از مقدار مجاز آب آبیاری می‌باشد، در صورتی که با این احتمال، غلظت فلزات کروم و کادمیوم در پساب، بیشتر از حد مجاز بود.

بررسی میزان کروم

نتایج نشان داد که غلظت کروم پساب، بسیار نزدیک به حد استاندارد آن جهت آبیاری است در حالی که میزان کروم در آب چاه 0.37 ppm گزارش گردید. غلظت کروم در خاک مزارع گندم آبیاری شده با پساب، ۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش گردید که $2/16$ برابر مزارع گندم شاهد بود. غلظت کروم در ریشه گندم آبیاری شده با پساب $23/85$ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که $1/6$ برابر شاهد و در ساقه گندم آبیاری شده با پساب $20/35$ میلی‌گرم در کیلوگرم

آزمایش در دمای اتاق نگهداری شدند. جهت هضم نمونه‌های آب آبیاری شامل پساب و آب چاه، به ۵۰ میلی‌لیتر نمونه، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۵۶ درصد اضافه گردید و در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا محلول شفاف حاصل شود (۱۴). بعد از سرد شدن، نمونه‌های هضم شده با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف گردید. جهت هضم نمونه‌های خاک، به ۱ گرم از نمونه خاک پودر شده، ۱۵ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی^۱ (HCl:HNO₃, ۳:۱) اضافه گردید. سپس به مدت ۳ ساعت تحت حرارت ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا زمانی که دیگر بخارات قهوه‌ای از آن خارج نشد، در ادامه ۵ میلی‌لیتر اسیدپرکلریک^۲ اضافه و به مدت ۵ ساعت تحت حرارت ۶۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا زمانی که محلول تبخیر و تا مرحله نزدیک به خشک شدن پیش رفت و عصاره حاصل با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف و حجم نهایی با آب دیونیزه به ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. به ۱ گرم از نمونه گیاه پودر شده، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک^۳ ۵۶٪ اضافه و ۱۶ ساعت در دمای آزمایشگاه زیر هود قرار داده شد. سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا زمانی که محلول تبخیر و تا مرحله نزدیک به خشک شدن پیش رفت. پس از سرد شدن ۵ میلی‌لیتر اسیدپرکلریک غلیظ به آن اضافه و ۳ ساعت تحت حرارت ۶۰ درجه سانتیگراد قرار گرفت تا زمانی که محلول تبخیر و تا مرحله نزدیک به خشک شدن پیش رفت و عصاره حاصل با کاغذ واتمن شماره ۴۲ صاف و حجم نهایی با آب دیونیزه به ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد (۱۵). غلظت فلزات سنگین Cr, Ni, Cu, Mn, Al و در نمونه‌های هضم شده توسط دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی - Varian Spectra (AA240) سنجیده شد. دستگاه توسط محلول‌های

^۱ Aqua Regia

^۲ HClO₄

^۳ HNO₃

(جدول ۲). در شکل ۱ غلظت کروم در ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب با مقادیر شاهد مقایسه گردیده است.

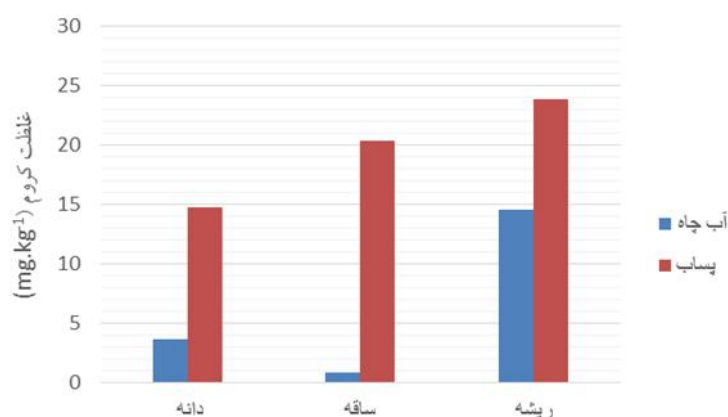
گزارش گردید که ۲۵/۴ برابر شاهد بود. غلظت کروم در دانه گندم آبیاری شده با پساب ۴/۰۵ برابر گندم شاهد و ۲/۹۶ برابر مقدار استاندارد بود

جدول ۱. غلظت فلزات در پساب و آب چاه در مقایسه با مقادیر استاندارد (قسمت در میلیون)

فلز	پساب	آب چاه	مقادیر استاندارد FAO
کروم	۰/۰۴۴ ± ۰/۰۹۹	۰/۰۱۲ ± ۰/۰۳۷	۰/۱
نیکل	۰/۰۱۲ ± ۰/۱۲۶	۰/۰۰۸ ± ۰/۰۱۱	۰/۲
کادمیوم	۰/۰۰۳ ± ۰/۰۰۷	۰/۰۰۱ ± ۰/۰۰۱	۰/۰۱
مس	۰/۰۵۴ ± ۰/۱۰۴	۰/۰۱۵ ± ۰/۰۹۸	۰/۲
منگنز	۰/۰۱۳ ± ۰/۰۵۵	۰/۰۰۸ ± ۰/۰۱۶	۰/۲
آلومینیوم	۰/۰۹ ± ۰/۵۴	۰/۰۱۲ ± ۰/۴۶	۵

جدول ۲. غلظت فلزات در خاک و گندم آبیاری شده با پساب و مقایسه با مقادیر شاهد و استاندارد (mg.kg^{-1})

نمونه	فلزات					مقایسه با شاهد	مقایسه با استاندارد
	کروم	نیکل	کادمیوم	مس	منگنز		
خاک	۵۵	۶۴/۱	۳/۴	۲۳۰/۲	۷۴۰	۲۸۰۲۹	
	%۲۱۶	%۱۹۸	%۳۴۰	%۵۶۷	%۱۰۳	%۱۵۲	
	%۳۷	%۹۲	%۲۲۶	%۲۳۰	%۹۲۵	-	
ریشه	۲۳/۸۵	۱۹	۱/۴۵	۲۳/۸۵	۷۶/۶۵	۱۱۷۴/۷۵	
	%۱۶۰	%۱۸۳	%۷۴	%۱۳۱	%۸۱	%۶۰	
ساقه	۲۰/۳۵	۱۲/۵	۰/۷۵	۲۰/۱	۳۸/۷	۳۲۷/۷۵	
	%۲۵۴	%۷۱۰	%۲۱۴	%۳۵۰	%۱۶۰	%۵۶۰	
دانه	۱۴/۸	۱۸/۶	۱	۳۴	۴۸/۷۵	۱۶۷/۲۵	
	%۴۰۵	%۵۳۹	%۳۳۰	%۴۴۱	%۸۷	%۱۹۴	
	%۲۹۶	%۱۸۶	%۲۸۵	%۱۷۰	%۱۶۲	%۱۱۵	



شکل ۱. غلظت کروم در گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه (mg.kg^{-1})

برابر میزان نیکل در آب چاه بود. در نمونه‌های خاک مورد بررسی در این صفت تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد مشاهده گردید. غلظت نیکل در خاک مزارع

بررسی میزان نیکل

اگرچه نیکل پساب و آب چاه، زیر حد استاندارد آن جهت آبیاری می‌باشند، غلظت نیکل پساب ۱۱/۴۵

گزارش گردید. غلظت نیکل در گندم آبیاری شده با پساب، $4/05$ برابر گندم شاهد و $2/96$ برابر استاندارد FAO بود. در شکل ۲ غلظت نیکل در ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب با مقادیر شاهد مقایسه گردیده است.

آبیاری شده با پساب $64/1$ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش گردید که $1/98$ برابر مزارع گندم شاهد و حدود $91/5$ درصد حد استاندارد بود. غلظت نیکل در ریشه گندم آبیاری شده با پساب 19 میلی‌گرم در کیلوگرم بود که $1/83$ برابر شاهد و در ساقه گندم آبیاری شده با پساب $12/5$ بود که $7/1$ برابر شاهد

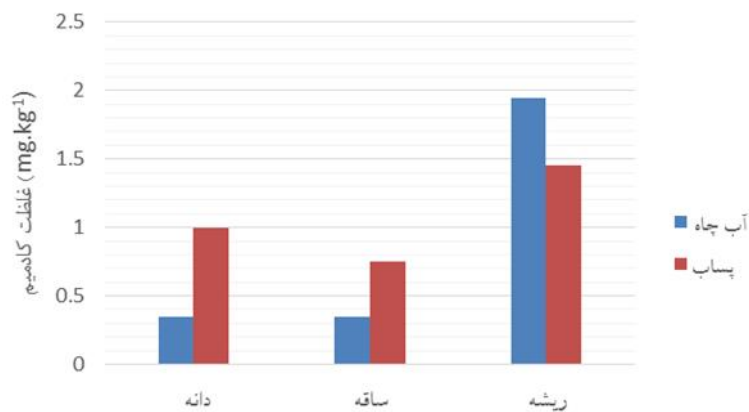


شکل ۲. غلظت نیکل در گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه (mg.kg⁻¹)

در ساقه و بذر گندم آبیاری شده با پساب به ترتیب $0/75$ و 1 میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش گردید که به ترتیب $2/14$ و $3/3$ برابر گیاهان شاهد و مقدار استاندارد بود. در شکل ۳ غلظت کادمیوم در ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب با مقادیر شاهد مقایسه گردیده است.

بررسی میزان کادمیوم

غلظت کادمیوم در خاک، ساقه و بذر گندم آبیاری شده با پساب تفاوت معنی‌داری (در سطح 0.1%) با نمونه‌های شاهد نشان داد. مقدار این عنصر در خاک مزارع آبیاری شده با پساب، $3/4$ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که $3/4$ برابر مزارع گندم شاهد (صفر) و $2/26$ برابر مقدار استاندارد بود. غلظت کادمیوم

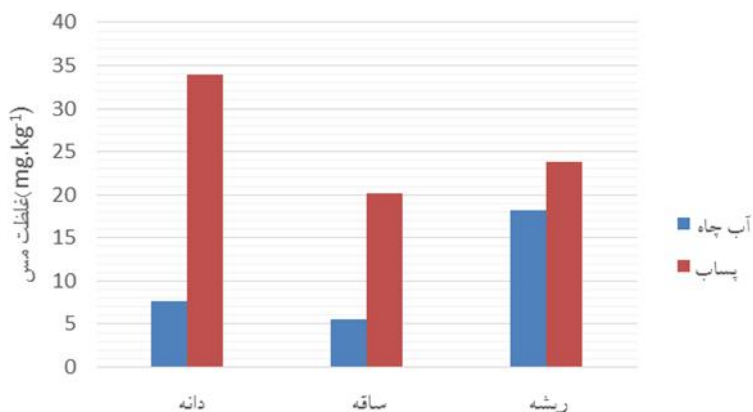


شکل ۳. غلظت کادمیوم در گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه (mg.kg⁻¹)

بررسی میزان مس

نتایج آنالیز واریانس نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد در مقدار مس در نمونه‌های خاک، ساقه و دانه گندم بود اما این صفت در ریشه معنی‌دار نگردید. غلظت مس در خاک مزارع گندم آبیاری شده با پساب ۲۳۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود که ۵/۶۷ برابر مزارع گندم شاهد و ۲/۳ برابر مقدار استاندارد بود. غلظت مس در ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب به ترتیب ۲۰/۱ و

۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم، گزارش گردید که به ترتیب ۳/۵ و ۴/۴۱ برابر نمونه‌های شاهد بود. همچنین مقدار مس در دانه گندم ۱/۷ برابر استاندارد گزارش گردید در حالی که مقدار این عنصر در گندم شاهد، زیر حد استاندارد بود. در شکل ۴ غلظت مس در ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب با مقادیر شاهد مقایسه گردیده است.

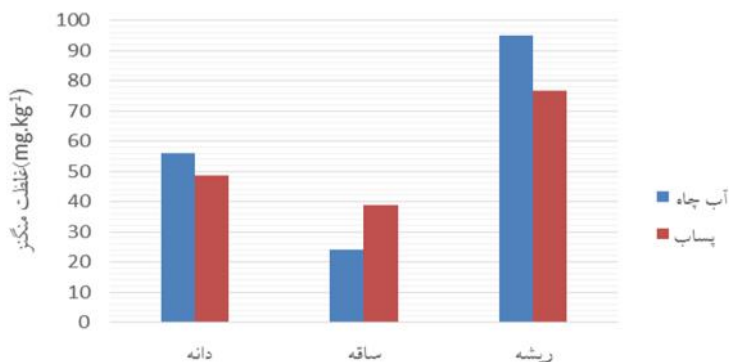


شکل ۴. غلظت مس در گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه (mg.kg⁻¹)

بررسی میزان منگنز

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری در مقدار منگنز، بین تیمارهای آزمایشی وجود ندارد. با این وجود غلظت منگنز در خاک مزارع گندم آبیاری شده با پساب ۷۴۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش گردید که بالاتر از مزارع شاهد بود. مقدار این عنصر در خاک آبیاری شده با پساب و آب چاه به ترتیب ۹/۲۵ و ۸/۹۷ برابر مقدار

استاندارد بود. غلظت منگنز در دانه گندم آبیاری شده با پساب، کمتر از نمونه‌های شاهد و ۱/۶۲ برابر حد استاندارد بود. با این وجود مقدار منگنز در دانه گندم آبیاری شده با آب چاه نیز، ۱/۸ برابر مقدار استاندارد بود. غلظت منگنز در ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه در شکل ۵ مقایسه گردیده است.

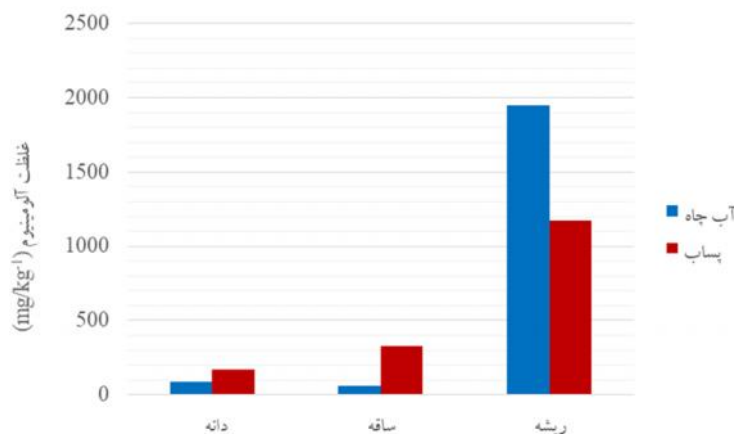


شکل ۵. غلظت منگنز در گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه (mg.kg⁻¹)

بررسی میزان آلومینیوم

نتایج حاصل از آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که از نظر مقدار آلومینیوم در نمونه‌های ساقه و دانه گندم بین تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری وجود دارد (در سطح ۰/۱). مقدار این عنصر در ساقه گندم آبیاری شده با پساب ۳۲۷/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم اندازه‌گیری شد که ۵/۶ برابر شاهد بود. غلظت

آلومینیوم در دانه گندم آبیاری شده با پساب، ۱/۹۴ برابر شاهد و ۱۱/۱۵ برابر مقدار استاندارد بود. همچنین مقدار آلومینیوم در گندم شاهد، ۵/۷۳ برابر مقدار استاندارد گزارش گردید. در شکل ۶ غلظت آلومینیوم در ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب با مقادیر شاهد مقایسه شده است.



شکل ۶: نمودار ستونی غلظت آلومینیوم در گندم آبیاری شده با پساب و آب چاه (mg.kg⁻¹)

در جدول ۲ غلظت فلزات در خاک، ریشه، ساقه و دانه گندم آبیاری شده با پساب در مقایسه با مقادیر شاهد و استاندارد بر حسب درصد آمده است.

بحث

تجمع عناصر سنگین در خاک طی آبیاری با پساب صنعتی به عوامل مختلفی از جمله غلظت عنصر، مدت آبیاری، بافت خاک، اسیدیته و درصد مواد آلی خاک، بستگی دارد (۱۷-۱۵). آگاروال^۱ و همکاران (۱۸) بیان کرده‌اند که میزان جذب هر فلز سنگین از خاک به وسیله گیاه، تابع نوع خاک و ویژگی‌های آن، نوع فلز سنگین و نوع گیاه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که استفاده از پساب و تغییرات ایجاد شده در ویژگی‌های خاک تا حدودی بر جذب عناصر سنگین توسط گیاه مؤثر است، به طوری که در شرایط یکسان، جذب برخی فلزات افزایش و برخی کاهش می‌یابد.

همان‌گونه که در بخش نتایج مشخص است، استفاده از پساب در آبیاری گندم، سبب افزایش معنی‌دار مقدار نیکل، کادمیوم، مس و کروم در دانه (بخش مصرفی گیاه) شده است. نتایج مطالعه‌ای که به بررسی اثر آبیاری با پساب بر جذب فلزات سنگین سبزی‌های برگ‌ریز در اراضی جنوب تهران، پرداخته است، نشان داد که مقدار کروم و کادمیوم تجمع یافته در گیاهان تحت آزمایش، برای انسان بیش از مقدار مجاز بود (۸). در مطالعه‌ای دیگر که در کشور چین صورت گرفت، مشخص شد که استفاده از پساب صنعتی در آبیاری محصولات کشاورزی سبب بالا رفتن مقدار مس، کادمیوم و نیکل در گیاه و خاک زراعی می‌شود (۱۰) که با نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر، مطابقت دارند. در تحقیق حاضر غلظت منگنز در ریشه و دانه گندم آبیاری شده با پساب کمتر از گندم آبیاری شده با آب چاه بود، هر چند به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های گیاهی

¹ Agarwal

تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاه گندم با دو روش آبیاری به این نتیجه رسیدند که پساب در هر دو روش آبیاری باعث افزایش تجمع فلزات سنگین (آهن، منگنز، نیکل و کادمیوم) شده است. تجمع نیکل، کادمیوم، مس و کروم در ریشه بیشتر از اندام هوایی بود. همچنین، تجمع فلزات سنگین در گیاه گندم در سیستم آبیاری غرقابی بیشتر از سیستم آبیاری قطره‌ای گزارش شده است (۲۴). افزایش معنی‌دار غلظت دو عنصر سرب و نیکل در خاک آبیاری شده با پساب در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب زیرزمینی قبلاً گزارش شده است (۲۵). پژوهشگران نشان دادند که افزایش غلظت عناصر سنگین در خاک و گیاه به طور معنی‌داری در تیمارهای آبیاری شده به وسیله پساب صنعتی بیشتر از تیمار شاهد بود (۲۶). تحقیقات رحیمی و همکاران (۲۷)، پارسافر و همکاران (۲۸)، طبری و همکاران (۲۹) و مرادمند و همکاران (۳۰) نیز نتایج به دست آمده در این پژوهش را تایید می‌کنند.

در سایر مزارع اطراف شهرک صنعتی البرز که با پساب آبیاری می‌شوند، گیاهانی چون چغندر، جو، ذرت علوفه‌ای، کلزا، آفتابگردان و غیره کشت می‌شوند که لزوم پایش در مورد این گیاهان نیز وجود دارد، زیرا گونه‌های مختلف گیاهی در برابر آلودگی آب و خاک با فلزات سنگین، واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. برخی از گونه‌های گیاهی به مقدار معینی از فلزات سنگین در خاک مقاوم بوده، توانایی جذب و تثبیت آنها در بافت‌های درونی خود را دارند. گاه در برخی از گیاهان آثار مسمومیت چندان بارز نیست، ولی ممکن است میزان محتوای فلزی موجود در گیاه، سلامت انسان و یا دام‌هایی را که از آن تغذیه می‌کنند به خطر اندازد.

مشاهده نگردید. از آنجا که مقدار بحرانی توصیه شده برای منگنز قابل دسترس در خاک‌ها حدود ۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است، بنابراین تمامی تیمارها، حتی خاک بکر دارای منگنز بیش از حد توصیه شده است. عابدی و همکاران گزارش کردند که استفاده از پساب صنعتی تصفیه شده اثر معنی‌داری بر منگنز قابل دسترس خاک در مقایسه با تیمار شاهد نداشت (۱۹). همانگونه که در بخش یافته‌ها آمد، کاهش جذب منگنز، آلومینیوم و کادمیوم در ریشه گندم در شرایط آبیاری با پساب، رخ داده است. این کاهش ممکن است به دلیل فراوانی یون سدیم در پساب و افزایش درصد سدیم تبادل‌ی خاک باشد. ذکر این نکته ضروری است که جذب فلزات سنگین از طریق محصولات غذایی، بستگی به خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و نوع گونه‌های گیاهی دارد (۲۰). در مطالعه ژائو^۱ و همکاران (۲۱) الگوهای مکانی غلظت فلزات سنگین و اسیدپته خاک نشان داد، مناطقی که بالاترین خطر را برای سلامت انسان دارند فقط مناطقی با غلظت بالای فلزات نیستند بلکه مناطقی با اسیدپته پایین خاک هستند. در مطالعه رومرو^۲ و همکاران (۲۲) یک همبستگی مثبت بین اسیدپته و فلزات کادمیوم، مس، سرب و روی دیده شد و از آنجا که فلزات در اسیدپته پایین تحرک بیشتری دارند برای اصلاح خاک بایستی اسیدپته آن را افزایش داد. از سوی دیگر نوع اندام قابل مصرف محصولات کشاورزی نیز در میزان جذب عناصر سنگین موثرند، به طوری که ارزیابی غلظت فلزات سنگین از جمله مس و منگنز در سبزی‌های آبیاری شده با پساب، نشان داد که بیشترین تجمع مقدار منگنز در سبزی‌های برگ‌مانند نعناع و اسفناج و بیشترین غلظت مس در سبزی‌های ریشه‌ای هویج و لبو رخ داد، هر چند مقادیر این عناصر زیر حد استاندارد بود (۲۳). محققان با بررسی اثر پساب بر

¹ Zhao² Romero

نتیجه‌گیری

می‌شود. شایان ذکر است که نتایج این تحقیق به یک فصل رشد مربوط بوده و شاید با ادامه کاربرد پساب صنعتی و تکرار فصول کاشت، غلظت عناصر سنگین بررسی شده در خاک و گیاه افزایش یابد.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که کاربرد پساب صنعتی باعث افزایش معنی‌دار غلظت برخی عناصر سنگین در اندام‌های مختلف گندم

References

- 1- Chaney R L. Scientific analysis of proposed sludge rule. *Bio cycle*. 1998; 30: 80-85.
- 2- Singh B R, Steinnes E. Soil and water contamination by heavy metals. PP. 233-271. In: La1, R. and Stewarts, B. A. (Eds.), *Soil Processes*, CRC Press, USA. 1994; 347-361.
- 3- Mirzashahi K, Bazargan K, Bagori A. *Sewage and its application in agriculture*. 1th ed. Soil and Water research institute. 2015: 250 p.
- 4- Tucker R. Heavy metals in North Carolina soils, occurrence and significance. N.C. Department of Agriculture and Consumer Services, Agronomic division, Raleigh. Available from: www.ncagr.com/agronomi/
- 5- Erfanmanesh M. Effect of sewage sludge on some soil characteristics and the absorption and density of heavy metals by spinach and tomato. Msc.: Saanati Isfahan University; 2000; 110 p.
- 6- Sayadmanesh SM, GhajarSepanloo M, Bahmanyar MA. Investigating the amount of some heavy elements in soil and rapeseed plants in fields under irrigation with Amol's industrial wastewater. *Journal of water research in agriculture*. 2015; 29 (2): 141-155.
- 7- Shirinfekr A. Changes in concentration of heavy metals in rice according to the distance from sources of contamination. 7th Iranian Soil Science Congress Shahrekord University. 2001 September: 4-7.
- 8- Torabian A, Mahjoori M. Investigation of the effect of irrigation with sewage on heavy metal adsorption by southern Tehran vegetables. *Soil and water sciences*. 2002; 16(2): 188-197.
- 9- Bahmanyar MA. Effect of sewage consumption on crops irrigation on the amount of some heavy elements of soil and plants. *Journal of environmental studies*. 2006; 44: 19-26.
- 10- Massaquoi LD, Ma H, Hui Liu X, Han P, Zuo Sh, Hua Z, Liu D. Heavy metal accumulation in soils, plants, and hair samples: an assessment of heavy metal exposure risks from the consumption of vegetables grown on soils previously irrigated with wastewater. *Environment Science Pollut Research*. 2015; 10: 102-121.
- 11- Khan S. Soil and vegetables enrichment with heavy metals from geological sources in Gilgit. *Northern Pakistan Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2010; 73: 1820-1827.
- 12- Singh H. Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India. *Food and Chemical Toxicology*. 2010; 48:611-619.
- 13- Wu YG. Evaluation of ecological risk and primary empirical research on heavy metals in polluted soil over Xiao quisling goldmine in region, Shaanxi, China. *Trans. Nonferrous Met*. 2010; 570-576.
- 14- Døelsch E, Deroche B, Van de Kerchove V. Impact of sewage sludge spreading on heavy metal speciation in tropical soils (Réunion, Indian Ocean), *Chemosphere*. 2006; 652: 286-293.
- 15- American Public Health Association. *Standard methods for the examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association Washington D.C; 2005 :112-117.
- 16- Juan M, Rivero M, Romero L, Ruiz JM. Evaluation of some nutritional and biochemical indicators in selecting salt-resistant tomato cultivates. *Environment Expert Botany*. 2005; 54: 193-201.
- 17- Shuval HI, Din AA, Fattal B, Rawitz E, Yekutieli P. Wastewater irrigation in developing countries health effects and technical solutions. The World Bank, Washington, D. C; 1986; 73-76.
- 18- Agarwal SK. *Pollution Management: Water Pollution*. 1th ed. A.P.H. Publication, New Delhi; 2002; 254-267.
- 19- Abedi-Koupai J, Mostafazadeh-Fard B, Afyuni M, Bagheri M. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant Soil and Environment*. 2006; 52: 335-344.

- 20- Zhuang P, Murray B, Hanping X, Ningyu L, Zhian L. Health risk from heavy metals via consumption of food crops in the vicinity of Dabaoshan mine, South China. *Science of the Total Environment*. 2009; 407: 1551-1561.
- 21- Zhao H, Xia B, Fan C, Zhao P, Shen S. Human health risk from soil heavy metal contamination under different land uses near Dabaoshan Mine, Southern China. *Science of the Total Environment*. 2012; 417-418: 45-54.
- 22- Romero A, González I, Galán E. Trace elements absorption by citrus in a heavily polluted mining site. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012; 113: 76-85.
- 23- Arora M, Kiran B, Rani S, Mittal N. Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*. 2008; 111: 811-15
- 24- Mojiri A, Hamidi AA. Effects of municipal wastewater on accumulation of heavy metals in soil and wheat (*Triticum aestivum L.*) with two irrigation method. *Romanian Agricultural Research*. 2011; 28: 217-222.
- 25- Abedi-Koupai J, Mostafazadeh-Fard B, Afyuni M, Bagheri M R. Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant, Soil and Environment*. 2006; 52(8): 335-344.
- 26- Behbahaninia A, Mirbagheri SA, Khorasani N, Nouri J, Javid AH. Heavy metal contamination of municipal effluent in soil and plants. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2009; 7(3): 851-856.
- 27- Rahimi G, Amraei L, Kimiaeitalab A. Effects of urban wastewater and compost on some characteristics of soil and its leachate under greenhouse cultivation of basil. *Ejgcst*. 2016; 7 (3):15-39.
- 28- Parsafar N, Maroufi S. Effect of sewage application on heavy aggregate accumulation under soil profile under greenhouse-lysimetric conditions. *Water research in agriculture*. 2013; 2:229-239.
- 29- Torabian A, Mahjoori M. Investigation of the effect of irrigation with sewage on heavy metal adsorption by southern Tehran vegetables. *Soil and water sciences*. 2002; 16(2): 188-197.
- 30- Moradmamand M, Beigi H. Effect of irrigation with urban wastewater on the distribution of lead and till in green pepper and soil. *Iranian water research journal*. 2002; 3(5): 63-70.