DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

تاثیر آبیاری با پساب تصفیه خانه فاضلاب شهری بر جذب فلزات سنگین توسط گیاه شنبلیله (*Trigonella foenum graceum* L.)

فائزه فاضلی* و حسن عینی

ایران، تهران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، گروه علوم زیستی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱

چکیده

بمنظور بررسی اثر آبیاری با سطوح مختلف پساب تصفیه خانه جنوب تهران بر توان گیاه پالایی شنبلیله، آزمایشی تحت شرایط گلخانه ای در قالب طرح کاملا تصادفی با پنج تیمار (۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ پساب) و سه تکرار صورت گرفت. نتایج نشان داد که محتوای فلزات سنگین کروم، مس، آهن، نیکل و روی خاک با افزایش سطوح آبیاری پساب افزایش یافته است. با افزایش سطح پساب فقط آهن در اندام های هوایی افزایش یافته و در ریشه محتوای همه فلزات مورد بررسی کاهش یافته است. علاوه بر این محتوای کروم، آهن و روی ریشه بالاتر از خاک بود. محتوای مس و نیکل خاک بالاتر از ریشه ها بود و محتوای این فلزات سنگین در ریشه بالاتر از اندام های هوایی بود. وزن تر و خشک اندام های هوایی و ریشه ها با افزایش سطح پساب کاهش یافت. همچنین وزن تر و خشک اندام های هوایی و ریشه ها با افزایش سطح پساب کاهش یافت. از اینرو به نظر می رسد که گیاه شنبلیله می تواند بدون آن که مقدار زیادی از کروم و روی را از ریشه به اندام هوایی انتقال دهد، بر کاهش آن در خاک تاثیر داشته باشد.

واژه های کلیدی: فاضلاب شهری، فلزات سنگین، شنبلیله

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۶۱۱۰۲۰۷ ، پست الکترونیکی: Fazeli@sru.ac.ir

مقدمه

در دهه های اخیر، تغییرات آب و هوایی و توسعه اجتماعی – اقتصادی، چرخه های آب جهانی را دگرگون کرده است و سلامت بشر و تنوع گونه ای محیط زیست را تهدید می‌کند (۵۰). در ایران بخش بزرگی از آب مورد استفاده شهرهای بزرگ به فاضلاب شهری تبدیل می‌شود (۵) که با توسعه شهرنشینی و صنعتی شدن کشور روندی افزایشی دارد(۳۵و ۶۳). در بسیاری از نقاط جهان استفاده از فاضلاب‌های شهری و صنعتی در آبیاری به امری معمول و متعارف تبدیل شده است که به دلایل اقتصادی و محیط زیستی در مدیریت منابع آب اهمیت دارد (۲۹). علاوه بر این که پساب می تواند برای آبیاری کشاورزی بکار رود، می تواند به تامین مواد غذایی گیاهان بویژه نیتروژن، پتاسیم و عناصر کم مصرفی که حاصلخیزی خاک، تحریک رشد گیاه و افزایش تولید کشاورزی را موجب می شوند، کمک کند (۳۹، ۴۸و۶۲). از طرف دیگر باید توجه داشت که استفاده از فاضلاب شهری خام و تصفیه نشده بدون ارزیابی ریسک آن و مدیریت برای آبیاری، می تواند خطر جدی برای آب و خاک و در نهایت انسان بشمار رود (۵۲). پساب شهری و فاضلاب صنعتی می توانند مقادیر قابل ملاحظه ای فلزات سنگین و سمی به همراه داشته باشند (۶۳). فلزات سنگین از نظر زیستی تجزیه ناپذیر بوده و به شدت در محیط زیست ماندگار هستند (۵۷). در عین حال در غلظت های بالا برای گیاهان سمیت دارند(۳۷). جذب و تجمع فلزات سنگین در گیاه به نوع

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

فلز سنگین، غلظت فلز در ترکیبات آلی،pH، EC ، ویژگی های فیزیکی و مکانیکی خاک، نوع گیاه و از همه مهم تر مدیریت زراعی بستگی دارد(۳۹و۶۲). گیاهان فلزات سنگین را از طریق واکنش های مختلفی مانند جذب، تبادل یونی، واکنش های احیا از خاک می گیرند(۳۲). زمانی که ظرفیت خاک برای نگه داشتن فلزات سنگین کاهش یابد، این فلزات به سمت آب‌های زیرزمینی یا به صورت محلول‌های قابل استفاده برای جذب گیاهی، آزاد و منتشر می‌شوند (۴۶). بنابراین در صورت استفاده از فاضلاب باید مسائل همراه با کاربرد آن نیز شناخته و بررسی شود (۳).

آلاینده های موجود در آب و خاک را می توان با روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برطرف نمود. روش های فیزیکی و شیمیایی، علاوه بر پر هزینه بودن، اثرات برگشت ناپذیری بر خصوصیات آب و خاک و نابودی تنوع گونه ای دارند. در سال های اخیر از گیاه پالایی که علاوه بر کم هزینه بودن، می تواند بدون تاثیر بر حاصلخیزی خاک و بدون تغییر کیفیت آب، آلاینده های سمی را از خاک و آب خارج نماید، استفاده می شود (۱). در گیاه پالایی، گیاهان فلز سمی را تخریب یا انباشته کرده یا موجب عدم تحرک آن می شوند(۲۵). در زمینه تاثیر فاضلاب بر خاک و گیاه مطالعاتی صورت گرفته است. Al-Lahham و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که جابجایی بخشی از فلزات سنگین از خاک به میوه گوجه فرنگی به دلیل حضور این فلزات در پساب تصفیه شده رخ داده است (۲۵). Kalavrouziotis و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی گلخانه ای نتیجه گرفتند که استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده شهری برای آبیاری کلم گل و کلم بروکسل به طور معنی داری محتوای روی و کادمیوم را افزایش داده است (۳۹). Kiziloglu و همکاران (۲۰۰۸) هم در بررسی اثر آبیاری فاضلاب نشان دادند که آهن، منگنز، روی، مس، سرب، نیکل و کادمیوم کلم گل و کلم قرمز افزایش می یابد (۴۲). علیزاده و همکاران (۱۳۸۷) نتیجه گرفتند که تجمع فلزات سنگین در ذرت آبیاری شده با فاضلاب بیش از ذرت آبیاری شده با آب چاه است (۱۷). Klay و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که تحرک و جذب سطحی فلزات سنگین وابسته به محتوای فلزی فاضلاب تصفیه شده، حرکات کربن آلی، درصد رس و زمان آبیاری است (۴۳). Ashfaque و همکاران (۲۰۱۶) نیز بیان کردند که فلزات سنگین از طریق تولید گونه های اکسیژن فعال با ممانعت از فتوسنتز ، تنفس سلولی و متابولیسم نیتروژن بر رشد و نمو گیاهان اثر می گذارد (۲۷).

سبزیجات به دلیل غنی بودن از ویتامین ها، مواد معدنی و فیبر، یکی از منابع مهم رژیم غذایی انسان می باشند. با این حال، سبزیجات آلوده به فلزات سنگین سلامتی انسان را در معرض خطر قرار می دهند (۵۴). آلودگی فلزات سنگین به علت سمیت و تجمع در زنجیره غذایی به عنوان یکی از مهم ترین معضلات محیط زیستی محسوب می شوند (۳۲).

گیاه شنبلیه(*Trigonella foenum graecum* L.) از گیاهان خانواده حبوبات(Fabaceae) بوده که ارزش دارویی دارد و از برگ آن به عنوان سبزی و از بذرهایش به عنوان ادویه استفاده می شود. برگ های شنبلیله غنی از مواد پروتئینی و ویتامین C می باشد (۴۵). این تحقیق با هدف بررسی میزان برخی فلزات سنگین در خاک و گیاه شنبلیله کشت شده در آن، تحت تاثیر آبیاری با سطوح مختلف پساب فاضلاب تصفیه خانه جنوب شهر تهران انجام گرفته است.

مواد و روشها

بذرهای شنبلیله رقم شیراز تهیه شده از مؤسسه نهال و بذر کرج در شرایط گلخانه ای واقع در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران در داخل گلدان کاشته شدند. منابع آب تأمین کننده آبیاری عبارتند از تیمارهای(۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) پساب تصفیه خانه جنوب شهر واقع در شهر ری تهران بود. جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی خاک قبل از

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

شروع آزمایش و جدول ۲ متوسط کیفیت آب معمولی و پساب را نشان می دهد. این پژوهش، به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. شرایط رشد گیاهان شامل دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی/۸ ساعت تاریکی، شدت نور ۲۵۰ میکرومول بر مترمربع بر ثانیه، متوسط دمای شب/ روز ۳۰/۲۲ درجه سانتیگراد و متوسط رطوبت۴۰-۳۵ درصد بود. شش هفته پس از تاریخ کاشت نمونه های گیاهی (ریشه و اندام های هوایی) و خاک مورد آزمایش قرار گرفتند.

جدول ۱- EC(ds/m)، pH و مقدار عناصر فلزی(mg/kg) موجود در خاک گلدان ها

Zn	Ni	Fe	Cu	Cr	pH	EC
۸۶	۳۰	۲۵۹۵۱	۳۲	۲۷	۶/۸۱	۰/۲۳۵

جدول ۲- خواص فیزیکوشیمیایی و عناصر سنگین در آب معمولی و پساب فاضلاب تصفیه خانه جنوب شهر تهران

پارامترها	آب معمولی	استاندارد پساب	حد مجاز (WHO)
pH	۷/۲	۶/۶	۸/۵-۶
EC(dsm^{-1})	۰/۱	۰/۸۵	۰/۷
BOD (mgl^{-1})	۰	۱۰	۱۰۰
COD (mgl^{-1})	۰	۱۱۰	۲۵۰
Cl^- (mgl^{-1})	۱۵/۶۸	۱۲۰	۲۵-۶۰۰
Na+ (mgl^{-1})	۹/۶۵	۴/۱	۲۰
K^+ (mgl^{-1})	۰/۰۰۳	۱۵/۵	۱۰-۵۰
Ca^{+2} (mgl^{-1})	۰/۰۵	۶۷/۷	۲۰۰-۷۵۰۰
Mg^{+2} (mgl^{-1})	۳/۵	۱۵/۲	۱۵۰-۳۰۰۰۰
$NO3^-$(mgl^{-1})	۲۵/۱	۲۰/۷	۵۰۰۰
PO_43^-(mgl^{-1})	۰/۰۴	۱۲/۷	-

تعیین وزن تر و خشک گیاه: وزن تر اندام هوایی و ریشه ها با ترازو اندازه گیری شد. برای تعیین وزن خشک، نمونه ها در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد خشک و با ترازو توزین شدند.

اندازه گیری عناصرسنگین درخاک و گیاه: به منظور تعیین غلظت کل فلزات در نمونه خاک، مراحل هضم توسط استاندارد(ISO 11466) و با نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید به نسبت ۱ به ۳ انجام شد. به یک گرم خاک، ۲-۳ میلی‌لیتر آب مقطر و سپس ۳ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ به آن افزوده شد. پس از اضافه کردن ۹ میلی لیتر هیدروکلریک اسید و تکان دادن، به مدت ۱۶ ساعت به حال خود رها شد. پس از صاف کردن، عصاره مذکور به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد (۲۶). جهت تعیین غلظت فلزات سنگین از دستگاه ICP –OES واریان ۷۳۵ استفاده شد. این دستگاه برای تعیین بیش از ۲۶ عنصر در یک نمونه و ارائه نتایج با دقت۰/۰۱ مورد استفاده قرار می گیرد. محلول‌های استاندارد با غلظت‌های ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه و با توجه به رسم نمودارها غلظت عناصر در نمونه به‌دست آمد.

بمنظور تعیین محتوای فلزات سنگین در بافت‌های گیاهی (ریشه و اندام هوایی) یک گرم ماده خشک به مدت ۶ ساعت در کوره ۵۰۰ درجه سانتی گراد به خاکستر تبدیل و آنگاه به آن ۱۰ قطره آب اضافه شد. سپس ۴ میلی‌لیتر

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

نیتریک اسید ۶۵ درصد به آن اضافه و به مدت ۲ ساعت روی هیتر ۱۲۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد تا تبخیر سطحی صورت گیرد، سپس ۲ ساعت دیگر نمونه ها در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت و پس از سرد شدن ۱۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید اضافه گردید. محلول حاصل شفاف بوده و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد (۲۶). نمونه ها توسط دستگاه ICP-OES موردسنجش قرار گرفت. محلول‌های استاندارد با غلظت‌ها ۱، ۱۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه و با توجه به رسم نمودارها، غلظت عناصر در نمونه به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل آماری داده ها: داده های حاصل از اندازه‌گیری‌ها به وسیله نرم افزار آماریSAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن ($p\leq$۰/۰۵) انجام شد.

نتایج و بحث

اثر تیمار های پساب فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک: نتایج نشان داد که با افزایش درصد پساب مصرفی، غلظت فلزات سنگین در خاک افزایش یافته، همچنین در مورد کروم و روی بین شاهد و تمام سطوح تیمار تفاوت معنی‌دار وجود دارد. در مورد مس، آهن و نیکل بین شاهد و تمام سطوح تیمار به‌جز سطح تیمار ۲۵ درصد پساب، تفاوت معنی‌دار وجود داشت. در سطح شاهد، بین مس و روی، همچنین بین آهن و نیکل تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، ولی بین کروم با دیگر عناصر مورد بررسی تفاوت، معنی دار بود. در تیمار۲۵ درصد پساب، بین کروم، آهن و نیکل، همچنین بین مس، آهن و نیکل و نیز بین آهن و نیکل، تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، اما روی با بقیه عناصر مورد بررسی، تفاوت معنی‌دار داشت. در تیمار ۵۰ درصد پساب، بین کروم، آهن و نیکل، همچنین بین مس، آهن، نیکل و روی و نیز بین آهن و نیکل، تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در تیمار۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب، بین فلزات تفاوت معنی‌دار وجود نداشت(جدول۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین مقدار فلزات سنگین(mg/kg) در محیط خاک در سطوح مختلف پساب ($p\leq$۰/۰۵). مقادیر میانگین سه تکرار± SE است.

تیمار	Cr	Cu	Fe	Ni	Zn
٪۰ پساب	۱۲/۹±۰/۴۷e	۲۵/۹±۰/۹۱c	۵۲۱۶/۷±۳۳۳/۵d	۱۲/۷±۰/۴۸d	۳۳/۰±۰/۷۹c
٪۲۵ پساب	۱۷/۱±۰/۵۳d	۲۸/۲±۰/۵۴c	۶۰۵۹±۳۳۴/۵۵cd	۱۴/۳±۰/۵۵cd	۴۹/۰±۷/۸b
٪۵۰ پساب	۲۱/۴۱±۰/۶۷c	۳۱/۱±۰/۶b	۶۹۰۱/۹±۳۳۰/۷bc	۱۶/۰±۰/۷۱bc	۵۱/۳±۱b
٪۷۵ پساب	۲۵/۰±۰/۷۱b	۳۳/۳±۰/۷۲ab	۷۷۳۸/۰±۳۲۱/۷ab	۱۷/۳±۰/۷۵ab	۵۷/۳±۱/۰ab
٪۱۰۰ پساب	۲۸/۷±۰/۷۷a	۳۵/۶±۰/۷۸a	۸۵۸۸/۱±۳۳۶/۷۶a	۱۸/۵±۰/۸۱a	۶۸/۴±۱/۱a

اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

Khan و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند خاک های آبیاری شده با پساب در چین حاوی ترکیبات فلزات سنگین هستند (۴۱). نجبائی و همکاران (۱۳۹۶) بیان کردند که با افزایش مقدار کروم در آب آبیاری گیاه جعفری، کروم کل و قابل جذب در خاک روند افزایشی نشان داد، گرچه در برخی سطوح اختلاف معنی داری مشاهده نشد(۱۹). بهمنیار و همکاران(۱۳۸۴) گزارش کردند که در اراضی قسمت مرکزی استان مازندران که تحت تأثیر پساب شهری قرار داشته اند میزان نیکل خاک حداقل دو برابر افزایش یافت (۳). Souri و همکاران (۲۰۱۸) با آبیاری کاهو، اسفناج، گشنیز و شاهی با پساب، افزایش کروم، نیکل، روی و مس را مشاهده کردند (۶۳). Abhilash و همکاران (۲۰۱۶) دریافتند که آبیاری با پساب موجب افزایش غلظت آهن، نیکل و روی در خاک نسبت

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

به شاهد می گردد (۲۲). هودجی و جلالیان (۱۳۸۳) مشاهده نمودند که در آبیاری با پساب، میزان فلزات سنگین خاک، به غلظت آنها در فاضلاب، طول مدت آبیاری،pH، بافت و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک بستگی دارد (۲۱).

اثر تیمار های پساب فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در اندام های گیاه: بیشترین مقدارکروم در اندام هوایی و ریشه درتیمار صفر درصد پساب و کمترین مقدار آن در اندام هوایی در پساب ۷۵ درصد، در حالی که کمترین مقدار این فلز سنگین در ریشه در ۱۰۰ درصد پساب مشاهده شد (جداول ۴ و ۵).

جدول ۴- مقایسه میانگین مقدار فلزات سنگین(mg/kg) در اندام هوایی گیاه شنبلیله در سطوح مختلف پساب ($p\leq$۰/۰۵). مقادیر میانگین سه تکرار± SE است.

تیمار	Cr	Cu	Fe	Ni	Zn
٪۰ پساب	۴۵/۱±۲/۲a	۱۵/۵±۰/۶۲a	۸۸۳/۲±۱/۴۶d	۱۶/۶±۳/۱۶a	۶۲/۳±۲/۶a
٪۲۵ پساب	۳۶/۶±۰/۷۴ab	۱۵/۱±۰/۵۹a	۹۷۰/۰±۴/۰۵cd	۱۵/۰±۳/۰۳ab	۵۸/۳±۲/۶۱ab
٪۵۰ پساب	۳۱/۵±۰/۹۱b	۱۴/۸±۰/۵۸ab	۱۰۵۹/۰±۵/۰۳bcd	۱۰/۴±۱/۵۲bc	۵۶/۳±۲/۵۴ab
٪۷۵ پساب	۳۱/۵±۰/۸۹b	۱۳/۱±۰/۵۴bc	۱۲۶۸/۵±۱۳۳/۱۱ab	۸/۱±۱/۳۱cd	۵۰/۳±۲/۳۲bc
٪۱۰۰ پساب	۳۲/۴±۰/۵۸b	۱۰/۴±۰/۴۹c	۱۳۹۸/۵±۱۳۴/۱۲a	۶/۶±۱/۳۲d	۴۱/۳±۲/۴۵c

اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین مقدار فلزات سنگین(mg/kg) در ریشه گیاه شنبلیله در سطوح مختلف پساب ($p\leq$۰/۰۵). مقادیر میانگین سه تکرار± SE است.

تیمار	Cr	Cu	Fe	Ni	Zn
٪۰ پساب	۱۳۴/۰±۲/۷a	۴۷/۹±۰/۹۸a	۶۰۲۴±۱۲۳/۵a	۶۱/۷±۱/۲a	۱۸۶/۵±۳/۸۲a
٪۲۵ پساب	۱۳۱/۵±۲/۰۵ab	۴۷/۴±۰/۷۴a	۵۶۳۵±۸۸/۱ab	۶۰/۰±۰/۹۳a	۱۶۳/۹±۲/۵ab
٪۵۰ پساب	۱۲۸/۸±۱/۴ab	۴۶/۹±۰/۵۱a	۵۲۴۵±۵۷/۲bc	۵۸/۲±۰/۶۳ab	۱۴۸/۶±۱/۷bcd
٪۷۵ پساب	۱۲۷/۲±۱/۲ab	۴۶/۶±۰/۴۴a	۴۸۸۰±۴۶/۳cd	۵۶/۷±۰/۵۳ab	۱۳۲/۰±۱/۲cd
٪۱۰۰ پساب	۱۲۴/۴±۰/۷۱b	۴۶/۲±۰/۲۶a	۴۵۰۱±۲۵/۸d	۵۴/۸±۰/۳۱b	۱۲۰/۲±۰/۶۹d

اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

بیشترین و کمترین مقدار مس در اندام هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار صفر درصد و ۱۰۰ درصد پساب مشاهده شد. همچنین می توان گفت که در هر دو اندام با افزایش درصد پساب محتوای مس کاهش یافته است. گرچه این کاهش در اندام هوایی در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد معنی دار بود، ولی در مورد ریشه در تمام سطوح نسبت به شاهد تفاوت معنی داری وجود نداشت (جداول ۴و ۵). در توافق با نتایج حاصل از این پژوهش، Marchiol و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که در کلزا انتقال مس در اندام هوایی در پاسخ به استفاده از پساب فاضلاب کاهش چشمگیری داشته است (۴۹).

با افزایش سطح تیمار پساب، مقدار آهن در اندام هوایی افزایش یافت، بطوری که در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد پساب این افزایش نسبت به شاهد معنی دار بود(جدول ۴). در حالی که در ریشه با افزایش سطح پساب مقدار آهن کاهش یافت و این کاهش از سطح ۵۰ تا ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد معنی دار بود (جدول ۵). عرفانی و همکاران (۱۳۸۱) با به کارگیری فاضلاب تصفیه شده خانگی، کاهش جذب آهن را در تمام قسمت های کاهو

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

مشاهده کردند (۱۴). Rattan و همکاران (۲۰۰۵) که میزان جذب آهن در چند گیاه مختلف را تحت آبیاری با فاضلاب و آب چاه مورد مقایسه قرار دادند، دریافتند که میزان آهن در اسفناج آبیاری شده با فاضلاب ۷۱۱ و در اسفناج آبیاری شده با چاه ۷۳۴ میلی گرم در کیلوگرم است. در حالی که میزان آهن در خیار آبیاری شده با فاضلاب ۹۳۲ میلی گرم در کیلوگرم بود. همچنین میزان آهن در ذرت در خاک های آبیاری شده با فاضلاب ۵۳۱ و در خاک های آبیاری شده با آب چاه ۹۹ میلی گرم در کیلوگرم بدست آمد (۵۷). این نتایج با نتایج پژوهش حاضر در مورد آهن اندام هوایی مطابقت دارد. در مورد محتوای ریشه می توان گفت که جذب و انتقال عناصر در گیاهان متفاوت یکسان نیست. معمولا یک گونه گیاهی با توجه به فیزیولوژی خاص خود ممکن است نسبت به انتقال یک فلز مشخص، اختصاصی تر عمل کند. مطالعات زیادی نشان داده که نوع گیاه از مهم ترین عوامل موثر بر انتقال فلزات در سیستم های خاک و گیاه می باشد (۱۰).

با افزایش سطح تیمار پساب، مقدار نیکل در اندام هوایی کاهش یافت، بطوری که در تمام سطوح این افزایش نسبت به شاهد معنی دار بود (جدول ۴). در ریشه هم با افزایش سطح پساب مقدار نیکل کاهش یافت ولی این کاهش فقط در سطح تیمار ۱۰۰ درصد پساب نسبت به شاهد معنی دار بود (جدول۵). عرفانی و همکاران (۱۳۸۱) نیز کاهش مقدار نیکل را در برگ و ریشه کاهو در تیمار با پساب مشاهده کردند(۱۴). Topalو Topal (۲۰۱۹) گزارش کردند که *Phragmatis australis* قادر است نیکل موجود در پساب مرغداری را به فراوانی در ریشه های خود جذب کند (۶۵). پرنیان و همکاران(۱۳۹۰) نیز بیان کردند که گیاه علف شاخی در محیط هیدروپونیک قادر به حذف نیکل می باشد(۴). نتایج تحقیقات طلاقت و کریمی (۱۳۹۸) نشان داد که سنبل آبی در شرایط خاصی از اسیدیته، غلظت، دما و زمان می تواند یون نیکل را از پساب پالایشگاه شیراز حذف کند(۱۳). Krstić و همکاران (۲۰۰۷) دریافتند که در مطالعه گونه های چوبی و علفی در شرایط اکولوژیکی یکسان، پتانسیل گیاه پالایی متفاوتی برای نیکل وجود دارد. آنها معتقدند که نیکل عنصر غذایی اصلی است و کمبود آن موجب رشد متوسط گیاه و فعالیت کمتر اوره آز در متابولیسم نیتروژن می گردد و از اینرو سبب تجمع اوره و سمیت می گردد. همچنین بیان کردند که برخی گیاهان به خاک های غنی از نیکل مقاوم بوده و حتی مقادیر بالایی از آن را در بخش های هوایی خود انباشته می نمایند (۴۴). Rafati و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که در برگ های ریزش کرده *Pinus alba* مقادیر نیکل بیشتری یافت شده و این عنصر به ریشه ها انتقال نیافته است (۵۶).

بیشترین و کمترین مقدار روی دراندام هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار صفر درصد و ۱۰۰ درصد پساب مشاهده شد. همچنین می توان گفت که در هر دو اندام با افزایش درصد پساب، محتوای روی کاهش یافته است. گرچه این کاهش در اندام هوایی در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد معنی دار بود، ولی در مورد ریشه از سطوح ۵۰ تا ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد تفاوت معنی دار وجود نداشت (جداول ۴ و ۵). رنگ زن و همکاران (۱۳۸۵) گزارش کردند که آبیاری برنج با آب رودخانه ای که متأثر از فاضلاب شهری و صنعتی بود موجب کاهش تجمع فلز روی در اندام هوایی گیاه برنج گردید (۹). MacFarlane و Burchett (۲۰۰۲) کمترین غلظت روی را در برگ مانگروها به دست آوردند. آنها عامل انتقال ضعیف این فلز را به بافت برگ و عدم دفع از درخت عنوان کردند (۴۷). Kafil و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که علف وتیور (*Vitiveria zizanoides* L.) از خانواده غلات می تواند از پساب های صنعتی و خاک مقادیر بیشتری از فلزات سنگین به ویژه روی را در ریشه های خود انباشته کند (۳۸). نتایج پژوهشهای فوق مبنی برکاهش روی در اندام هوایی با نتایج پژوهش حاضر در مورد گیاه شنبلیله طی آبیاری با پساب فاضلاب شهری مطابقت دارد. از اینرو می

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

توان گفت که که در واقع کاهش محتوای روی با عدم انتقال آن به بخش هوایی همراه بوده است.

مقایسه اثر تیمار های پساب فاضلاب بر غلظت فلزات سنگین در خاک و اندام های گیاه: جدول۶ میانگین کل تغییرات فلزات مورد بررسی را با استفاده از آزمون t نشان می دهد. محتوای روی اندام هوایی بطور معنی دار بیش از خاک ولی محتوای کروم، مس، آهن و نیکل در خاک بطور معنی داری بیش از اندام هوایی بود. همچنین محتوای کروم و روی ریشه بطور معنی داری بیش از خاک بود. بطور کلی میانگین محتوای کروم، مس، آهن، نیکل ریشه بطور معنی داری بیش از اندام هوایی گیاه شنبلیله می باشد.

جدول۶- مقایسه میانگین کل تغییرات عناصر (mg/kg) درخاک، اندام هوایی و ریشه ($p\leq$۰/۰۵). مقادیر، میانگین سه تکرار است.

محیط	Cr	Cu	Fe	Ni	Zn
میانگین کل تغییرات عناصر خاک	۲۱b	۳۰/۸a	۶۹۰۰a	۱۵/۷a	۴۲/۸b
میانگین کل تغییرات عناصر در اندام هوایی	۳۵/۳b	۱۳/۷b	۱۱۱۵b	۱۱/۳b	۵۳/۷a
میانگین کل تغییرات عناصر ریشه	۱۲۹/۱۷a	۴۷/۰a	۵۲۵۷a	۵۸/۳a	۱۵۰/۳a

میانگین‌هایی که حروف مشترک دارند، اختلاف معنی‌دار ندارند.

نتایج آزمایش‌های Pulford و همکاران (۲۰۰۱) مشخص کرد که بیشترین کروم در دو زیرگونه سپیدار در مقایسه با دیگر اندام‌ها، در ریشه وجود دارد (۵۵). ملاحسینی و همکاران (۱۳۸۴) نیز در بررسی تجمع سرب و کروم در بافت‌های ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری با پساب مشاهده کردند که بیشترین مقدار تجمع آن در ریشه بود. بنابراین غلظت کمتر این عناصر در اندام هوایی نسبت به ریشه احتمالا به علت عدم انتقال آن از ریشه به اندام هوایی مربوط می شود(۱۸). به عبارت دیگر غلظت زیاد کروم در ریشه ناشی از تحرک پذیری کم و در نتیجه تجمع آن در ریشه است (۱۵). با توجه به بالا بودن همه فلزات سنگین مورد مطالعه در ریشه نسبت به اندام هوایی می توان گفت که گیاه شنبلیه انتقال این فلزات را از ریشه به بخش هوایی محدود می کند. در توافق با نتایج پژوهش حاضر ، محققین در بررسی غلظت فلزات سنگین در گیاه حرا در قشم، نسبت تجمع مس در برگ و ریشه را ۱ به ۳ به دست آوردند (۵۷). عسکری لجایر و همکاران(۱۳۹۳) نیز بیان نمودند که گیاه مرزه انتقال مس از ریشه به اندام هوایی را کاهش می دهد. از اینرو می توان گفت در جذب عناصر غذایی غیرمتحرک در خاک تثبیت فلز در ریشه و جلوگیری از انتقال آن به اندام هوایی و یا تبدیل آن به مواد کم ضرر از ساز و کارهای مقابله با فلزات سنگین است (۱۶). عرفانی و همکاران (۱۳۸۱) با به‌کارگیری فاضلاب تصفیه شده خانگی، کاهش جذب آهن را در تمام قسمت‌های کاهو مشاهده کردند. (۱۴). گرچه میزان جذب آهن در گیاهان مختلف متفاوت است. جذب آهن توسط گیاه جذب فعال است و نیازمند انرژی می‌باشد. این انرژی از سوخت و ساز گیاهان تأمین می‌شود. هر عاملی که بر سوخت و ساز گیاهی اثر داشته باشد، برجذب و انتقال آهن موثر است (۱۱). بالاتر بودن غلظت نیکل در ریشه نسبت به اندام هوایی گیاه شنبلیله، با نتایج تقربیان و همکاران (۱۳۹۴) بر روی گشنیز با تیمار های نیکل مطابقت دارد (۶). به نظر می رسد شنبلیله نیز مانند گشنیز نیکل را در ریشه کده بندی نموده و آن را به اندام هوایی انتقال نمی دهد. Mireles (۲۰۰۱) پس از آبیاری یونجه و جو با پساب، گزارش کرد نیکل در ریشه‌ها نسبت به ساقه و برگ‌ها غلظت بیشتری داشته است (۵۱). به نظر می‌رسد ساز و کارهایی در ریشه گیاه سبب شده تا از انتقال این عنصر به اندام‌های هوایی ممانعت به عمل آید (۲۰). در توافق با نتایج پژوهش حاضر، رضاخانی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه خود بر روی اسفناج بیان داشتند که ممکن است ریشه پس از جذب روی از خاک آن را ذخیره

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

نموده و به اندام هوایی انتقال ندهد و از آنجا که بخش های هوایی گیاه شنبلیله مانند اسفناج مورد استفاده غذایی قرار می گیرند، انباشت فلزات سنگین در ریشه خطر جدی برای سلامت انسان نداشته باشد (۸).

به طور کلی غلظت فلزات سنگین در خاک با استفاده از پساب بیش از شاهد بود که شاید این امر را بتوان به غلظت بالاتر نیترات، سولفات و کلر در خاک نسبت داد که باعث کاهش اسیدیته خاک و ایجاد ترکیبات محلول سولفات و نیترات شده و جذب عناصر ریزمغذی و فلزات سنگین را افزایش می دهند. وجود آنیون های سولفات، نیترات، کلرید باعث جذب عناصر آهن، نیکل، استرانسیوم و روی می شود (۴). از سوی دیگر می توان گفت شنبلیله با ساز و کار تثبیت ریشه ای ضمن محدود کردن تحرک و از سوی دیگر با انباشته کردن فلزات سنگین از انتقال آنها به اندام هوایی جلوگیری نموده است (۲۴).

اثر تیمار های پساب فاضلاب بر رشد گیاه: بیشترین و کمترین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار شاهد و ۱۰۰ درصد پساب مشاهده شد. در هر دو اندام با افزایش درصد پساب، وزن تر و خشک کاهش یافت. علاوه بر این کاهش وزن تر و خشک اندام هوایی در سطوح ۷۵ و ۱۰۰ درصد نسبت به شاهد معنی دار بود، در حالی که در مورد وزن تر و خشک ریشه در تمام سطوح نسبت به شاهد تفاوت معنی دار مشاهده شد (جدول ۷).

جدول۷- مقایسه میانگین وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه (g) گیاه شنبلیله در سطوح مختلف پساب ($p\leq$۰/۰۵). مقادیر میانگین سه تکرار± SE است.

تیمار	وزن تر اندام هوایی	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه
۰٪ پساب	۳/۲±۰/۳۶a	۱/۲±۰/۰۴a	۰/۴±۰/۰۲a	۱/۱۰±۰/۰۹a
۲۵٪ پساب	۲/۷±۰/۳۳ab	۰/۷±۰/۰۵b	۰/۳±۰/۰۱ab	۰/۰۶±۰/۰۱b
۵۰٪ پساب	۲/۶۰±۰/۲۴abc	۰/۶±۰/۰۱bc	۰/۳±۰/۰۳ab	۰/۰۵±۰/۰۰b
۷۵٪ پساب	۱/۹۹±۰/۲۸bc	۰/۵±۰/۰۲cd	۰/۳±۰/۰۲bc	۰/۰۴±۰/۰۱b
۱۰۰٪ پساب	۱/۶۸±۰/۱۸c	۰/۵±۰/۰۵d	۰/۲±۰/۰۲c	۰/۰۴±۰/۰۰b

اعداد دارای حداقل یک حرف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

Sharma و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که آبیاری زمین های زراعی با پساب می تواند موجب تجمع فلزات سنگین در خاک و گیاهان شود (۶۰). Hajihashemi و همکاران (۲۰۲۰) بیان کردند که کاهش رشد گندم های آبیاری شده با پساب می تواند ناشی از انتقال فلزات سنگین به برگ ها و تاثیر بر فتوسنتز باشد (۳۴). Daifi و همکاران (۲۰۱۵) در گوجه فرنگی های آبیاری شده با پساب کاهش رشد را مشاهده کردند (۳۰). چهرگانی و همکاران (۱۳۹۶) نیز بیان کردند که طول ساقه و ریشه، ارتفاع گیاه و سطح برگ گیاه اطلسی با افزایش غلظت سرب کاهش بیشتری می یابد(۷). صوفیان و همکاران (۱۳۹۸) دریافتند که در عدسک آبی با افزایش غلظت فلز سنگینی مانند کادمیوم، کاهش رشد چشمگیری رخ می دهد(۱۲). Ghani (۲۰۱۰) گزارش کرد که کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه ذرت به دلیل اثر سمیت فلزات سنگین در غلظت های بالا بر ساختار و عمل سلول است (۳۳). براساس مطالعات Daud و همکاران (۲۰۰۹) در دو رقم پنبه کاهش رشد اندام هوایی ممکن است نتیجه کاهش فتوسنتز در رویارویی با آلودگی فلزات سنگین باشد (۳۱). Akhtar و همکاران (۲۰۱۷) نیز در آبیاری دو رقم گوجه فرنگی به این نتیجه رسیدند که در هر دو رقم با افزایش تعداد دفعات آبیاری با پساب، از طریق کاهش هدایت روزنه ای و فتوسنتز، وزن خشک اندام هوایی و ریشه کاهش بیشتری نشان می دهد (۲۳).

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر گیاه شنبلیله برای همه فلزات سنگین مورد مطالعه طرد کننده این عناصر محسوب می شود زیرا مقادیر آنها در ریشه بیش از اندام هوایی است و سعی نموده است تا از انتقال مقادیر بالای این فلزات به اندام هوایی ممانعت نماید. از طرف دیگر در مورد کروم و روی می تواند یک گیاه بیش اندوز نیز به شمار آید زیرا ضمن اندوختن این عناصر به مقادیر بیشتر در ریشه نسبت به اندام هوایی، باعث کاهش آنها در خاک نیز شده است. بطورکلی می توان گفت این گیاه جهت پالایش این دو فلز سنگین از خاک مناسب تر می باشد.

منابع

۱- اروندی، س.، کامیاب مقدس، ر. ۱۳۷۹ . یکی از راهکارهای مهم مقابله باکم آبی استفاده بهینه از فاضلاب شهری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله باکم آبی و خشکسالی ۱ :۵۵-۶۴.

۲- اسکندری، س.، یادگاری، م.، ایرانی پور، ر. ۱۳۹۰. بررسی میزان تجمع کادمیوم و سرب درگیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis*). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی. ۴۷: ۹۲-۷۶.

۳- بهمنیار م، شهابی ع، بحرالعلومی م ج.۱۳۸۴ . تأثیر آبیاری با پساب شهری و صنعتی استان مازندران بر تجمع برخی از عناصر سنگین درگیاهان برنج و اسفناج. مجموعه مقالاتن همین کنگره علوم خاک ایران. صفحات ۴۸۱-۴۸۳.

۴- پرنیان ا.، چرم م.، جعفرزاده حقیقی فرد، ن.، دیناروند، م. ۱۳۹۰. گیاه پالایی نیکل از محیط هیدروپونیک به کمک علف شاخی (*Ceratophyllum demersum* L.). مجله علوم و فنون کشت گلخانه ای ۶: ۸۴-۷۵.

۵- تجریشی، م. ۱۳۷۷. نگرشی جدید و جامع به مشکل فاضلاب شهر تهران. مجله آب و فاضلاب ۲۸ : ۳۷-۳۰.

۶- تقربیان، م.، پوزش، و.، خورشیدی، م. ۱۳۹۴. اثر نیکل بر شاخصهای رشد، محتوی رنگیزه های فتوسنتزی، پروتئین، قندهای محلول، پرولین و میزان انباشتگی نیکل در گیاه گشنیز. نشریه تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی ۲: ۷۴-۵۹.

۷- چهرگانی راد، ع.، فرزان، س.، شیرخانی، ز.۱۳۹۶. مطالعه اثر تیمار سرب بر برخی شاخص های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه اطلسی (*Petunia hybrid* L.). مجله پژوهش های گیاهی ۱: ۵۷-۴۷.

۸- رضاخانی، ل.، گلچین، ا.، شفیعی، س. ۱۳۹۱. تأثیر سطوح مختلف مس و کادمیم بر رشد و نمو و ترکیب شیمیایی اسفناج، مجله زراعت و اصلاح نباتات ۱:۱۰۰-۸۷.

۹- رنگ زن، ن.، پاینده، خ.، لندی، ا. ۱۳۸۵ . بررسی کیفیت پساب بر انباشت عناصر سنگین در دو گیاه سورگوم و شبدر. همایش خاک، محیط زیست و توسعه پایدار ۱۶۱-۱۶۲.

۱۰- شریفی، م.، افیونی، م.، خوشگفتارمنش، ا.ح. ۱۳۸۹. تاثیر لجن فاضلاب، کمپوست زباله شهری و کود گاوی بر رشد و عملکرد و جذب آهن، روی، منگنز و نیکل در گل جعفری. مجله علوم و فنون کشت گلخانه ای ۲: ۵۳-۴۳.

۱۱- شهاب پور، ج. ۱۳۸۰. زمین‌شناسی اقتصاد. انتشارات دانشگاه کرمان.

۱۲- صوفیان، ج.، گلچین، ا.، مرادی، ص.، جهانبان، ل.، غیرتی آرانی، ل. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر کادمیوم و شوری بر رشد و غلظت عناصر غذایی عدسک آبی(*Lemna minor* L.). مجله پژوهش های گیاهی ۳: ۵۹۵-۵۸۲.

۱۳- طلاقت، م. ر، کریمی، ز. ۱۳۹۸. حذف یون نیکل از پساب پالایشگاه نفت توسط گیاه سنبل آبی.دومین کنفرانس فرایندهای گاز و پتروشیمی. دانشگاه بجنورد.

۱۴- عرفانی، ع.، حق نیا، غ.، علیزاده، ا. ۱۳۸۱. تأثیر آبیاری با فاضلاب بر عملکرد و کیفیت کاهو و برخی ویژگی‌های خاک، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱: ۷۱-۹۰.

۱۵- عرفانی آگاه، ع. ۱۳۷۸. بررسی کارایی فاضلابهای تصفیه شده خانگی. مجموعه مقالات همایش جنبه های زیست محیطی استفاده از پسابها درآبیاری . کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران . ۲۸: ۸۰-۶۱.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

۱۶- عسگری لجایر، ح.، ب متشرع زاده، ب.، ثواقبی فیروزآبادی، غ. ر.، هادیان، ج. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد مس و روی بر غلظت و جذب عناصر غذایی کم مصرف (مس، روی، آهن و منگنز) و پرمصرف (فسفر) در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) در شرایط گلخانه ای. علوم و فنون کشت های گلخانه ای ۱۹:۱۱۱-۹۵.

۱۷- علیزاده، م.، فتحی، ف.، ترابیان، ع. ۱۳۸۷. بررسی مقدارتجمع فلزات سنگین در گیاهان علوفه ای تحت آبیاری با فاضلاب در جنوب تهران. مطالعه موردی: ذرت و یونجه. مجلهٔ محیط شناسی ۴۸: ۱۴۸-۱۳۷.

۱۸- ملاحسینی، ح.، هراتی، م.، اکبری، ن.، حریری، ت.، عبادی، ب.، فوقی، و.، بغوری، ا. ۱۳۸۴ . تجمع فلزات سنگین در اندام‌های ذرت علوفه‌ای تحت آبیاری با فاضلاب. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، تهران.

۱۹- نجبائی، س. آ.، قاجار سپانلو، م.، بهمنیار، م. ع. ۱۳۹۶. بررسی غلظت سرب و کروم در برگ گیاهان جعفری و شاهی در خاک آبیاری شده با آب آلوده. نشریه پژوهش آب در کشاورزی ۱۹۴:۲-۱۸۱.

۲۰- وارسته خانلری، ز.، جلالی، م. ۱۳۸۴. روی و سرب در اثر کاربرد آب فاضلاب در خاک، حرکت کادمیوم. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران ۴۳۲ – ۴۳۳.

۲۱- هودجی، م.، جلالیان، ا. ۱۳۸۳ . پراکنش آهن، روی و سرب در خاک و محصولات کشاورزی در منطقه استقرار مجتمع فولاد مبارکه. مجله محیط شناسی ۳۶ : ۲۶-۱۵.

22- Abhilash, M.R., Srikantaswamy, S., Shiva Kumar, D., Jagadish, K. 2016. Phytoremediation of heavy metals in urban wastewater irrigated soil by using selected crop species in, Mysuru, Karanataka, India. International Journal of Advanced Research 10:175-181.

23- Akhtar, A., Boutraa, T., Khaliq Al-Shoaibi. 2017. The influence of Al- madiah Al – munawwara treated and untreated domestic wastewater on growth and physiology of three tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) genotypes. Pakistan Journal of Botany 3:879-890.

24- Akpor, O.B., Ohiobor, G.O., Olaolu, T.D. 2014. Heavy metal pollutants in wastewater effluents: Sources, effects and remediation. Advances in Bioscience and Bioengineering 4:37-43.

25- Al-Lahham, O., El Assi N.M., M., Fayyad. M. 2007. Translocation of heavy metals to tomato (*Solanum lycopersicom* L.) fruit irrigated with treated wastewater. Scientia Horticulturae 113: 250-254.

26- AOA. 1990. Official methods of analysis. 14th edition. Association of analytical chemists, Washington, DC.

27- Ashfaque, F., Inam, A., Sahay, S., Iqbal, S. 2016. Influence of heavy metals toxicity on plant growth metabolism and its alleviation by phytoremediation – A promising technology. Journal of Agriculture and Ecology Research International 2:1-19.

28- Brady, N.C., Weil, R.R. 2002. The nature and properties of soil. 13th edition, Springer Netherlands.

29- Cosgorove, W.J, Loucks, D.P. 2015. Water management: Current of future challenges and research direction. Water Resources Research 6: 4823-4839.

30- Daifi, H., Alemad, A., Khadmaoui, A., El Hadi, M., El Kharrim, Kh., Belghyti, D. 2015. Effect of purified industrial wastewater on the growth of tomato plant (*Lycopersicon esculentum*). International Journal of Pure and Applied Bioscience 4:57-64.

31- Daud, M., Variath, M., Ali, S., Najeeb, U., Jamil, M., Hayat, Y., Cheema, S. A. 2009. Cadmium-induced ultramorphological and physiological changes in leaves of two transgenic cotton cultivars and their wild relative. Journal of Hazardous Materials 2-3: 614-625.

32- El Zabalawy, M.Kh., Abou-Shleel, M.S., Abdel-Kareem, S.M. 2015. Effect of marine on bio-accumulation of heavy metals from polluted soil by some leafy vegetables. National Sciences 3:109-116.

33- Ghani, A., 2010. Toxic effects of heavy metals on plant growth and metal accumulation in maize (*Zea mays* L.). Iranian Journal of Toxicology 3:325-334.

34- Hajihashemi, Sh., Mbarki, S., Skalicky, M., Noedoost, F., Raeisi, M., Brestic, M. 2020. Effect of wastewater irrigation on photosynthesis, growth, and anatomical features of two wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Water 2:607-622.

35- Hatamian, M., Rezaie Nejad, A., Kafi, M., Souri, M.K., Shahbazi, K. 2018. Interactions of lead and nitrate on growth characteristics of

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

ornamental judas tree (*Cercis siliquastrum*). Open Agriculture 3: 386-392.

36- Hegazi, H.A. 2013. Removal of heavy metals from wastewater using agricultural and industrial wastes as adsorbents. Housing and Building National Research Center Journal 3: 276-282.

37- Hussain, A., Priyadarshi, M., Shashikant, D.ubey. 2019. Experimental study on accumulation of heavy metals in vegetables irrigated with treated wastewater. Applied Water Science 9:121-131.

38- Kafil, M., Boroomand Nasab, S., Moazed, H., Bhatnagar, A. 2019. Phytoremediation potential of vetiver grass irrigated with wastewater for treatment of metal contaminated soil. International Journal of Phytoremediation 2: 92-100.

39- Kalavrouziotis, I.K., Robolas, P., Koukoulakis, P., Kostakioti, E. 2012. Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro- and micro-elements status of soil and of *Brassica oleracea* var. Italica, and *B. oleracea* var. Gemmifera. Agriculture and Water Management 95: 419-426.

40- Karpiscak, M.M., Gerba, C.P., Watt, P.M., Foster, K.E., Falabi, J.A.1996. Multi-species plant systems for wastewater quality improvement and habitat enhancement. International association on water quality. Water Science and Technology 33: 231-236.

41- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y.M., Huang, Y.Z., Zhu, Y.G. 2008. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution 152:686-692.

42- Kiziloglu, F.M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., Dursun, A. 2008. Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica olerecea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica olerecea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey. Agriculture and Water Management 95: 716 -724.

43- Klay, S., Charef, A., Ayed, A., Houman, B., Rezgu, F. 2010. Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaoulit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). Desalination 253: 180-187.

44- Krstić, B., Stanković, D., Igić, R., Nikolic, N. 2007. The Potential of Different Plant Species for nickel accumulation. Biotechnology and Biotechnological Equipment 4:431-436.

45- Kumar, V., Kumar Chopra, A. 2013. Distribution, enrichment and accumulation of heavy metals in soil and *Trigonella foenum-graecum* L. (fenugreek) after fertigation with paper Mill effluent. Open Journal of Metal 3: 8-20.

46- Larchevêque, M., Ballini, C., Korboulewsky, N., Montès, N. 2006. The use of compost in afforestation of mediterranean areas: Effects on soil properties and young tree seedlings. Science of the Total Environment 369: 220-230.

47- MacFarlane, G.R., Burchett, M.D. 2002. Toxicity, growth and accumulation relationships of copper, lead and zinc in the Grey Mangrove *Avicennia marina* (Forsk.) Veirh. Marine Environmental Research 1:65-84.

48- Manisha, P., Angoorbala, B. 2013. Effect of sewage on growth parameters and chlorophyll content of *Trigonella foenumgraecum* (Methi**).** International Research Journal of Environment Sciences 9:5-9.

49- Marchiol, L., Assolari, S., Sacco, P., Zerbi, G. 2004. Phytoextraction of heavy metals by canola and radish grown on multicontaminated soil. Journal of Environmental Pollution 132:21-27.

50- Marzougui, N., Trad-Rais, M., Guasmi, F., Oukhay, M., Rejeb, S. 2018. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology 12: 84-91.

51- Mireles, A., Solis, C., Andras, E., Lagunas-Solar, M., Pina, C., Flocchini, R.G. 2004. Heavy metal accumulation in plant and soil irrigated with wastewater from Mexico City, Nuclear Instrument and Methods in Physics Reaserch 220:187-190.

52- Murtaza, G., Ghafoor, A., Qadir, M. 2008. Accumulation and implication of cadmium, cobalt and manganese in sohls and vegetable irrigated with city effluent. Journal of Sciences Food Agriculture 88:100-107.

53- Nagajyoti, P. C., Lee, K. D., & Sreekanth, T. V. M. 2010. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: A review. Environmental Chemistry Letters 8: 199–216.

54- Parveen, T., Hussain, A., Rao, S. 2015. Growth and accumulation of heavy metals in turnip (*Brassica rapa*) irrigated with different concentrations of treated municipal wastewater. Hydrology Research 1:60–71.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

55- Pulford, I.D., Watson, C., Mcgregor, S.D. 2001. Uptake of chromium by trees: prospects for phytoremediation. Environmental Geochemistry and Health 23: 307-311.

56- Rafati, M., Khorasani, N., Moattar, F., Shirvany, A., Moraghebi, F., Hosseinzadeh, S. 2011. Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromuim and nickel Absorption from polluted soil. International Journal of Environment Research 4:961-970.

57- Rattan, R.K., Datta, S.P., Chhonkar, P.K., Suribabu, K., Singh, A.K. 2005. Long term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater-A case study. Agriculture. Ecosystems and Environment 109: 310-322.

58- Sharifan, H.R., Davari,A. 2010. Bioaccumulation and distribution of heavy metals in gray mangrove (*Avicennia marina*): Case study of the tropical areas of persian gulf, world food system, tropentag. A Contribution from Europe September 14-16. Zurich.

59- Sharma, R.K., Agrawal, M., Marshall, F. 2007. Heavy metal contamination, of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi. India Ecotoxicology and Environmental Safety 66: 258-266.

60- Sharma, A., Kaur Katnoria, J., Kaur Nagpal, A. 2016. Heavy metals in vegetables: screening health risks involved in cultivation along wastewater drain and irrigating with wastewater. Springer Plus 5:488-503.

61- Singh, R.P., Agrawal, M. 2008. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. Waste Management 28: 347-358.

62- Souri, M.K. 2016. Aminochelate fertilizers: the new approach to the old problem; a review. Open Agriculture 1: 118-123.

63- Souri, M.K., Alipanahi, N., Hatamian, M., Ahmadi, M. and Tesfamariam, T. 2018. Elemental profile of heavy metals in garden cress, coriander, lettuce and spinach, commonly cultivated in kahrizak, south of tehran-iran. Open Agriculture 3: 32-37.

64- Tabari, M., Salehi, A., Ali-Arab, A.R. 2008. Effects of wastewater application on heavy metals (Mn, Fe, Cr and Cd) contamination in a black locust stand in semi-arid zone of Iran. Research Journal of Environmental Science 7: 382-388.

65- Topal, M., Topal, E.I.A. 2020. Phytoremediation of priority substrates (Pb and Ni) by *Phragmatis australis* exposed to poultry slaughterhouse wastewater. International journal of phytoremediation 2:92-100.

DOR: 20.1001.1.23832592.1401.35.2.11.7

Effect of irrigation with municipal wastewater treatment plant effluent on heavy metals uptake by fenugreek (*Trigonella Foenum graceum* L.)

Fazeli F.* and Eyni H.

Dept. of Biological Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, I.R. of Iran.

Abstract

In order to investigate of different levels of south Tehran wastewater treatment plant irrigation on fenugreek phytoremediation potential, a completely randomized design with 5 treatments (0%, 25%, 50%, 75% and 100% wastewater) and 3 replicates carried out in a greenhouse experiment. Results showed that soil chrome, copper, iron, nickel and zinc contents increased with the increase of wastewater irrigation levels. Besides, with the increase of wastewater level only iron in shoots increased and all of the heavy metals roots content decreased. Furthermore, the content of chromium, iron and zinc in roots were higher than in shoots and the content of these metals in roots higher than in soil. Soil copper and nickel contents were higher than roots and the content of these heavy metals were higher than shoots. Also, shoots and roots fresh and dry weights were decreased with the increase of wastewater levels. Therefore, it seems that fenugreek can effect on reducing chromium and zinc in soil, without transfer large amount of them to shoots.

Key words: Urban wastewater, Heavy metals, Fenugreek