علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره سه، خرداد ماه ۱۴۰۰

بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در گندم

(مطالعه موردی:مزارع شهر ری)

نرگس روزبه[۱]
شهرزاد خرم نژادیان[۲*]
Khoramnejad@damavandiau.ac.ir
سعید رضا عاصمی زواره[۲]
کیوان صائب[۳]

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۲/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۲**

چکیده

زمینه و هدف: با کاهش منابع آب، استفاده از آبهای بازیابی شده افزایش یافته است که برخی از آنها تصفیه درستی نداشته انـد.\ افـزایش جمعیت و کاهش منابع آب، سبب افزایش استفاده از آبهای نامتعارفی شده است که در بخشهای مختلف تولید میگردند. پژوهش حاضـر در راستای تأثیر آبیاری با فاضلاب‌های شهری بر غلظت دو فلز نیکل و کادمیوم در خاک و اثرات آنها بـر ریشـه، انـدام هـوایی، بـذر و برخـی خصوصیات عملکردی گندم مانند: وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن هزار دانه، تعداد سنبله و تعداد بـذر در سـنبله، صـورت گرفته است.

روش بررسی: نمونه‌برداری از خاک به صورت تصادفی در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر و نمونه بـرداری گنـدم در زمـان برداشـت دقیقـاً در محل نمونه برداری خاک، در مساحت یک متر مربعی با ابعاد1×1 m ، با ۲۰ نمونه برای هر فلز صورت پذیرفته است.

یافته ها: میانگین غلظت کادمیوم و نیکل در بین نمونه‌های خاک، به ترتیب ۶ /۱۰ و ۴۹/۴۳ (mg/Kg) بوده که منجر به تجمع آنهـا در اندام‌های مختلف گندم شده است. افزایش میزان غلظت کادمیوم و نیکل در خاک موجب افزایش تجمع آنها در ریشه، اندام هـوایی و دانـه گیاه گندم می‌شود. افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک موجب کاهش وزن خشک ریشه، اندام هوایی و وزن هـزار دانـه مـی‌گـردد. در عین حال تأثیری معنی‌داری بر دو صفت، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع نداشتند.تأثیر غلظت فلز کادمیوم بر میزان تجمع آن در اندام‌های مختلف گندم و خصوصیات رویشی و عملکردی بیشتر از فلز نیکل برآورد گردید.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران.
۲- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران. *(مسوول مکاتبات)
۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، دماوند، ایران.

بحث و نتیجه گیری: افزایش یک میلیگرم غلظت کادمیوم در خاک به ترتیب منجر به افـزایش۰/۶، ۰/۵۶، ۰/۰۸۱ میلیگـرم کـادمیوم در ریشه، اندام هوایی و دانه گندم می شود. در مورد نیکل نیز افزایش ۱ میلیگرم غلظت در خاک به ترتیـب منجـر بـه افـزایش ۰/۲۹، ۰/۲۹، ۰/۱۱ میلیگرم نیکل در ریشه، اندام هوایی و دانه گندم می شود.

واژه‌های کلیدی: پساب‌های شهری، فلزات سنگین، کادمیوم، نیکل، گندم.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 3, June, 2021

Effect of Municipal Waste Water Irrigation on Heavy Metal Accumulation in Wheat (Case Study: Shahre Rey Fields)

Narges Roozbeh [1]
Shahrzad Khoramnejadian [2*]
Khoramnejad@damavandiau.ac.ir
Saeid Reza Asemi Zavareh [2]
Keivan Saeb[2]

Admission Date:July 24, 2019 Date Received: March 14, 2019

Abstract

Background and Objective: Declining water resources caused usage of recycled water that sometimes not purified well. The growing population and consequently increasing water demand, along with a shortage of available freshwater resources have inevitably led to the use of unconventional water resources. Irrigation lands with urban wastewater requires quality and quantity control for achieving food security. Therefore, the present study was conducted to investigate the effects of irrigation with urban wastewater on the concentration of Nickel and Cadmium in soils and their effects on plant, root, shoot, and functional characteristics of wheat.

Method: Field sampling was carried out at random from a depth of 0 to 20 cm. Wheat samples were taken at harvest from a 1-meter by 1-meter area. A total of 20 samples for Cadmium metal and 20 samples of Nickel metal were taken.

Findings: The results showed that the average concentration of Cadmium and Nickel was 10.6 and 49.43 kg, respectively, which resulted in an accumulation in various parts of the wheat plant. Increasing the concentration of Cadmium and Nickel in the soil increases the accumulation in the root, upper parts, and wheat seeds. Also, increasing the concentration of Cadmium and Nickel in the soil decreases the dry weight of the root, the shoot, and the weight of the thousand seed. However, there was no significant effect on two traits, number of grains per spike and number of spikes per square meter. The effect of Cadmium concentration was higher than that of Nickel.

Discussion and Conclusion: Increasing 1 mg of soil Cadmium caused increasing, 0.81, 0.56, 0.6 mg Cadmium in root, upper parts and seed. For Nickel increasing the soil concentrations caused 0.29, 0.29, 0.11 mg in root, upper parts and seed.

Keywords: Urban Waste, Heavy Metals, Cadmium, Nickel, Wheat.

1- M.Sc.,Student of Environmental Pollution, Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran .
2- Assistant Professor, Department of Environment, Damavand Branch, Islamic Azad University, Damavand, Iran. ***(***Corresponding Author***)***
3- Assosiate Profesor Department of Environment, Tonekabon branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran.

مقدمه

روند رو به رشد جمعیت و به‌تبع آن افزایش تقاضای آب از یکسو و کمبود منابع آب شیرین قابل دسترس از سوی دیگر، استفاده از منابع آب نامتعارف را اجتناب‌ناپذیر نموده است. از جمله این منابع می‌توان آبهای شور، لب‌شور و پساب‌های تولیدی در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی و شهری را نام برد. (۱). مصرف این منابع در بخش‌هایی که کیفیت آب پایین‌تری دارند، می‌تواند راهکار مناسبی برای مقابله با معضل بحران آب محسوب شود. (۲). استفاده مجدد از فاضلاب در بخش کشاورزی به عنوان یک منبع عظیم و با ارزش در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت شدید منابع آبی مواجه می‌باشند، از اهمیت بیشتری برخوردار است. کشور ایران با داشتن میانگین بارش سالانه کمتر از ۲۵۰ میلیمتر (حدود ۳۳ درصد کمتر از میانگین جهانی) در زمره چنین مناطقی قرار دارد. (۳). علی‌رغم اهمیت استفاده از منابع آب نامتعارف در بخش کشاورزی با هدف مقابله با بحران آب، نظر به رشد روزافزون جمعیت و افزایش نیاز به تولید محصول بیشتر، نیل به امنیت غذایی مستلزم توجه به تأثیر چنین منابعی بر کمیت و کیفیت محصولات تولیدی می‌باشد. استفاده پایدار از فاضلاب در بخش کشاورزی نیازمند اعمال مدیریت صحیح مصرف و پایش کیفی و میکروبی اراضی آبیاری شده با فاضلاب می‌باشد. استعمال بدون مدیریت این منابع می‌تواند باعث تجمع بیش از حد فلزات سنگین و آلاینده‌های میکروبی در خاک و گیاه شود. (۴). ورود مستقیم گیاهان آلوده به زنجیره غذایی و مصرف آن برای انسان از نظر غلظت فلزات سنگین، محدود کننده و خطرناک است. (۵). به همین منظور، در سالهای اخیر پژوهش‌های بسیاری با هدف تأثیر منابع آبی نامتعارف چون پساب تصفیه شده بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی، به‌ویژه روی گیاهانی همچون گندم که رتبه اول در مصرف سرانه مردم جهان را به خود اختصاص داده، صورت گرفته است. Shen و همکاران طی تحقیقی به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان جذب این عنصر توسط گیاه ذرت افزایش می‌یابد. همچنین تعیین کردند که میزان تجمع کادمیوم در ریشه و اندام هوایی متفاوت بوده، به این ترتیب که با افزایش غلظت کادمیوم در خاک میزان تجمع آن در ریشه به مراتب خیلی بیشتر از اندام هوایی گیاه ذرت می‌باشد. (۶). Nan و همکاران در پژوهشی نشان دادند که غلظت کادمیوم و روی در دانه و ساقه‌ی گندم و ذرت تا حدود زیادی تابعی از غلظت روی و کادمیوم کل خاک است. و غلظت کادمیوم در دانه گندم بیشتر از مقادیر استاندارد است. (۷).

Lioو همکاران با بررسی مقدار جذب عناصر کروم، کادمیوم و سرب توسط گیاهانی مانند کلم، جو، اسفناج دریافتند که فاکتور انتقال عناصر مختلف از خاک به گیاهان متفاوت است. کادمیوم در بین عناصر مورد بررسی بالاترین فاکتور انتقال را نشان داد. مقدار شاخص انتقال برای کروم و سرب تقریبا مساوی بود. (۸). وانگ و همکاران طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که شاخص انتقال سرب از خاک به گیاهان ۱۰ برابر کمتر از کادمیوم بوده و کادمیوم به علت قابلیت تحرک بیشتر شاخص انتقال بیشتری نسبت به سرب دارد. (۹).

Chenو همکاران در بررسی میزان تجمع فلزات سنگین روی سه گیاه آفتابگردان، پنبه و ذرت در خاک‌هایی که ۵۰ سال با پساب آبیاری شده بودند؛ به این نتیجه رسیدند که فقط در دانه‌های آفتابگردان شاخص خطر، عددی بزرگتر از یک بود. (۱۰). Khurana و Aulakh طی پژوهشی دریافتند که مقدار کادمیوم تجمع یافته در ذرت و کلزای آبیاری شده با پساب ۳/۵-۲ برابر بیشتر از گیاهان شاهد بود. (۱۱). صیادمنش و همکاران (۱۳۹۴) (۱۲)، طی بررسی اثر کاربرد پساب صنعتی بر میزان تجمع عناصر سنگین در خاک و کلزا در شهرک صنعتی آمل به این نتیجه رسیدند که تجمع عناصر کروم، کادمیوم، نیکل و سرب در اندامهای کلزا تحت اثر پساب افزایش یافته و میزان تجمع کروم و نیکل در برگ کلزا از حد مجاز بیشتر است (۱۲). در تحقیقی بر روی مقدار تجمع فلزات سنگین در گیاهان علوفه‌های تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران نشان دادند که مقدار تجمع فلزات سنگین (روی، منگنز، آهن، کادمیم، نیکل، سرب و کروم) در بوته ذرت آبیاری شده با فاضلاب ۱/۵ برابر بوته‌ی ذرت آبیاری شده با آب چاه

است. "ملاحسینی (۱۳۸۱) (۱۳)، طی تحقیقی به این نتیجه رسیدند که استفاده از فاضلاب در اراضی کشاورزی باعث افزایش غلظت فلزات سنگین سرب، مس، کادمیوم و روی شد که میزان آن تا چندین برابر خاک مزارع شاهد بود". "شیرین فکر و همکاران (۱۳۸۰) (۱۴)، در تحقیقی نشان دادند که آبیاری مزارع برنج با پساب شهری و صنعتی تا حدود زیادی باعث تجمع میزان عناصر سنگین به ویژه کادمیوم و نیکل در اندام‌های هوایی گیاهان می‌شود." . ناحیه فیروز آباد در نزدیکی تهران واقع شده است و حجم قابل توجهی از محصولات کشاورزی از این منطقه به کلان شهر انتقال می یابد از این رو بررسی سلامت محصولات کشاورزی این ناحیه ضروری است. ببسیاری از زمینهای زراعی این منطقه با فاضلاب و پساب آبیاری میگردند که از نظر بهداشتی کیفیت مناسبی ندارند با توجه به اهداف این پژوهش در راستای کاهش اثرات سوء ناشی از تجمع سموم در سلامتی انسان به دنبال استفاده از آب‌های آلوده و افزایش رشد و سلامت گیاه گندم با آبیاری مطلوب و سالم اهمیت و ضرورت انجام این تحقیق بیش از پیش آشکار می‌گردد. هدف کلی این پژوهش بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین در گندم میباشد.

مواد و روش ها

در پژوهش حاضر که در سالهای ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ صورت گرفته است، گندم‌زارهای فیروزآباد استان تهران واقع در جنوب شهر ری، جهت ارزیابی وضعیت تجمع دو فلز سنگین نیکل و کادمیوم مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این امر که ممکن است پسابهای حاوی ترکیبات پایه نفتی بوده و یا از حشره کشها و سموم استفاده شده باشد از نیکل و کادمیم نمونه برداری به عمل آمد.این گندم‌زارها یکی از منابع مهم تأمین گندم استان بوده که آبیاری حدود ۳هزار متر مکعب در هکتار میباشد. با توجه به شواهد حدود ۴۰٪ از آبیاری مزارع مورد بررسی با استفاده از پساب بوده است

نمونه‌برداری از خاک و گندم آلوده برای ارزیابی دو فلز سنگین کادمیوم و نیکل به ترتیب از دو موقعیت متفاوت؛ رودخانه پساب صنعتی جاجرود در طول گرادیان شمال غرب به جنوب شرق و جنوب تصفیه خانه فاضلاب تهران در طول گرادیان شمال به جنوب صورت گرفت. بدین ترتیب که نمونه‌برداری از خاک منطقه با استفاده از اوگر به صورت تصادفی و در چند گندم‌زار که از نظر شدت آبیاری با فاضلاب متفاوت بودند در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر و نمونه برداری محصول گندم در زمان برداشت دقیقاً در محل نمونه برداری خاک، با استفاده از رولوه‌های یک متر مربعی با ابعاد ۱×۱ متر، بخشی از محصول به طور کامل به همراه خارج ساختن ریشه، انجام گرفت (۲) جهت اندازه گیری غلظت فلزات سنگین در ریشه و اندام هوایی گندم، ابتدا این دو اندام با استفاده از اسکالپل جدا شده و به صورت جداگانه برچسب خوردند. سپس به مدت ۲۴ ساعت گیاهان در هوای آزاد خشک شده تا رطوبت اولیه آن ها کاهش یابد. پس از خشک کردن، نمونه ها با استفاده از آسیاب به صورت پودر خرد شده و در ظروف مجزا در دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا رطوبت نمونه ها به طور کامل گرفته شود. با استفاده از دستگاه ICP غلظت هر دو فلز در نمونه ها مورد اندازه گیری قرار گرفت (۳) نمو نه برداری در پایان بهار و هنگام برداشت محصول صورت گرفته است.

مجموع نمونه های گرفته شده در این پژوهش ۲۰ نمونه برای فلز کادمیوم و ۲۰ نمونه برای فلز نیکل بوده و تأثیر غلظت فلزات سنگین فوق بر ریشه، اندام هوایی، بذر و خصوصیات عملکردی از جمله وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی، وزن هزار دانه، تعداد سنبله و تعداد بذر در سنبله اندازه گیری شد. از آنجا که ماهیت این پژوهش یک پژوهش بصورت تصادفی در محل بوده و در نتیجه تمامی نمونه ها دارای غلظت‌های متفاوت فلزات سنگین بودند، لذا از روش های آماری رگرسیون (رگرسیون خطی و در صورت نیاز غیر خطی) استفاده شد. تمامی داده های بدست آمده ابتدا وارد نرم افزار Excel شده و پس از تعیین صحت اندازه گیری‌ها؛ داده‌ها

جهت تجزیه تحلیل آماری به نرم افزار SAS ۹,۴ منتقل گردید.

نتایج

میانگین غلظت کادمیوم در بین نمونه ها در حدود ۱۰/۶ میلیگرم بر کیلوگرم اندازه گیری شده است که منجر به تجمع ۸/۶۸ میلیگرم بر کیلوگرم کادمیوم در ریشه، ۵/۲۷ میلیگرم بر کیلوگرم در اندام هوایی و ۱/۰۴ میلیگرم بر کیلوگرم در دانه گندم شده است. میانگین غلظت کادمیوم و نیکل در بین نمونه‌های خاک، به ترتیب ۱۰/۶ و ۴۹/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که مقایسه آمار فوق با استانداردهای جهانی چون حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA[1]) ، استاندارد خاک کشاورزی اتحادیه اروپا (Eu[2]) و سازمان بهداشت جهانی[3](WHO) نشان داد، غلظت فلزات فوق بیشتر از استانداردهای جهانی بوده که حاکی از آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه با فلزات سنگین است. (جدول ۱). این میزان غلظت فلزات سنگین در خاک منجر به تجمع آنها در اندام‌های مختلف گیاه گندم شده است.

میزان تجمع نیکل در ریشه گندم ۱۱/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، اندام هوایی ۷/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ۴/۰۷ میلی‌گرم در دانه برآورد گردید. میزان تجمع کادمیوم و نیکل در ریشه و اندام هوایی متفاوت بوده، به این ترتیب که با افزایش غلظت آنها در خاک میزان تجمع در ریشه به مراتب بیشتر از اندام هوایی گیاه گندم می‌باشد. همچنین توانایی گیاه گندم در جذب فلز کادمیوم بیشتر از فلز نیکل بوده و مقادیر کمتری نیکل را نسبت به غلظت آن در خاک می‌تواند جذب کند. (جدول ۲).

رابطه بین غلظت کادمیوم و نیکل در خاک و میزان تجمع آنها در اندام‌های مختلف گیاه گندم

نتایج تحقیق نشان داد که غلظت فلزات نیکل و کادمیوم با میزان تجمع آنها در اندام‌های مورد مطالعه گیاه گندم چون ریشه، اندام هوایی و دانه همبستگی معنی‌داری دارد، بدین صورت که با افزایش میزان غلظت فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در خاک میزان تجمع آنها در اندام‌های ریشه، اندام هوایی و دانه گیاه گندم افزایش می‌یابد. اگرچه میزان غلظت فلز نیکل در خاک بیشتر از فلز کادمیوم است، ولی همبستگی فوق در فلز کادمیوم بیشتر از فلز نیکل بوده که نشان دهنده توانایی بالای گیاه گندم در جذب فلز کادمیوم است. (جدول ۳). ضریب انتقال کادمیم از خاک به ریشه ۱/۴۸، از ریشه به ساقه (اندام هوایی) ۰/۵۷ و از ساقه به دانه ۰/۴۵بود. ضریب انتقال نیکل از خاک به ریشه ۱/۵۴، از ریشه به ساقه(اندام هوایی) ۰/۱۷ و از ساقه به دانه ۰/۴بود. میتوان گفت بیشترین میزان انتقال از خاک به ریشه میباشد و ضریب انتقال به اندامهای بالاتر نشانگر تجمع بیشتر این فلزات در ریشه است.

رابطه بین غلظت کادمیوم و نیکل در خاک و میزان تجمع آنها در ریشه گیاه گندم

نتایج تحلیل رگرسیونی تأثیر غلظت نیکل در خاک بر غلظت این فلز در ریشه حاکی از آن است که این فلز به طور معنی داری توسط ریشه گندم جذب می شود. نتایج تحلیل رگرسیونی نشان داد که غلظت کادمیوم و نیکل در خاک بر غلظت این فلزات در ریشه تأثیر معنی‌داری داشته است. با افزایش غلظت فلزات در خاک، غلظت آنها در ریشه به طور خطی افزایش می‌یابد. (شکل ۱ و ۲). بطوریکه به ازای یک میلی‌گرم افزایش غلظت در خاک، غلظت کادمیوم در ریشه ۰/۶۰ میلی‌گرم و غلظت نیکل ۰/۲۹ میلی‌گرم افزایش می‌یابد.

1- USEPA: United States Environmental Protection Agency.
2- Eu: European Standards.
3- WHO: World Health Organization.

جدول ۱- میزان غلظت کادمیوم و نیکل در خاک و مقایسه با استانداردهای جهانی

Table 1.Cadmium & nickel concentration in soil and compare them with international standard

پارامتر	میانگین غلظت در خاک	USEPA	Eu	WHO
فلز سنگین کادمیوم	۱۰/۶	۰/۰۶	۳	۰/۳۵
فلز سنگین نیکل	۴۹/۴۳	۴۰	۷۵	-

جدول ۲- میزان غلظت کادمیوم و نیکل در خاک و میزان تجمع آنها در اندام‌های مختلف گیاه گندم

Tbable 2. Amount of nickel and cadmium in soil and their concentration in different part of wheat

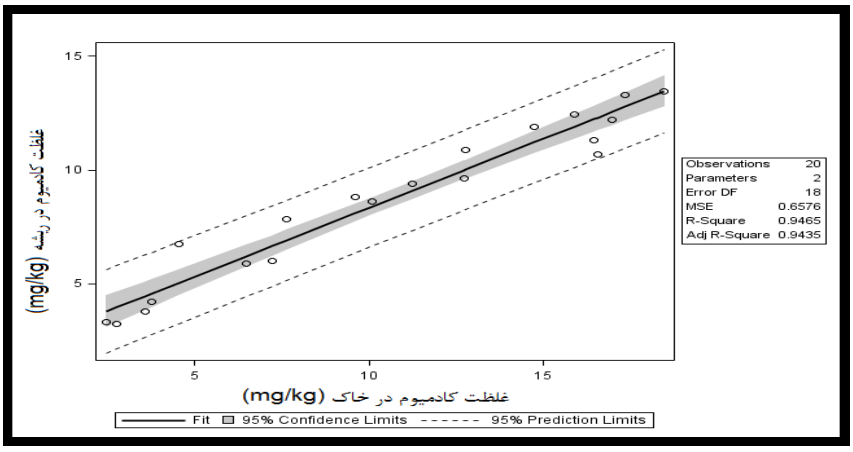
متغیر	مقدار (mg/kg)	متغیر	مقدار (mg/kg)
غلظت کادمیوم در خاک	۴/۵۶۰	غلظت نیکل در خاک	۴۳/۴۹
غلظت کادمیوم در ریشه	۶/۷۵	غلظت نیکل در ریشه	۶۷/۱۱
غلظت کادمیوم در اندام هوایی	۳/۸۵	غلظت نیکل در اندام هوایی	۱۱/۷
غلظت کادمیوم در دانه	۱/۷۵	غلظت نیکل در دانه	۴/۷۶

جدول ۳- همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی تحت تأثیر کادمیوم و نیکل

Table 3 . The correlation between the variables that affected by cadmium & nickel

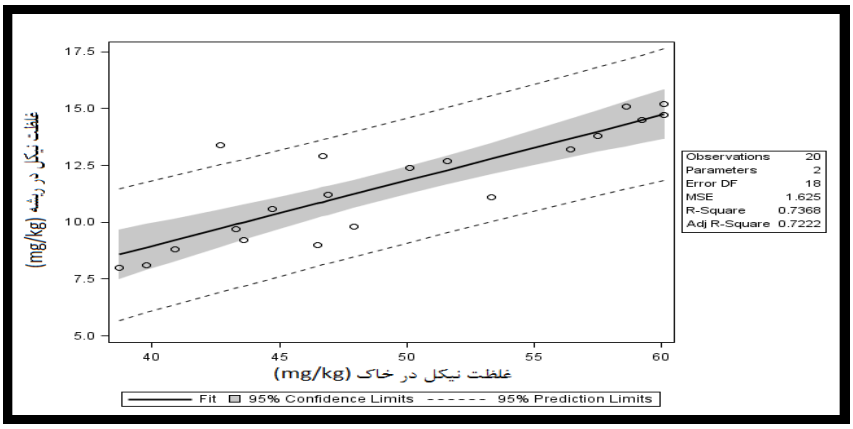
متغیر	غلظت در ریشه	غلظت در اندام هوایی	غلظت در دانه
کادمیوم	۰/۹۷۲۸۶***	۰/۹۶۱۱۳***	۰/۸۰۰۷۴***
نیکل	۰/۸۵۸۳۹***	۰/۸۳۵۶۱***	۰/۵۴۶۹۹***

(***،**،*: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱)



شکل۱- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت کادمیوم در خاک و غلظت آن در ریشه گندم

Figure 1. Regression relationship of Cd between soil and wheat roots.

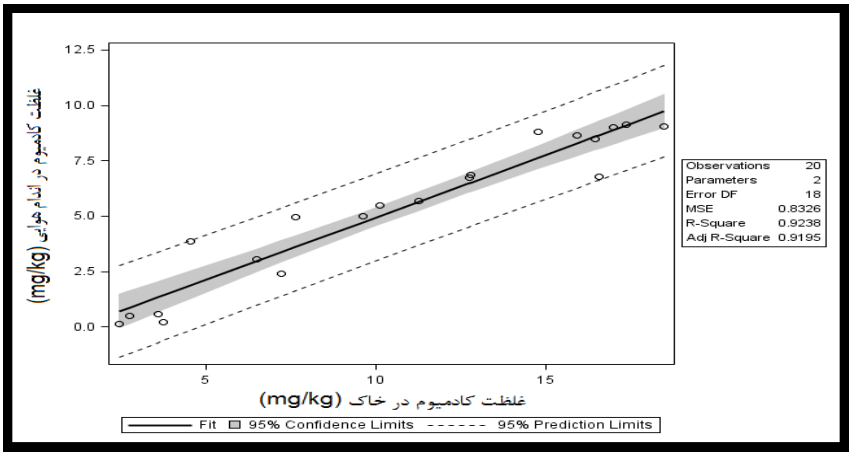


شکل۲- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت نیکل در خاک و غلظت آن در ریشه گندم

Figure 2. Regression relationship of Ni between soil and wheat roots.

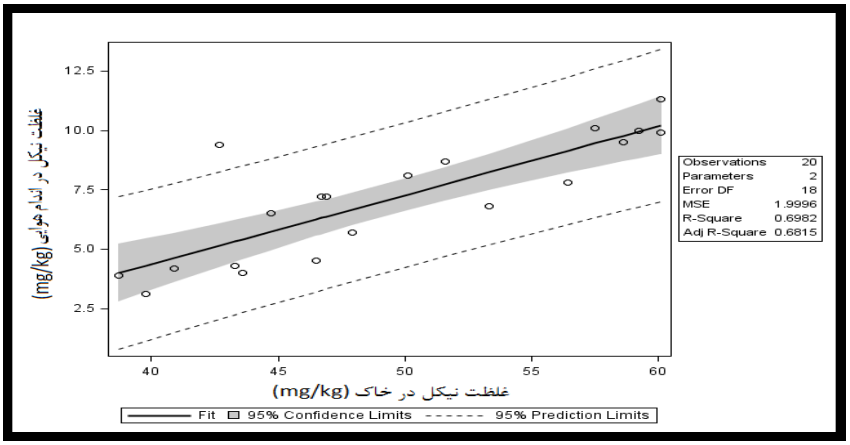
رابطه بین غلظت کادمیوم و نیکل در خاک و میزان تجمع آنها در اندام هوایی گیاه گندم

نتایج بررسی تأثیر غلظت کادمیوم در خاک بر غلظت آن در اندام های هوایی گیاه نشان می دهد که افزایش غلظت در خاک منجر به افزایش معنی دار آن در اندام های هوایی گیاه می شود. این مدل ۹۲ درصد از تغییرات کادمیوم در اندام های هوایی گندم را تعریف می کند و ضریب تغییرات ۰/۳ درصدی مدل نشان دهنده دقت بالای آن می باشد. نتایج آنالیز رگرسیونی نشان داد که افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک بر غلظت این فلزات در اندام های هوایی گیاه گندم تأثیر معنی‌داری دارد. با افزایش غلظت فلزات در خاک، غلظت آنها در اندام هوایی گیاه به طور خطی افزایش می‌یابد. (شکل‌های ۳ و ۴). بطوریکه به ازای یک میلی‌گرم افزایش غلظت در خاک، غلظت کادمیوم در اندام‌های هوایی گندم ۰/۵۶ میلی‌گرم و غلظت نیکل ۰/۲۹ میلی‌گرم افزایش می‌یابد.



شکل ۳- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت کادمیوم در خاک و غلظت آن در اندام هوایی گندم

Figure 3. Regression relationship of Cd between soil and wheat aerial parts.

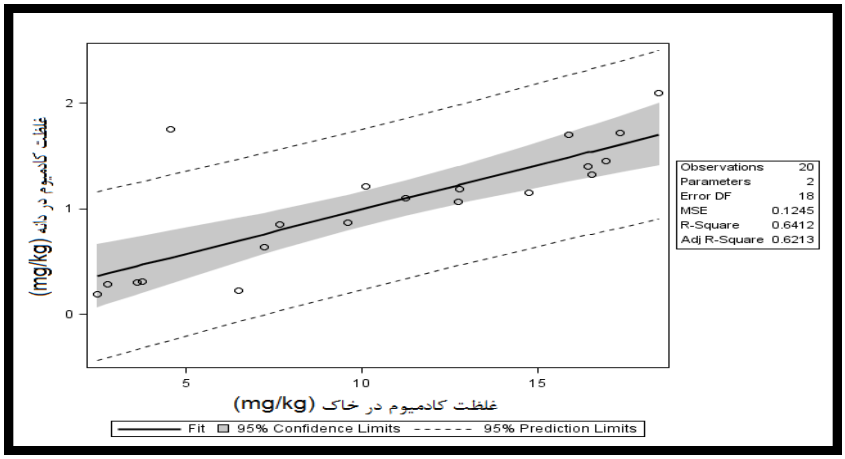


شکل ۴- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت نیکل در خاک و غلظت آن در اندام هوایی گندم

Figure 4. Regression relationship of Ni between soil and wheat aerial parts.

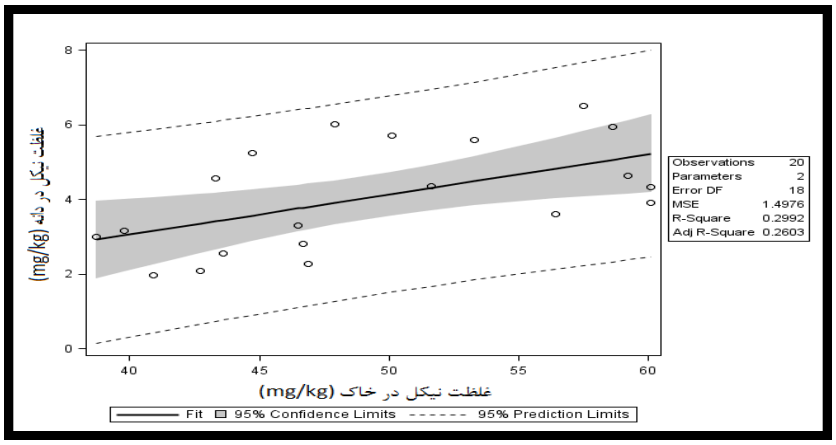
رابطه بین غلظت کادمیوم و نیکل در خاک و میزان تجمع آنها در دانه گیاه گندم

نتایج تحلیل رگرسیونی تأثیر غلظت کادمیوم خاک بر وزن خشک ریشه گندم را نشان می دهد، غلظت این فلز تأثیر معنی داری بر وزن خشک ریشه گندم دارد. ضریب تعیین ۸۸ درصدی مدل و ضریب تغییرات ۲/۸۵ درصدی مدل نیز نشان دهنده همین امر است. غلظت کادمیوم و نیکل در دانه‌های گیاه گندم با توجه به نتایج تحلیل رگرسیونی به طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت آنها در خاک است، اما شدت تأثیرگذاری این فلزات سنگین به مراتب کمتر از غلظت آنها در ریشه و اندام هوایی است. اگرچه با افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک، غلظت آنها در دانه به طور خطی افزایش می‌یابد. (شکل ۵ و ۶). بدین ترتیب که به ازای یک میلی‌گرم افزایش غلظت در خاک، غلظت کادمیوم در دانه ۰/۰۸۴میلی‌گرم و غلظت نیکل ۰/۱ میلی‌گرم افزایش می‌یابد. ولی مقایسه شیب خط رگرسیونی در هر دو نمودار با شیب خط رگرسیونی نمودارهای مربوط به میزان غلظت این فلزات در ریشه و اندام‌های هوایی حاکی از آن است که میزان تأثیرگذاری این فلزات در خاک بر دانه گیاه گندم به مراتب خیلی کمتر از تأثیر آنها بر ریشه و اندام‌های هوایی گیاه است.



شکل۵- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت کادمیوم در خاک و غلظت آن در دانه گندم

Figure 5. Regression relationship of Cd between soil and wheat seeds.



شکل ۶- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت نیکل در خاک و غلظت آن در دانه گندم

Figure 6. Regression relationship of Ni between soil and wheat seeds.

تأثیر غلظت کادمیوم و نیکل در خاک بر رشد گیاه گندم

نتایج تحقیق حاکی از آن بود که میزان کادمیوم و نیکل در نمونه‌های خاک بر خصوصیات رویشی و عملکردی مورد مطالعه‌ی گیاه گندم به غیر از تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع تأثیر بسزایی داشتند. بدین ترتیب که افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک موجب کاهش وزن خشک ریشه، اندام هوایی و وزن هزار دانه می‌گردند. این در حالی‌ست که افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک تأثیری معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع ندارند. (جداول ۴ و ۵).

جدول ۴- همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی تحت تأثیر کادمیوم

Table 4 . The correlation between the variables that affected by cadmium

	غلظت کادمیوم در خاک	غلظت کادمیوم در ریشه	غلظت کادمیوم در اندام هوایی	غلظت کادمیوم در دانه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله
غلظت در ریشه	۰/۹۷۲۸۶***							
غلظت در اندام هوایی	۰/۹۶۱۱۳***	۰/۹۸۸۹۵***						
غلظت در دانه	۰/۸۰۰۷۴***	۰/۸۶۵۸۱***	۰/۸۵۳۶۸***					
وزن خشک ریشه	-۰/۹۳۸۹۶***	-۰/۹۲۲۴۲***	-۰/۹۱۷۸۱***	-۰/۸۳۸۵۱***				
وزن خشک اندام هوایی	-۰/۹۴۲۷۳***	-۰/۹۱۳۸۶***	-۰/۸۸۷۴۷***	-۰/۷۲۲۹۴**	۰/۸۸۳۵۶***			
وزن هزار دانه	-۰/۸۹۱۱۸***	-۰/۸۷۵۳۳***	-۰/۸۳۹۸۰***	-۰/۸۱۵۲۶***	۰/۹۱۶۲۷***	۰/۹۱۳۳۷***		
تعداد دانه در سنبله	-۰/۳۶۶۰۷	-۰/۲۹۴۳۷	-۰/۲۸۵۹۰	-۰/۲۴۰۶۱	۰/۳۳۹۳۳	۰/۲۶۰۲۰	۰/۳۳۷۹۳	
تعداد سنبله	-۰/۳۶۹۸۱	-۰/۲۸۳۱۰	-۰/۲۸۷۵۸	-۰/۳۱۵۵۳	۰/۲۹۳۲۳	۰/۳۰۱۰۳	۰/۲۸۷۹۷	۰/۵۵۳۳۳*

(*،**،***: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱)

جدول ۵- همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی تحت تأثیر نیکل

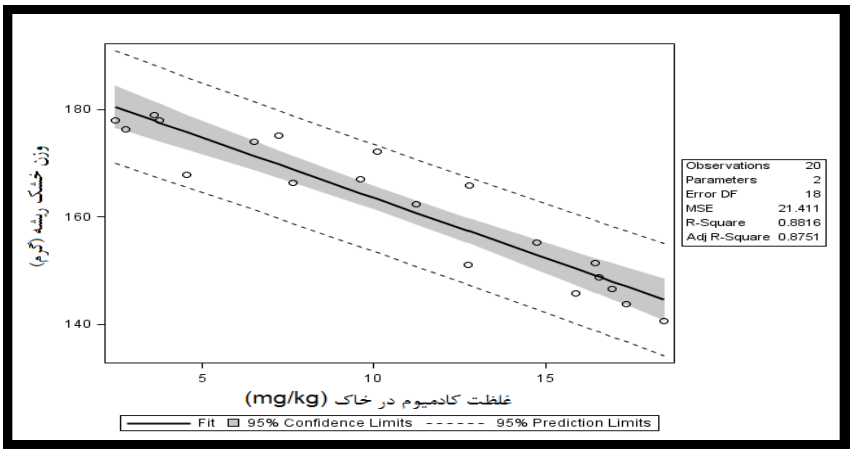
Table 5. The correlation between the variables that affected by nickel

	غلظت نیکل در خاک	غلظت نیکل در ریشه	غلظت نیکل در اندام هوایی	غلظت نیکل در دانه	وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله
غلظت در ریشه	۰/۸۵۸۳۹***							
غلظت در اندام هوایی	۰/۸۳۵۶۱***	۰/۹۶۸۷۱***						
غلظت در دانه	۰/۵۴۶۹۹***	۰/۳۴۴۳۰***	۰/۳۷۶۶۷					
وزن خشک ریشه	-۰/۹۳۲۷۵***	-۰/۷۳۳۹۵***	۰/۶۹۶۶۵**	-۰/۶۳۶۳۱**				
وزن خشک اندام هوایی	-۰/۰۲۴۷۹***	-۰/۰۵۲۴۲***	-۰/۰۴۷۰۲	۰/۰۳۶۲۷	۰/۰۴۳۵۲			
وزن هزار دانه	-۰/۸۶۴۱۵***	-۰/۷۹۹۹۲***	-۰/۷۵۸۷۲***	۰-/۲۶۶۶۴	۰/۸۴۸۷۱	۰/۰۶۰۹۰		
تعداد دانه در سنبله	-۰/۴۰۴۹۰	-۰/۳۶۱۴۵	-۰/۳۷۰۵۳	-۰/۱۱۶۲۰	۰/۲۵۷۰۱	-۰/۲۰۱۵۵	۰/۳۹۵۵۹	
تعداد سنبله	-۰/۰۵۰۶۶	-۰/۰۰۹۶۰	-۰/۰۰۱۳۲	-۰/۴۵۷۷۶	-۰/۱۵۴۸۲	-۰/۱۳۷۳۸	۰/۰۷۵۲۶	۰/۰۱۹۸۸

(*،**،***: به ترتیب معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱)

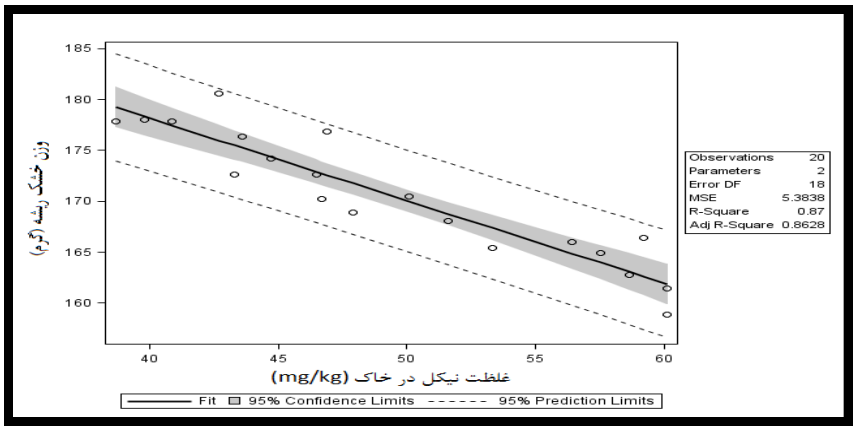
تأثیر غلظت کادمیوم و نیکل در خاک بر وزن خشک ریشه گیاه گندم

نتایج تحلیل رگرسیونی تأثیر غلظت کادمیوم خاک بر وزن خشک ریشه گندم را نشان می دهد، غلظت این فلز تأثیر بسیار معنی داری بر وزن خشک ریشه گندم دارد. ضریب تعیین ۸۸ درصدی مدل و ضریب تغییرات ۲/۸۵ درصدی مدل نیز نشان دهنده همین امر استنتایج تحلیل رگرسیونی تأثیر غلظت کادمیوم و نیکل خاک بر وزن خشک ریشه گندم نشان داد که غلظت این فلزات تأثیر بسیار معنی‌داری بر وزن خشک ریشه گندم دارند. .طوریکه با افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک، وزن خشک ریشه گندم به طور معنی داری کاهش می‌یابد. به ازای افزایش هر یک میلی‌گرم از غلظت فلزات کادمیوم و نیکل در خاک؛ به ترتیب۲/۲ و ۰/۸۱ گرم از وزن خشک ریشه گندم در هر متر مربع کرت کاهش می‌یابد (شکل‌های ۷ و ۸). آمار فوق نشان دهنده‌ی تأثیر بالای غلظت فلز سنگین کادمیوم بر میزان رویش گیاه گندم نسبت به فلز نیکل می‌باشد.



شکل ۷- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت کادمیوم در خاک و وزن خشک ریشه گندم

Figure 7. Regression relationship between soil Cd and dry weight of wheat roots.

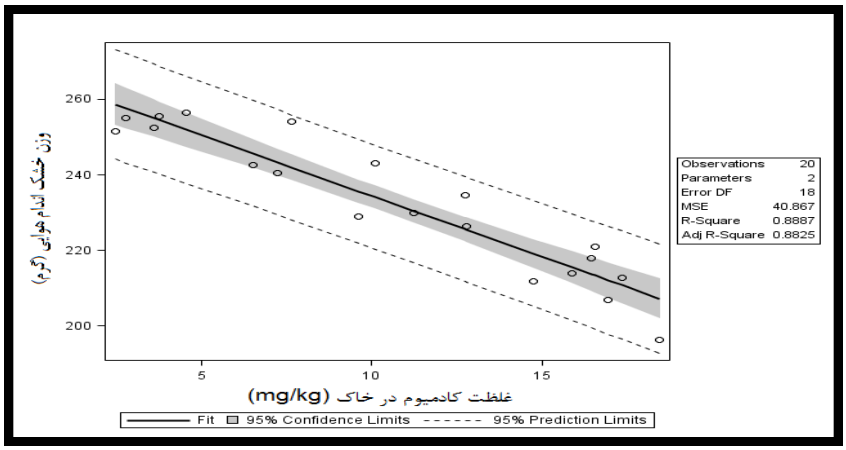


شکل ۸- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت نیکل در خاک و وزن خشک ریشه گندم

Figure 8. Regression relationship between soil Ni and dry weight of wheat roots.

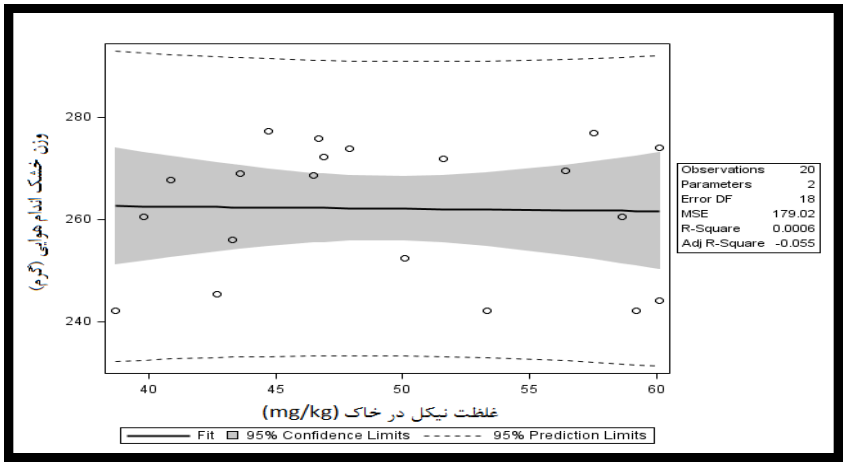
تأثیر غلظت کادمیوم و نیکل در خاک بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم

نتایج آنالیز رگرسیونی تأثیر غلظت کادمیوم خاک بر وزن خشک اندام هوایی گندم حاکی از آن بود که غلظت این فلز تأثیر بسیار معنی‌داری بر وزن خشک اندام هوایی گندم دارد. بطوریکه با افزایش غلظت کادمیوم در خاک، وزن خشک اندام هوایی گندم به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. افزایش هر یک میلی‌گرم از غلظت فلز کادمیوم در خاک ۳/۲ گرم از وزن خشک اندام هوایی گندم در هر متر مربع کرت کاهش می‌یابد. (شکل ۹). این درحالی است که غلظت فلز نیکل در خاک بر خصوصیت فوق از گیاه گندم تأثیر معنی نداری ندارد. شکل ۱۰ نیز حاکی از عدم وجود شیب در مدل رگرسیونی می‌باشد.



شکل ۹- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت کادمیوم در خاک و وزن خشک اندام هوایی گندم

Figure 9. Regression relationship between soil Cd and dry weight of wheat aerial parts.



شکل ۱۰- نمودار رابطه رگرسیونی بین غلظت نیکل در خاک و وزن خشک اندام هوایی گندم

Figure 10. Regression relationship between soil Ni and dry weight of wheat aerial parts.

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از بررسی تأثیر آبیاری با پساب‌های شهری بر میزان تجمع دو فلز نیکل و کادمیوم در اندام‌های گیاه گندم و تأثیر فلزات فوق بر خصوصیات رویشی و عملکردی آن، نشان داد که آبیاری گندم‌زارهای منطقه مورد مطالعه با پساب‌های شهری موجب آلودگی خاک منطقه مورد مطالعه با فلزات سنگین است. میانگین غلظت کادمیوم و نیکل در بین نمونه‌های خاک، به ترتیب ۱۰/۶ و ۴۹/۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده که منجر به تجمع آنها در اندام‌های مختلف گیاه گندم شده است. غلظت فلزات نیکل و کادمیوم با میزان تجمع آنها در اندام‌های مورد مطالعه گیاه گندم چون ریشه، اندام هوایی و دانه همبستگی بسیار معنی‌داری دارد، بدین صورت که با افزایش میزان غلظت فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در خاک میزان تجمع آنها در اندام‌های ریشه، اندام هوایی و دانه گیاه گندم افزایش می‌یابد. اگرچه میزان غلظت فلز نیکل در خاک بیشتر از فلز کادمیوم بود، ولی همبستگی فوق در فلز کادمیوم بیشتر از فلز نیکل است که نشان دهنده توانایی بالای گیاه گندم در جذب فلز کادمیوم است. بدین صورت که گیاه گندم مقادیر کمتری از فلز نیکل را نسبت به غلظت بالای آن در خاک، جذب کرده‌است. همچنین مشخص گردید تأثیر غلظت کادمیوم بر میزان تجمع آن در اندام‌های مختلف گیاه گندم و خصوصیات رویشی و عملکردی بیشتر از فلز نیکل است. افزایش ۱mg غلظت کادمیوم در خاک به ترتیب منجر به افزایش ۰/۶، ۰/۵۶، ۰/۰۸۱ میلیگرم کادمیوم در ریشه، اندام هوایی و دانه گندم می شود. در مورد نیکل نیز افزایش ۱ میلیگرم غلظت در خاک به ترتیب منجر به افزایش ۰/۲۹، ۰/۲۹، ۰/۱۱ میلیگرم نیکل در ریشه، اندام هوایی و دانه گندم می شود. این اعداد حاکی از آن است که ضریب انتقال کادمیوم به ریشه و اندام هوایی بیشتر از نیکل بوده، اما ضریب انتقال نیکل به دانه گندم بیشتر از کادمیوم است. وزن هزار دانه گندم تحت تأثیر افزایش ۱ mg کادمیوم دچار کاهش معنی دار ۰/۲۱ گرمی شد در صورتی که نیکل منجر به کاهش ۰/۰۶ گرمی در وزن هزار دانه شد که این امر نشان می دهد افزایش غلظت کادمیوم در خاک منجر به کاهش اندازه دانه گندم به بیش از ۳ برابر نسبت به نیکل می شود.اثرات فلزات فوق بر خصوصیات رویشی و عملکردی گیاه گندم؛ وزن خشک ریشه، اندام هوایی و وزن هزار دانه تشخیص داده شد. که این اثرات منفی بوده به‌گونه‌ایی که افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک موجب کاهش وزن خشک ریشه، اندام هوایی و وزن هزار دانه می‌گردد. این در حالی‌ست که افزایش غلظت کادمیوم و نیکل در خاک تأثیری معنی‌داری بر دو صفت، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در متر مربع نداشت. و افزایش غلظت فلزات فوق موجب کاهش و یا افزایش تعدا دانه و سنبله در گیاه گندم نمی‌گردد. همچنین

مشخص شد که میزان انتقال و تجمع فلز کادمیوم نسبت به نیکل در گیاه گندم بالا بوده و اثرات منفی آن بر رویش گیاه به مراتب بیشتر از نیکل می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش‌های Shen و همکاران (۱۹۹۷) (۶)، Nan و همکاران (۲۰۰۲) (۷) و Liu و همکاران (۲۰۰۵) (۸)، نشان داد که آبیاری زمینهای کشاورزی با فاضلابهای شهری موجب آلودگی خاک با فلزات سنگین شده که موجب تجمع فلزات سنگین در اندام‌های مختلف گیاهان می‌شود. افزایش میزان تجمع فلزات سنگین تابعی از افزایش غلظت آنها در خاک است. که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین Liu و همکاران (۲۰۰۵) (۸) و Wang و همکاران (۲۰۰۶) (۹) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که فلز سنگین کادمیوم قابلیت تحرک بالایی دارد بطوریکه میزان انتقال و تجمع آن نسبت به سایر فلزات از جمله نیکل، سرب و کروم بالاتر می‌باشد که با نتایج پژوهش حاضر مبنی بر بالا بودن میزان تجمع کادمیوم نسبت به نیکل و بالا بودن میزان اثرات منفی بر خصوصیات رویشی و عملکردی گیاه گندم؛ مطابقت دارد.

Reference

1. Karandish, F. Analyzing the Geostatistical Methods in Spatial Monitoring of Saline and Sodic Condition of Soils under Treated - Wastewater Irrigation. Applied Soil Research, 2014; 2(1): 115-128
2. Badiei, A., Karandish, F., Tabatabaei, S. The Influence of Irrigation with Raw and Treated Municipal Wastewater on Wheat Yield and Microbial Characteristics of Soil and Plant. Water and Soil Science, 2017; 26(4.2): 215-228
3. Janosova B., Miklankova J., Hlavinek P. and Wintgens T., 2006, Drivers for wastewater reuse regional analysis in the Czech Republic. Desalination, 187: 103–114.
4. Mahmoudian S., 2001, Water from Water: A Review of Wastewater Reuse in Iran. Country Paper for the "Joint FAO/WHO Consultation for Launching the Regional Network on Wastewater Reuse". Amman, Jordan.
5. Pedrero F., Allende A., Gil M., Juan I. and Alarcón J., 2012, Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. Agricultural Water Management, 109: 59-60.
6. Rahmani H.R. , 2009, Investigation of long-term effect of phosphorus fertilizers on soil and plant cadmium and its environmental factor, Final Report, Agricultural Research, Education and Extension Organization
7. Shen Z.G., zhao F.J. and McGrath S.P., 1997, Uptake and transport of zinc in the hyperaccumulator thlaspi caerulescens and the nonhyperaccumulator thlaspi ochroleucum . Plant cell and environment, 20: 898-906.
8. Nan Z., Li J., Zhang J. and Cheng G., 2002, cadmium and zinc interactions and their transfer in soil- crop system under actual field conditions. Science of the totla environment, 285: 187-195.
9. Liu W.H., Zhao J. Z., Ouyanq Z.Y., Soderland L. and Liu G.H., 2005, Impact of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. Environmental International, 31: 805-812.
10. Wang G., Su M.Y., Chen Y.H., Lin F.F., Luo D. and Gao S.F., 2006, Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edibleparts of six vegetable species in southeastern China. Journal of Environmental Pollution, 144: 127-135.

11. Chen Z-F., Zhao Y., Zhu Y., Yang X., Qiao J., Tianc Q., and Zhang Q., 2009, Health risks of heavy metals in sewage-irrigated soils and edible seeds in Langfang of Hebei province, China. Journal of Science Food Agriculture, 90:314-320.
12. Khurana M.P.S. and Aulakh M.S., 2010, Influence of wastewater application and fertilizer use on the quality of irrigation water, soil and food crops: case studies from Northwestern India. World Congress of Soil Science. Soil Solutions for a Changing World: 75-78.
13. S, M., GH, M., B, M. An Investigation of Heavy Metals in Canola and Soil of Farms Irrigated with Wastewater of the Industrial City of Amol. Journal of Water Research in Agriculture, 2015; 29.2(2): 141-155. doi: 10.22092/jwra.2015.101655
14. Mollahosseini H., 2002, Investigation of severity and spread of infection. Soils to heavy elements and determine their amount in plants irrigated with wastewater. Final report of plan number 365/81. Environmental Protection Agency
15. Shirin Fekr A., Kavousi M. and Mahboub Khomami, A., 2001, The trend of changes in the concentration of heavy metals in rice due to the distance from pollution sources. 7th Iranian Soil Science Congress, 4-7 September - Shahrekord.
16. Panahi, N., hamidian, A., Tavili, A. Heavy Metals (Pb and Ni) in Soil and Plant Halimocnemis pilifera in Halgheh Darreh Waste Disposal Site in Karaj. Journal of Range and Watershed Managment, 2016; 69(1): 13-26. doi: 10.22059/jrwm.2016.61730
17. Tabande L, Taheri M. Evaluation of Exposure to Heavy Metals Cu, Zn, Cd and Pb in Vegetables Grown in the Olericultures of Zanjan Province's Fields. ijhe. 2016; 9 (1) :41-56.