دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

قابلیت گیاه‌پالایی منگنز و کروم موجود در پساب تصفیه‌خانه توسط نهال‌های ارغوان، توت سفید، زیتون تلخ و سرو خمره‌ای

بهاره سلاح ورزی[۱]، حمید جلیلوند[۲]، سید محمد حجتی[۳] و محمدرضا پورمجیدیان[۴]

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: hj_458_hj@yahoo.com)
۳- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۵
صفحه ۱۴۷ تا ۱۵۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: امروزه شهرهای بزرگ به دلیل آلودگی هوا نیازمند فضای سبز بیشتری هستند که با توجه به کمبود آب در شهرهایی که در مناطق خشک واقع شده‌اند جهت آبیاری فضای سبز باید به منابع نامتعارف مانند پساب‌ها روی آورد؛ امّا با توجه به آلودگی‌های موجود در این منابع، باید از گونه‌هایی با قابلیت گیاه‌پالایی بالا استفاده کرد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق نهال‌های دوساله چهار گونه ارغوان، توت سفید، زیتون تلخ و سرو خمره‌ای در گلدان‌هایی کاشته شدند. نهال‌ها با پساب تصفیه‌خانه آب غرب تهران که حاوی منگنز و کروم بود، از اسفند ۹۵ تا مهر ۹۶ آبیاری شدند.

یافته‌ها: مقدار کروم و منگنز در اندام‌های گونه‌های آبیاری شده با پساب نسبت به آب معمولی افزایش معنی‌داری نشان داد؛ امّا هر چهار گونه آبیاری شده با پساب تصفیه‌خانه رشد و نمو یکسانی در مقایسه با گونه‌های آبیاری شده با آب معمولی داشتند. بیشترین مقدار منگنز در برگ و کروم در ریشه هر چهار گونه بود. ضریب تجمع زیستی کمتر از یک، برای منگنز در هر چهار گونه نشان داد که قابلیت انباشت این عنصر را ندارند؛ امّا هر چهار گونه ارغوان (۱/۸۷)، توت (۲/۰۷)، سروخمره‌ای (۱/۹۶) و زیتون تلخ (۱/۸۳) با داشتن فاکتور انتقال بیشتر از یک، برای برداشت منگنز مناسب هستند؛ هر چند به‌دلیل این‌که ضریب تجمع زیستی در آنها کمتر از یک است، نیاز به بررسی بیشتر وجود دارد. توت سفید و زیتون تلخ با ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال کمتر از یک، برای کروم مشخص شد که هیچ‌یک برای انباشت و برداشت کروم مناسب نیستند؛ ولی ارغوان (۱/۳۹) و سرو خمره‌ای (۱/۰۴) با ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک، قابلیت انباشت کروم در ریشه‌ها را دارند.

نتیجه‌گیری: می‌توان نتیجه گرفت که ارغوان و سرو خمره‌ای هم توان انباشت کروم و هم توان برداشت منگنز را دارند و گونه‌های بهتری برای گیاه‌پالایی این دو عنصر در خاک آبیاری شده با پساب هستند. نتایج این پژوهش مؤید آن است که استفاده مجدد از پساب این تصفیه‌خانه با توجه به عدم کاهش پارامترهای رشد هر چهار گونه، می‌تواند راه‌کار مناسبی برای جبران کمبود آب در تهران باشد؛ ولی بررسی‌های بیشتر و پایش شرایط به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گونه‌ها برای پالایش فلزات سنگین و همچنین اثرات طولانی مدت آبیاری با پساب الزامی است.

واژه‌های کلیدی: انباشت گیاهی، برداشت گیاهی، ضریب تجمع زیستی، فاکتور انتقال، فلزات سنگین، کمبود آب

مقدمه

در کشورهای مدیترانه‌ای تقاضا برای منابع محدود آب به طور مداوم افزایش می‌یابد؛ بنابراین در این منطقه و سایر مناطق خشک جهان به‌منظور مقابله با کمبود آب، پساب منبعی ارزشمند برای استفاده مجدد در آبیاری در نظر گرفته می‌شود (۳۸). اگر چه استفاده از پساب می‌تواند مکمل‌های تغذیه‌ای که اثر مطلوبی بر تولید و رشد گیاهان دارد را نیز فراهم کند؛ امّا با تخریب ساختمان خاک و داشتن آلودگی‌های خطرناکی مانند فلزات سنگین کیفیّت خاک را تغییر می‌دهد (۱۰). غلظت بالای فلزات سنگین در محیط بر سلامت بشر اثرات شدید گذاشته و افزایش غلظت آنها با ایجاد تغییرات در فرآیند های طبیعی موجب اختلال در عملکرد بوم‌سامانه‌ها می‌شود (۱۸،۵۰). یافتن روش‌های مناسب برای سازگاری وکاهش خطر و اثرات منفی ناشی از این عناصر سمی در محیط زیست بسیار مهم است. یکی از ابزارهای حفاظتی، روش‌های زیستی مانند گیاه‌پالایی است. این روش که از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه است، راه‌حلی با تأثیر بلند مدت پس از فراهم کردن شرایط بنیادی و اجرای کامل است که از منظر زیبایی محیط هم اهمیت بسزایی دارد (۳۷). انتخاب گیاهان مناسب یعنی آنها که مقاوم‌ترند، تحت شرایط محیطی آلوده قادر به زنده ماندن و رشد بیشتر هستند، به طور موثر عناصر سمّی را در بافت‌های خود ذخیره می‌کنند و تولید زی‌توده بیشتری دارند. در حقیقت هنوز گونه‌های درختی که به دلیل طول عمر بیشتر نسبت به گونه‌های علفی در فرایند طولانی تصفیه محیط از آلودگی موثرترند، به‌طور کامل و صحیح شناخته نشده‌اند (۱۴،۵۳). بنابراین انتخاب مناسب یعنی گونه‌هایی با سیستم ریشه‌ای توسعه یافته و قابلیت تبخیر و تعرق بالا برای تثبیت فلزات و یا استخراج آن‌ها در موفقیت فرآیند گیاه‌پالایی موضوعی حیاتی است (۴۲،۵۳). در تهران روزانه صدها لیتر فاضلاب خانگی و صنعتی و حتی بیمارستانی رها می‌شود که به آب‌های زیرزمینی نفوذ می‌کند. از طرفی گسترش بی‌رویه شهر و آلودگی هوای آن باعث افزایش نیاز به فضای سبز بیشتر می شود. از آنجایی که کمبود آب عامل محدودکننده ایجاد فضای سبز است، لذا می‌توان از ۸۰ درصد آب مصرفی شهروندان تهران که به پساب تبدیل می‌شود، برای توسعه نهال‌کاری و ایجاد کمربند جنگلی و گذر از بحران خشک‌سالی استفاده کرد (۳۲). یکی از انواع پساب‌های موجود در تهران پساب تصفیه‌خانه‌های آب شرب است. تاکنون مطالعاتی در خصوص واکنش درختان گوناگون از جمله انواع بلوط، انواع کاج، اقاقیا، راش، صنوبر، بید، توس، توسکا، چنار و زبان گنجشگ نسبت به غلظت‌های مختلف فلزات سنگین در خاک و آب انجام شده است

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

(۱۷،۳۵،۳۶،۴۲،۵۰). همچنین تأثیر انواع مختلف پساب‌های صنعتی، شهری و خانگی بر خاک و گیاهان تحت آبیاری بررسی شده است (۸،۲۰،۴۸،۴۹)، امّا تحقیقات بسیار کمی در مورد اثر پساب تصفیه‌خانه‌های آب بر درختان و درختچه‌های بومی و مورد استفاده در کشور انجام شده است (۴۵). این درحالی‌است که بررسی ابتدایی عناصر موجود در این نوع پساب به لحاظ فلزات سنگین و عناصر تغذیه‌ای نشان می‌دهد که این پساب نسبت به سایر پساب‌های صنعتی و خانگی به حدود مجاز برای استفاده در آبیاری فضای سبز غیر مثمر نزدیک‌تر است (۴۵، ۲۳). به‌نظر می‌رسد با یک پیش‌تصفیه و کاهش مقدار فلزات سنگین می‌توان از این پساب برای آبیاری فضای سبز غیر مثمر استفاده کرد.

از این‌رو هدف این تحقیق تعیین اثرات پساب تصفیه‌خانه آب شرب غرب تهران که تا کنون تحقیقی بر روی آن انجام نشده است بر رشد و پالایش (انباشت و برداشت) منگنز و کروم توسط نهال‌های دوساله چهار گونه درختی ارغوان، توت سفید، زیتون تلخ و سرو خمره‌ای، بود. در این مطالعه فرضیه‌های زیر مورد توجه قرار گرفت: ۱- آبیاری با پساب موجب کاهش پارامترهای رشد نهال‌ها نمی‌شود. ۲- تعدادی از گونه‌های مورد مطالعه در گیاه‌پالایی منگنز و کروم مؤثر هستند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محل پیاده‌سازی تحقیق مجاور تصفیه‌خانه آب شرب غرب تهران که تأمین کننده آب شرب منطقه غرب تهران است و در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی در ارتفاع ۱۳۳۰ متری بالاتر از سطح دریا با میانگین بارندگی سالیانه ۴۶۰/۱ میلی متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد قرار داشت. در این منطقه با اقلیم خشک (طبق روش هم‌اقلیم سیلیانینف) تیرماه با میانگین دمای ۳۳/۶ درجه سانتی‌گراد گرم‌ترین و دی‌ماه با میانگین دمای ۱/۱- درجه سانتی‌گراد سردترین ماه‌های سال هستند (۳۴). آب ورودی به تصفیه‌خانه غرب با دبی هشت متر مکعب در ثانیه که از رودخانه کرج تأمین و به‌صورت شیمیایی باکلرورفریک تصفیه می‌شود. پس از تصفیه آب ورودی با انجام فرآیندهای تصفیه، این آب تبدیل به آب شرب شده وارد شبکه می‌شود که در مراحل مختلف فرآیند تصفیه از شامل زلال سازی انعقاد و فیلتراسیون یا عبور از صافی‌ها علاوه بر تولید آب شرب، پسابی هم تولید و در حوضچه‌هایی تخلیه می‌شود که حاوی ناخالصی‌هایی از جمله فلزات سنگین است و روزانه معادل ۱۹۰۰۰ تا ۲۲۰۰۰ متر مکعب است (۵۱).

روش انجام تحقیق

برای انجام این تحقیق تعدادی از نهال‌های هم‌اندازه و سالم دوساله گونه‌هایی که در فضای سبز شهری تهران متداول و یا نیاز آبی کمتری دارند و در سال‌های اخیر بیشتر مورد اقبال هستند، شامل ارغوان (*Cercis siliquastrum* L)، توت سفید (*Morus alba* L)، زیتون تلخ (*Melia azedarach* L) و سرو خمره‌ای (*Thuja orientalis* L.) از نهالستان بزرگ کرج زیر نظر سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه و پس از اندازه‌گیری ابعاد اولیه در گلدان‌های سه لیتری که با خاک غیر آلوده و معمولی نهالستان پر شده بودند، در اسفند ۹۶ در محلی در مجاورت تصفیه‌خانه غرب تهران در ردیف‌هایی شامل سه تکرار بیست‌تایی برای هر نوع آب (پساب و آب معمولی) مستقر شدند. هر دو ماه یک‌بار ارتفاع و قطر یقه نهال‌ها و در انتهای فصل رویش مقدار زی‌توده تر و خشک برگ، ساقه و ریشه نهال‌ها اندازه‌گیری شد (۳۰،۴۵). نمونه‌های آب (پساب و آب معمولی) هر ماه از فروردین تا مهر ۹۶ از تصفیه‌خانه فراهم شد که شامل نه نمونه پساب و نه نمونه آب معمولی در هر ماه (سه روز در ماه و هر روز سه نمونه در سه ساعت بین هفت صبح تا یک بعد از ظهر برای تهیه نمونه‌های ترکیبی از هر روز) بود (۴۹). بنابراین از ابتدا تا پایان فصل رویش ۱۰۸ نمونه آب شامل پساب و آب معمولی تهیه شد. نمونه‌های خاک در پایان فصل رویش از خاک محل ریشه در عمق صفر-۱۵سانتی‌متری جمع‌آوری شدند که برای هر گونه (ارغوان، توت، سرو خمره‌ای و زیتون تلخ) از هر نوع آب، در هر تکرار یک نمونه به صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب شد و در کیسه پلاستیکی به آزمایشگاه منتقل شد. همچنین برای چهار گونه ارغوان، توت، سرو خمره ای و زیتون تلخ از دو نوع آب پساب و آب معمولی در هر تکرار یک نهال به صورت تصادفی سیستماتیک انتخاب شد و پس از جداسازی بخش‌های مختلف به آزمایشگاه منتقل شد.

روش‌های آزمایشگاهی

در این تحقیق واکنش (pH) و هدایت الکتریکی (EC) نمونه‌های آب در محل جمع‌آوری اندازه‌گیری، سپس با رساندن pH نمونه‌ها به کمتر از دو، (با افزودن یک میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب) نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد برای جلوگیری از میکروبی شدن نگهداری شدند (۲). سپس نیترات نمونه‌های آب با روش نیتراتاسیون اسید سالیسیلیک با دستگاه اسپکتروفتومتر (۴۱)، فسفات با روش کالری‌متری با استفاده از کلرید استانو با دستگاه اسپکتروفتومتر، پتاسیم به روش فلیم فتومتر (۱۲) و فلزات سنگین نمونه‌های آب نیز با جذب اتمی با شعله (۲) اندازه‌گیری شدند. همچنین، در آزمایشگاه تجمع عناصری مانند نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزم، کلسیم، منگنز و کروم در نمونه‌های خاک و در اندام‌های مختلف نهال شامل: ریشه، ساقه و برگ در پایان فصل رویش قبل از خزان اندازه‌گیری شد. پس از انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه ابتدا در هوای آزاد و سپس در آون در دمای ۴۰ درجه سانتی-گراد خشک شده و در نهایت پس از خرد شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. واکنش (pH) نمونه‌های خاک از روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر و هدایت الکتریکی (EC) با دستگاه هدایت‌سنج (۴۴)، کربن آلی خاک به روش تیتراسیون با تغییر رنگ ارتوفنانترولین (روش والکی و بلاک) اندازه‌گیری شد. نیتروژن موجود در خاک با استفاده از روش تیتراسیون بعد از مراحل هضم و تقطیر در سیستم کجلدال (۲۷)، فسفر خاک به روش اولسن با دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم خاک از روش عصاره‌گیری با استات

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

آمونیوم یک مولار با pH =۷ اندازه‌گیری شد (۴). به منظور اندازه‌گیری غلظت کلسیم، منیزیم، منگنز و کروم در نمونه‌های خاک تهیه شده، از روش استخراج با بافر EDTA استفاده و در نهایت از محلول استخراج شده برای اندازه‌گیری فلزات با دستگاه جذب اتمی استفاده شد (۳۹). اندام‌های مختلف گیاه برای محاسبه زی‌توده تر توزین و در آون در دمای ۷۰ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت خشک و در نهایت قسمت‌های مختلف گیاه توزین و زی‌توده خشک محاسبه شد (۲۴). هر یک ار اندام‌های گیاه به طور جداگانه آسیاب و از الک استیل ۵۰۰ میکرومتری عبور داده و عمل هضم انجام شد (۲۶). برای تعیین غلظت منگنز و کروم اندام‌های گیاهی، ابتدا نمونه‌ها هضم اسیدی و در نهایت غلظت فلزات نمونه‌های گیاهی با دستگاه جذب اتمی خوانده شد (۳۹).

روش محاسبه ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال

ضریب تجمع زیستی (BCF) (Bioconcentration factor) و فاکتور انتقال (TF) (Translocation factor)، مشخص کننده توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات سنگین در اندام‌ها است که این پارامترها با استفاده از نسبت غلظت فلز در ریشه بر مقدار فلز در خاک (ضریب تجمع زیستی ریشه)، غلظت فلز در اندام‌های هوایی تقسیم بر مقدار فلز در خاک (ضریب تجمع زیستی اندام‌های هوایی) و غلظت فلز در اندام‌های هوایی تقسیم بر غلظت فلز در ریشه (فاکتور انتقال) با روابط زیر محاسبه شد (۱۵).

رابطه (۱) =ضریب تجمع زیستی ریشه(BCF)
غلظت فلز در خاک /غلظت فلز در ریشه

رابطه (۲) =ضریب تجمع زیستی اندام هوایی(BCF)
غلظت فلز در خاک /غلظت فلز در اندام هوایی

رابطه (۳) = فاکتور انتقال(TF)
غلظت فلز در ریشه /غلظت فلز در اندام هوایی

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای اکسل و SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون شاپیرو–ویلک انجام، سپس همگنی واریانس گروه‌ها، با آزمون لون بررسی شد. آزمایش فاکتوریل با دو فاکتور گونه (ارغوان، توت، زیتون تلخ و سرو خمره‌ای؛ در چهار سطح)، نوع آب آبیاری (پساب و آب معمولی (شاهد)، در دو سطح) و با سه تکرار مساوی بیست‌تایی (میانگین) در قالب طرح کاملاً تصادفی پیاده شد. برای انجام مقایسه میانگین‌های پارامترهای رشد از آزمون مقایسه گروهی میانگین‌های SNK استفاده شد. برای داده‌های غیر نرمال از انواع تبدیل‌ها برحسب نوع پارامترها، استفاده شد. برای داده‌هایی که نرمال نشدند از آزمون‌های ناپارامتری یا آزاد توزیع از قبیل کروسکال والیس استفاده شد.

نتایج و بحث

آب

نتایج تجزیه آب و پساب مورد استفاده برای آبیاری که در جدول ۱ ارائه شده نشان داد که واکنش، هدایت الکتریکی و مقادیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، منگنز و کروم در پساب تصفیه‌خانه به‌طور معناداری ($p<0.01$) نسبت به مقادیر آن‌ها در آب معمولی بالاتر است و به‌طور میانگین میزان منگنز ۱۳/۵ برابر و کروم ۲/۵ برابر در پساب نسبت به آب معمولی بیشتر است. امّا مقدار کلسیم در پساب و آب معمولی تفاوت معناداری نداشت (جدول ۱و۲). استفاده از پساب برای آبیاری دارای مزایایی از قبیل بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است؛ چراکه افزودن پساب به خاک به دلیل غنی بودن از عناصر تغذیه‌ای و مواد آلی مشابه یک کود یا تقویت کننده ارگانیک عمل کرده و موجب افزایش غلظت مواد مغذی و حاصل‌خیزی خاک می‌شود (۱۶) هرچندکه آبیاری با پساب در کنار این امتیاز، موجب تجمع فلزات سمّی در خاک می‌شود و همین موضوع استفاده از آن را برای آبیاری محصولات کشاورزی و درختان مثمر محدود می‌کند؛ امّا استفاده آز این نوع آب برای آبیاری فضای سبز شهری گزینه مناسبی است (۱۶،۳).

جدول ۱- میانگین (± اشتباه معیار) ویژگی‌های شیمیایی پساب تصفیه‌خانه غرب تهران و آب معمولی

Table 1. Chemical characteristics of water treatment plant effluent and ordinary water (mean ±SE)

متغیر	آب معمولی	پساب غرب تهران	EPA USA	WHO
واکنش	۸/۱۶±۰/۰۰۳^{b}	۸/۲۲±۰/۰۰۳^{a}	۶/۵–۸/۵	۶/۵–۸/۵
هدایت‌الکتریکی(دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۳۲±۰/۰۰۱^{b}	۰/۳۳±۰/۰۰۱^{a}	۳/۰۰	۳/۰۰
نیتروژن (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۲۱±۰/۰۰۱^{b}	۲/۲۳±۰/۰۰۳^{a}		
فسفر (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۴۷±۰/۰۰۳^{b}	۴/۴۸±۰/۰۰۳^{a}		
پتاسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۲/۱۲±۰/۰۰۲^{b}	۳/۱۸±۰/۰۰۲^{a}		
منیزیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۱۱/۴۵±۰/۰۰۵^{b}	۱۶/۴۱±۰/۰۰۳^{a}	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
کلسیم (میلی‌گرم بر لیتر)	۴۹/۷۷±۰/۰۰۴^{a}	۵۹/۴۳±۰/۰۰۴^{a}	۷۵/۰۰	۷۵/۰۰
منگنز (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۶±۰/۰۰۲^{b}	۰/۸۱±۰/۰۰۵^{a}	۰/۲۰	۱/۰۰
کروم (میلی‌گرم بر لیتر)	۰/۰۲±۰/۰۰۱^{b}	۰/۰۴±۰/۰۰۲^{a}	۰/۱۰	۰/۰۵

EPA USA: آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا، WHO: سازمان بهداشت جهانی (۲۳) استاندارد های تعیین حدود مجاز عناصر برای مصارف شرب. حروف متفاوت انگلیسی (a و b) در ستون‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنادار ($p<0.01$) میانگین ویژگی شیمیایی است.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

جدول ۲- تجزیه واریانس مشخصه‌های شیمیایی آب و خاک پس از آبیاری با پساب و آب معمولی
Table 2. Analysis of variance of chemical characteristics of water and soil after irrigation with effluent and ordinary water

آب

منبع	درجه	واکنش	هدایت	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	کلسیم	منیزیم	منگنز	کروم
آب	۱	۲۱۷/۷۶ **	۶۳/۲۸ **	۴۵۳۶۶۱۷ **	۹۳۲۹۱۲ **	۹۵۴۳۲/۶ **	۳۲۴۲۹۵۸ **	۶۳۹۰۹۶ **	۱۷۷۲/۸ **	۱۶۲/۳۴ **

خاک

منبع منبع تغییرات	درجه آزادی	واکنش مقدار F	هدایت الکتریکی مقدار F	کربن آلی مقدار F	نیتروژن مقدار F	فسفر مقدار F	پتاسیم مقدار F	کلسیم مقدار F	منیزیم مقدار F	منگنز مقدار F	کروم مقدار F
گونه	۳	۱۱/۱۴ **	۱۴/۸۱ **	۵۳/۶۳ **	۲۱/۲۷ **	۶/۴۹ **	۹/۳۰ **	۱۱۰/۲۸ **	۴۶/۶۴ **	۹۰/۰۸ **	۵۱/۳۹ **
آب	۱	۲۲/۷۶ **	۶۳/۲۸ **	۱/۱۵ ns	۴۸/۳۷ **	۹۳/۲۹ **	۹۵/۶ **	۳۲/۲۴ **	۶۳/۹۱ **	۱۷/۷۳ **	۱۶/۲۳ **
گونه×آب	۳	۰/۲۱ ns	۰/۴۰ ns	۰/۲۲ ns	۰/۱۴ ns	۰/۱۴ ns	۰/۰۳ ns	۰/۲۱ ns	۰/۱۷ ns	۰/۲۹ ns	۶/۶۳ **

ns: نبود معنی‌داری، **: معنی‌دار در سطح یک درصد

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های شیمیایی خاک پیش از آبیاری و پس از هفت ماه آبیاری با آب معمولی و پساب (میانگین ± اشتباه معیار)
Table 3. Comparison of mean soil chemical properties before irrigation and after seven months of irrigation with ordinary water and effluent (mean ±SE)

متغیر	نمونه خاک پیش از آبیاری	نمونه خاک آبیاری شده با آب معمولی	نمونه خاک آبیاری شده با پساب	متغیر	نمونه خاک پیش از آبیاری	نمونه خاک آبیاری شده با آب معمولی	نمونه خاک آبیاری شده با پساب
واکنش	۷/۹۵	۸/۱۷ a ±۰/۰۲	۸/۲۱ a ±۰/۰۲	هدایت الکتریکی	۰/۸۲	۱/۰۴ a ±۰/۰۹	۱/۱۱ a ±۰/۰۷
مواد آلی	۱/۲۱	۱/۳۳ a ±۰/۱۸	۱/۴۵ a ±۰/۱۹	منیزیم	۱۰۰/۱۱	۱۶۴/۰۱ b ±۱۰/۰۶	۱۹۲/۸۸ a ±۹/۱۵
نیتروژن	۰/۰۹	۰/۱۱ a ±۰/۰	۰/۱۱ a ±۰/۰	کلسیم	۸۵۰/۹۰	۱۰۲۸/۴۰ b ±۱۰۷/۲۳	۱۵۰۱/۷۵ a ±۱۱۶/۵۳
فسفر	۲۷/۲۳	۲۸/۳۳ a ±۰/۸۵	۳۰/۵۰ a ±۱/۱۹	منگنز	۳۴۶/۰۹	۴۳۵/۷۳ b ±۱۴/۲۴	۵۷۸/۴۸ a ±۱۴/۴۵
پتاسیم	۲۵۵/۰۰	۲۶۵/۱۰ a ±۱۵/۳۸	۲۷۸/۲۳ a ±۱۶/۳۵	کروم	۲۳/۵۰	۳۱/۰۲ b ±۰/۵۵	۳۶/۹۴ a ±۰/۶۸

حروف متفاوت انگلیسی (a و b) در ستون ها نشان دهنده تفاوت معنی‌دار $p<0.05$ میانگین ویژگی شیمیایی است؛ مواد آلی و نیتروژن (درصد)، هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) بقیه (میلی‌گرم برکیلوگرم)

خاک

نتایج مربوط به بررسی نمونه‌های خاک قبل و بعد از آبیاری نشان داد که ۲۳۰ روز آبیاری با پساب در لایه سطحی خاک (۰-۱۵) سانتی‌متر، افزایش معنادار ($p<0.01$) منیزیم، کلسیم، منگنز و کروم را در مقایسه با خاک آبیاری شده با آب معمولی به‌همراه داشت. درحالی‌که واکنش، هدایت الکتریکی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و مواد آلی در خاک آبیاری شده با هر دو نوع آب تفاوت معناداری نداشتند. دویست و سی روز آبیاری با پساب تصفیه خانه غرب تهران موجب افزایش۳۲/۷۶ درصدی منگنز و ۱۹/۰۸ درصدی کروم در خاک آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب معمولی شد (جدول۲ و ۳). اما میزان هیچ‌یک از این عناصر به حد سمیّت خاک که توسط سالاردینی (۴۳) تعیین شده بود (منگنز ۰/۲گرم بر کیلوگرم و کروم ۰/۵ گرم بر کیلوگرم) نرسید. کروم از حد مجاز تعیین شده برای خاک توسط کاباتا پندیاس (۲۹)، (۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) کمتر، امّا منگنز از حد مجاز تعیین شده توسط یو اس ای پی اِی (۵۲) (۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بیشتر بود. به‌طور کلی انباشت فلزات سنگین در خاک در پی کاربرد پساب به عوامل متعددی از قبیل غلظت فلزات، زمان استفاده از پساب و ویژگی‌های خاک از قبیل pH، بافت و مواد آلی بستگی دارد و از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند (۲۱).

مشخصه‌های رشد نهال

بر اساس نتایجی که در شکل ۱ آورده شده آبیاری با پساب و آب معمولی تا ۲۳۰ روز تفاوت معناداری در ارتفاع، رویش ارتفاعی، قطر برابر سینه، رویش قطری، وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه هر چهار گونه، آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب معمولی نشان نداد و فقط قطر برابر سینه و رویش قطری زیتون تلخ آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب معمولی افزایش معنادار داشت ($p<0.05$). همچنین رویش ارتفاعی ($p<0.01$) و رویش قطری ($p<0.05$) سروخمره‌ای آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب معمولی افزایش معنادار نشان داد (جدول ۴). شواهد بسیاری در مورد افزایش، کاهش و یکسان بودن مؤلفه‌های رشد پس از استفاده از پساب برای آبیاری گیاهان وجود دارد (۲۲). مشابه نتایج این تحقیق که در اکثر مشخصه‌ها، رشد و نمو یکسانی برای هر چهار گونه مشاهده شد، در مطالعات گوناگون رشد و نمو بهتر گیاهان چوبی در پی استفاده از پساب و لجن آن برای آبیاری و کوددهی گزارش شده که می‌توان به تحقیق بوریوگ و همکاران (۱۳) در مورد افزایش رشد گونه *Larix decidua* و مطالعات هوانگ و همکاران (۲۵) در خصوص بهبود رشد گونه *Paeonia suffruticosa* اشاره کرد. پساب موجب بهبود ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک در شهرها که دارای خاکی ضعیف، سخت و تخریب شده در نتیجه توسعه ناپایدار هستند، می‌شود (۵۶). پساب علاوه بر افزایش غلظت مواد مغذی خاک در بهبود تراکم، تخلخل، ظرفیت نگهداری آب و تنظیم pH خاک نقش مهمی دارد که مجموع این عوامل تأثیر بسزایی در جذب مواد غذایی و افزایش رشد طیف گسترده‌ای از گیاهان دارد (۱۱،۵۵).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

جدول ۴- تجزیه واریانس مشخصه‌های رویشی گونه‌ها پس از آبیاری با پساب و آب معمولی

Table 4. Analysis of variance of species increment properties after irrigation with effluent and ordinary water

گونه	ارتفاع مقدار F	رویش ارتفاعی	قطر مقدار F	رویش قطری	وزن تر برگ	وزن تر ساقه	وزن تر ریشه	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	وزن خشک ریشه
ارغوان	۰/۲۳^{ns}	۰/۳۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۳۲^{ns}	۱/۳۹^{ns}	۲/۵۹^{ns}	۱/۲۵^{ns}	۲/۹۳^{ns}	۳/۱۰^{ns}	۱/۷۰^{ns}
توت	۰/۴۳^{ns}	۰/۲۲^{ns}	۲/۱۴^{ns}	۱/۸۰^{ns}	۰/۶۴^{ns}	۰/۰۹^{ns}	۰/۱۹^{ns}	۶/۵۰^{ns}	۰/۵۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}
زیتون	۰/۱۸^{ns}	۰/۰۶^{ns}	۱۱/۴۵*	۹/۱۶*	۱/۰۴^{ns}	۰/۰۴^{ns}	۰/۷۸^{ns}	۲/۵۱^{ns}	۰/۲۶^{ns}	۰/۳۰^{ns}
سرو	۲/۹۵^{ns}	۲۸/۱۲**	۵/۹۳^{ns}	۱۲/۷۳*	۰/۳۴^{ns}	۰/۰۷^{ns}	۶/۳۲^{ns}	۰/۲۹^{ns}	۰/۲۳^{ns}	۱/۴۴^{ns}

ns: نبود معنی‌داری؛ *: معنی‌دار در سطح پنج درصد و **: معنی‌دار در سطح یک درصد

تجمع فلزات سنگین در اندام‌های نهال‌ها

دویست و سی روز، آبیاری با پساب تصفیه‌خانه، منجر به تفاوت معنادار در تجمع غلظت فلزات سنگین در اندام‌های مختلف نهال‌ها شد؛ به‌طوری‌که برگ، ساقه و ریشه نهال‌های آبیاری شده با پساب حاوی مقادیر بالاتر منگنز و کروم بود ($p<0.01$) (جدول ۵) و (شکل ۱و۲). مقادیر منگنز و کروم نیز در بین گونه‌های مختلف نیز تفاوت نشان داد ($p<0.01$) (جدول ۵) و (شکل ۳). بیشترین غلظت منگنز (۱۴۱/۷۵±۱۰/۲۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم در برگ زیتون تلخ مشاهده شد که این مقدار با غلظت این عنصر در برگ سه گونه دیگر، تفاوت معنادار داشت ($p<0.01$) و به‌ترتیب ۱/۱۷، ۱/۲۳ و ۱/۵۲ برابر بیشتر از مقدار این عنصر در برگ توت سفید، ارغوان و سرو خمره‌ای بود. بیشترین غلظت کروم (۴۸/۸۷±۰/۰۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ریشه ارغوان مشاهده شد که این مقدار با غلظت این عنصر در ریشه سه گونه دیگر، تفاوت معناداری داشت ($p<0.01$) و به‌ترتیب ۱/۲۵، ۱/۶۷ و دو برابر بیشتر از مقدار کروم در ریشه سرو خمره‌ای، توت سفید و زیتون تلخ بود .افزایش معنادار فلزات سنگین در اندام‌های نهال‌ها ممکن است به‌دلیل افزایش آن‌ها در خاک به‌دنبال آبیاری با پساب باشد (۳۳). در همین راستا مادجون (۳۱) و بدبیبز و همکاران (۹) روی و منگنز را در برگ درختان زیتون و بلوط آبیاری شده با پساب مشاهده کردند. در حالی‌که البزیدی و همکاران (۳) تفاوت معناداری در غلظت منگنز و کروم در برگ درختان نخل آبیاری شده با پساب تشخیص ندادند.

جدول ۵- تجزیه واریانس فلزات سنگین در چهار گونه پس از آبیاری با پساب و آب معمولی

Table 5. Analysis of heavy metal variance in species after irrigation with effluent and ordinary water

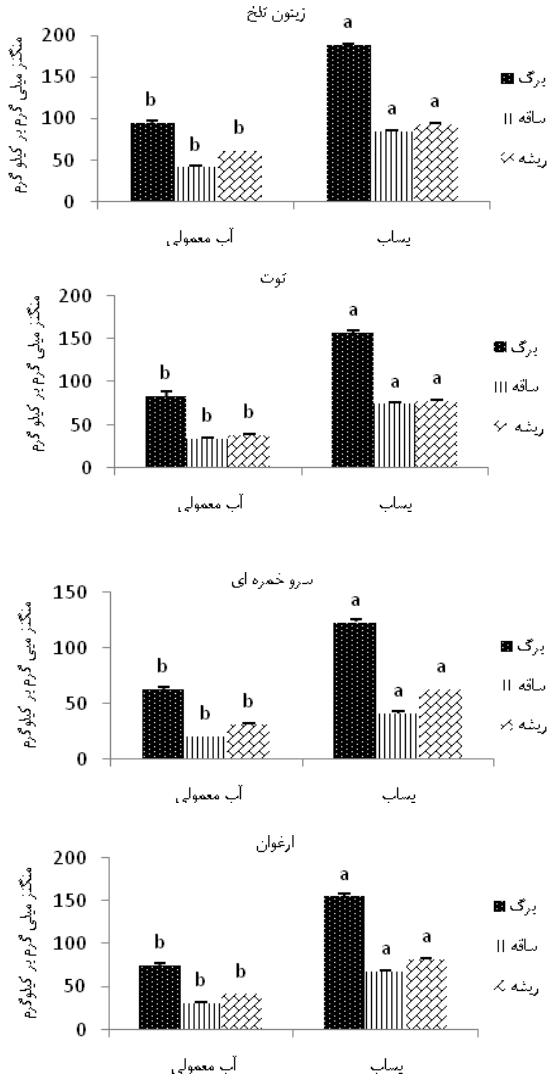
متغیرها	منبع تغییرات	ارغوان مقدار F	توت مقدار F	زیتون تلخ مقدار F	سروخمره‌ای مقدار F	منبع تغییرات	آب معمولی مقدار F	پساب مقدار F
کروم برگ	آب	۱۰۹/۵۳**	۳۴/۵۸**	۱۷۲/۷۸**	۴۴/۳۴**	گونه	۹۸/۳۸**	۱۶۰/۰۴**
کروم ساقه	آب	۵۰/۱۳**	۴۹/۶۳**	۱۲/۸۷**	۶۵/۷۲**	گونه	۱۴/۰۹**	۱۹/۸۳**
کروم ریشه	آب	۲۰۰۷/۳۴**	۴۲/۱۸**	۲۳۸/۴۸**	۱۵۹/۷۵**	گونه	۴۱۷/۲۰**	۱۲۷۴/۶۰**
منگنز برگ	آب	۵۱۱/۵۶**	۱۵۴/۸۸**	۶۲۰/۲۹**	۴۰۶/۱۱**	گونه	۱۵/۴۶**	۱۲۳/۴۲**
منگنز ساقه	آب	۷۲۶/۵۶**	۴۳۲/۴۷**	۷۰۱/۱۹**	۱۸۰/۵۳**	گونه	۶۳/۰۰**	۲۲۸/۱۵**
منگنز ریشه	آب	۸۱۵/۸۲**	۱۱۷۸/۰۸**	۲۷۲/۵۹**	۱۳۹۳/۸۵**	گونه	۳۳۲/۵۶**	۱۰۲/۸۸**

**: در سطح یک درصد معنی‌دار است. مقدار $F=t^2$ در مقایسه آب معمولی و پساب

غلظت منگنز در برگ هر چهار گونه نسبت به سایر اندام‌ها بیشتر بود و به‌ترتیب در برگ زیتون تلخ، توت سفید، ارغوان و سرو خمره‌ای مقادیر بالاتری داشت. بطور کلی، عناصر غیر ضروری و سمی برای گیاهان مانند سرب بیشتر در ریشه تجمع دارد که می‌توان آن را یک راه‌کار تدافعی گیاهان دانست. در عین حال عناصر ضروری مانند منگنز و روی که در فرایند فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌ها نقش عمده ایفا می‌کنند بیشتر در بخش‌های هوایی گیاه مانند برگ و ساقه تجمع دارند (۵). در این راستا تحقیقات دسای و همکاران (۱۷) حاکی از آن بود که برگ *Betula pendula* نسبت به *Alnus glutinosa* مقادیر بیشتری منگنز جذب می‌کند. همچنین صبا و همکاران (۴۲) در مطالعات‌شان بر روی گیاه‌پالایی عناصر مختلف در منطقه صنعتی زنجان دریافتند که برگ *Populus nigra* بهترین جذب منگنز را در میان هشت گونه بومی دارد. همچنین الوارز و همکاران (۶) بیان کردند که تجمع منگنز در اندام‌های درختان متفاوت است و تجمع آن در برگ *Frangula alnus* حدود چهار برابر و در برگ *Quercus robur* و *Salix atrocinerea* حدود سه برابر شاخه است و به‌طور کلی میزان تجمع منگنز در *Frangula alnus* نسبت به دو گونه دیگر بیشتر است. تجمع بیشتر منگنز در برگ‌های پیر و در حال خزان نسبت به برگ‌های سبز آبیاری شده با پساب در گونه سرو نقره‌ای نشان دهنده مکانیسم دفاعی برای خروج مقادیر بیش از حد این عنصر است. به‌طور کلی ممکن است ترکیب شیمیایی اجزای

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

گیاهان، منعکس‌کننده ترکیب شیمیایی خاکی است که در آن رشد می‌کنند و آبی که با آن آبیاری شده‌اند. امّا این ارتباط توسط عوامل مختلف و پیچیده دیگری از جمله عوامل محیطی، مانند ویژگی‌های خاک از نظر واکنش، میزان مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل عناصر و همچنین نوع گونه‌ها کنترل می‌شود. به هر حال تصور تعیین یک الگوی خاص برای جذب عناصر توسط گونه‌های گیاهی مختلف غیر ممکن است چرا که این فرایند پیچیده تنها با یک عامل کنترل نمی‌شود (۲۰). بر اساس گزارش کاباتا پندیاس و پندیاس (۲۸) غلظت ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم محدوده سمّی و غلظت ۲۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم محدوده قابل قبول منگنز برای گیاهان است. سالاردینی (۴۳) حد بحرانی را ۲۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و سازمان بهداشت جهانی (۵۴) حد مجاز منگنز در گیاهان را ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم دانسته است. مقدار منگنز در نمونه‌های مختلف اندام‌های هر چهار گونه بر اساس استاندارد سازمان بهداشت جهانی بالاتر از حد مجاز و بر اساس سایر استانداردهای مذکور پایین‌تر از محدوده سمّی در گیاهان است.



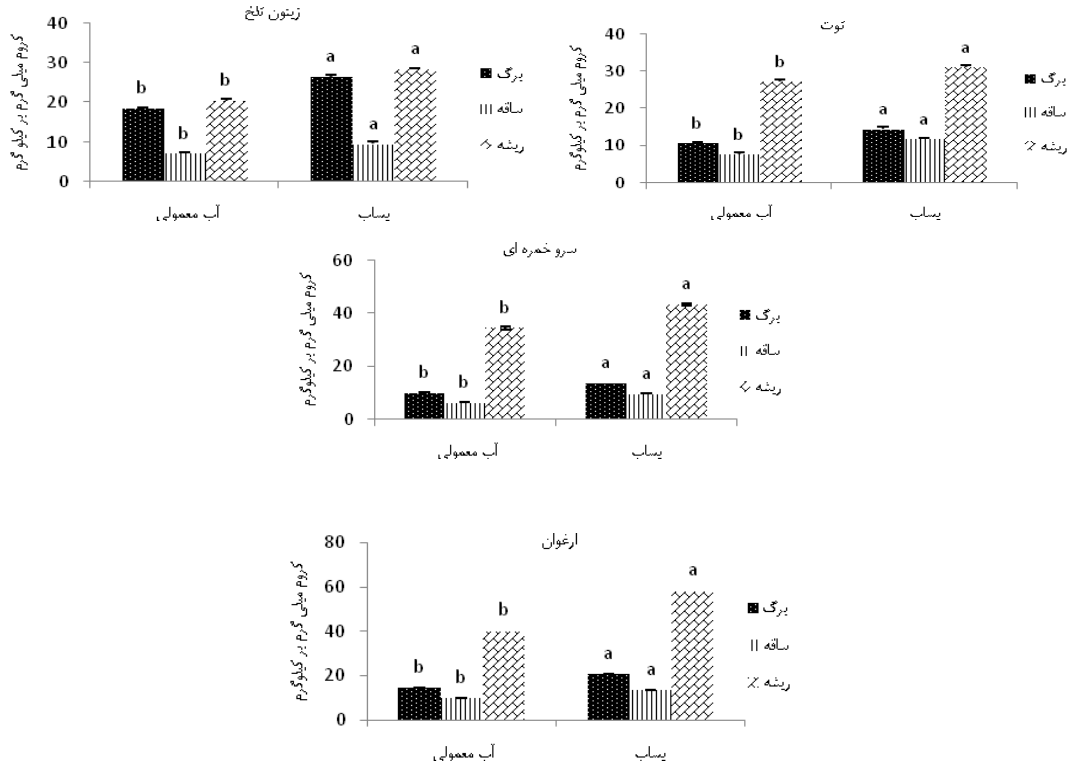
شکل ۱- مقایسه غلظت منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ، ساقه و ریشه نهال‌های آبیاری شده با پساب و آب معمولی حروف متفاوت انگلیسی (a و b) در ستون‌های هم الگو نشان دهنده تفاوت معنادار $p<0.01$ میانگین ویژگی شیمیایی است.

Figur 1. Comparison of Content of manganese (mg kg−1) in the leaves, stems, and roots of seedlings growing under two types of water irrigation; ordinary water and water treatment plant effluent. Different superscripts (a and b) in the same pattern column indicate significant differences ($p< 0.01$)

غلظت کروم در ریشه هر چهار گونه نسبت به ساقه و برگ بیشتر بود و به‌ترتیب در ریشه ارغوان، سرو خمره‌ای، توت سفید و زیتون تلخ بیشترین مقادیر را داشت. کروم یک عنصر غیر ضروری و سمی برای گیاهان است؛ بنابراین گیاهان مکانیسم خاصی برای جذب و انتقال این عنصر ندارند. ریشه‌ها معمولاً حاوی مقادیر بیشتری از فلزات سمّی مانند کروم نسبت به قسمت‌های هوایی گیاه هستند، که احتمالاً یک مکانیسم مقابله با سمّیت عناصر در گیاهان از طریق

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

توقف فلزات در واکوئل‌های سلول‌های ریشه است (۴۷). مشابه با نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، شاه و همکاران (۴۶) بیشترین انباشت کروم را در ریشه اوکالیپتوس ثبت کردند. همچنین تجمع بیشتر کروم در ریشه‌های توت سفید نسبت به شاخه‌ها در پی آبیاری با مخلوط کمپوست فاضلاب شهری و پساب‌های باغی همانند این تحقیق توسط سی و همکاران (۴۸) مشاهده شد. با این حال رفعتی و همکاران (۴۰) بالاترین غلظت کروم را در برگ‌های صنوبر و توت سفید مشاهده کردند و آن را نوعی مکانیسم تدافعی در فرایند گیاه‌پالایی برای خروج مقادیر اضافی این عنصر سمّی در پایان فصل رویش تفسیرکردند. همچنین این محققان با ثبت انباشت بیشتر این فلز در برگ‌های *P. alba* نسبت به برگ‌های *M. alba* تفاوت عملکرد گونه‌ها را در جذب فلزات سنگین مانند تحقیق حاضر تأیید کردند. اشفق و همکاران (۷) هم بر خلاف نتایج بدست آمده در این تحقیق در بررسی چرخه کروم در خاک، توت سفید و کرم ابریشم این عنصر را فقط در برگ توت سفید مشاهده کردند. همچنین صبا و همکاران (۴۲) برگ سرو نقره‌ای را دارای بهترین جذب کروم در میان هشت گونه بومی در منطقه صنعتی زنجان معرفی کردند که بهترین جذب کروم توسط برگ مغایر با نتایج این تحقیق است؛ امّا تفاوت گونه‌ها در جذب این عنصر تأییدی بر نتایج این تحقیق است. تحقیقات بتارسه و همکاران (۸) نیز نشان داد که با وجود این‌که غلظت کروم در پساب بسیار کم بود، باز هم مقدار قابل توجهی از این عنصر در برگ درختان زیتون و مقدار نسبتاً کمتری از آن در میوه دیده شد. درحالی که با وجود غلظت بالای عناصری مانند نیکل و سرب در پساب مقدار جزیی از این دو عنصر در برگ و میوه زیتون مشاهده شد؛ که این موضوع اگر چه بر خلاف نتایج تحقیقات ما است امّا فرضیه جذب انتخابی عناصر توسط درختان را تأیید می‌کند. محدوده مجاز کروم در گیاهان ۵ تا ۱۰ و محدوده سمی ۱۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۲۸). با این حال اتحادیه اروپا (۱۹) مقدار مجاز این عنصر برای گیاهان را ۲/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم عنوان کرد. بنابراین مطابق هر دو استاندارد مقدار کروم در اندام‌های مختلف گونه‌های مورد آزمایش در این تحقیق که بین ۸/۷۳ تا ۵۸/۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود، در محدوده سمّی برای گیاهان است.



شکل ۲- مقایسه غلظت کروم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ، ساقه و ریشه نهال‌های آبیاری شده با پساب و آب معمولی حروف متفاوت انگلیسی (a و b) در ستون‌های هم الگو نشان دهنده تفاوت معنادار $p<0.01$ میانگین ویژگی شیمیایی است

Figur 2. Comparison of Content of chromium (mg kg−1) in the leaves, stems, and roots of seedlings growing under two types of water irrigation; ordinary water and water treatment plant effluent. Different superscripts (a and b) in the same pattern column indicate significant differences ($p< 0.01$)

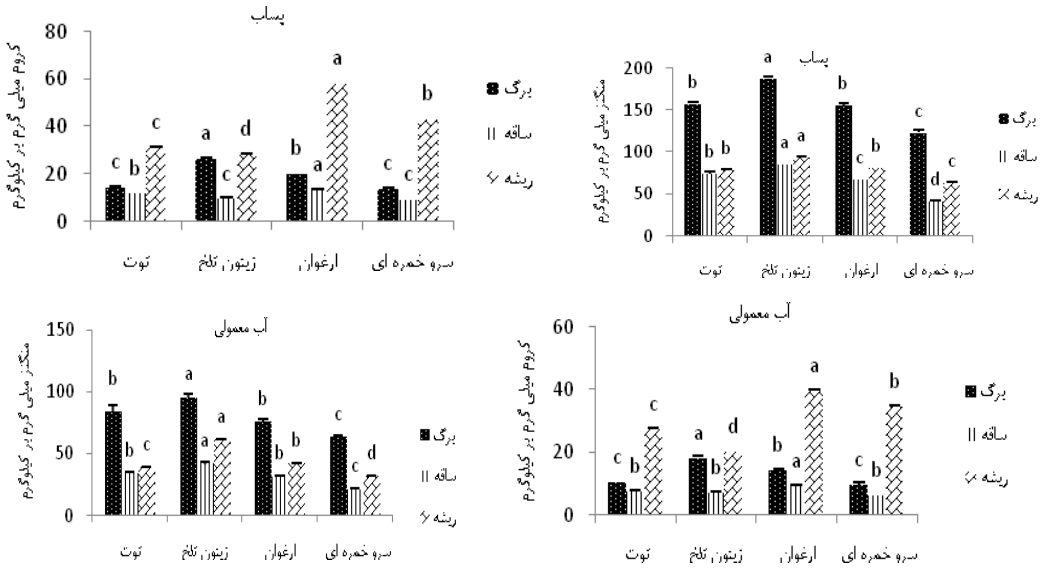
گیاه‌پالایی

بیشترین مقدار ضریب تجمع زیستی منگنز در برگ (۰/۳۲) و ساقه (۰/۱۴) توت سفید و بیشترین مقدار این ضریب برای منگنز در ریشه زیتون تلخ (۰/۱۶) مشاهده شد. بیشترین مقدار فاکتور انتقال برای منگنز در برگ (۲/۰۷) و در ساقه (۰/۹۳) در توت سفید دیده شد (جدول ۳). بیشترین

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

ضریب تجمع زیستی برای کروم در برگ زیتون تلخ (۰/۷۶)، ساقه (۰/۳۲) و ریشه (۱/۳۹) ارغوان مشاهده شد. بیشترین مقدار فاکتور انتقال کروم در برگ (۰/۹۲) و ساقه (۰/۳۴) زیتون تلخ مشاهده شد (جدول ۶).ضریب تجمع زیستی ریشه برای منگنز در هر چهار گونه کمتر از یک و به‌ترتیب در زیتون تلخ، توت سفید، ارغوان و سرو خمره‌ای بیشتر بود. امّا میزان فاکتور انتقال برگ برای منگنز در هر چهار گونه بیشتر از یک و به‌ترتیب در توت سفید، سرو خمره‌ای، ارغوان و زیتون تلخ بیشتر بود. در این راستا عباسلو و بختیاری (۱) اعلام کردند که ضریب تجمع زیستی منگنز در هر دو گونه اوکالیپتوس و عرعر در تمام تیمارها کمتر از یک و فاکتور انتقال در برخی تیمارها بیشتر از یک بود. بنابراین می‌توان گفت گونه‌های مورد مطالعه ما در فرایند برداشت منگنز مشابه اوکالیپتوس و عرعر عمل می‌کنند. افزون‌برآن، مولچک و همکاران (۳۵) نیز ضریب تجمع زیستی کمتر از یک و فاکتور انتقال بیشتر از یک برای منگنز را در گونه بید (*Salix viminalis*) مشاهده و همانند نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر دلیل آن را غلظت بالای این عنصر در خاک و انتقال مؤثر منگنز از ریشه به برگ بید مشابه گونه‌های مورد مطالعه ما عنوان کردند. مولچک و همکاران (۳۶) در مطالعات دیگری، در نهال‌های نمدار (*Tilia cordata*) مقدار ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقالِ بیشتر از یک را ثبت کردند که با نتایج ما مغایر بود؛ بنابراین تشابهی در رفتار گیاه پالایی منگنز توسط نمدار و گونه‌های این تحقیق وجود ندارد، امّا در نارون (*Ulmus laevis*) ضریب تجمع زیستی کمتر از یک و فاکتور انتقال بیشتر از یک را برای منگنز تشخیص دادند. بنابراین گیاه‌پالایی منگنز در نارون مشابه عملکرد چهار گونه مورد مطالعه ما در برداشت منگنز است. به این ترتیب هیچ یک از این چهار گونه برای تثبیت منگنز مناسب نیستند؛ امّا هر چهار گونه با داشتن فاکتور انتقالِ بیشتر از یک برای برداشت منگنز مناسب هستند، هر چند که به دلیل این‌که ضریب تجمع زیستی برگ در آنها کمتر از یک است، بررسی‌های بیشتر ضروری است.

ضریب تجمع زیستی ریشه برای کروم به ترتیب در ارغوان، سرو خمره‌ای، توت سفید و زیتون تلخ بیشتر بود؛ ولی فقط در ارغوان و سرو خمره‌ای بیشتر از یک بود. میزان فاکتور انتقال برای این عنصر به ترتیب در زیتون تلخ، توت سفید، ارغوان و سرو خمره‌ای بیشتر بود؛ امّا در هر چهار گونه کمتر از یک بود. سی و همکاران (۴۸) در بررسی اثرات مخلوط فاضلاب شهری و پساب باغی بر توت سفید ضریب تجمع زیستی کمتر از یک را برای کروم در این گونه مشاهده کردند. رفعتی و همکاران (۴۰) نیز مشاهده کردند که ضریب تجمع زیستی کروم در توت سفید و صنوبر کمتر از یک و فاکتور انتقال بیشتر از یک بود. در تحقیق حاضر توت سفید و زیتون تلخ مشابه مطالعات پیشین با ضریب تجمع زیستی کمتر از یک برای انباشت کروم و فاکتور انتقال کمتر از یک برای برداشت این عنصر و انتقال به شاخه‌ها و برگ‌ها مناسب نیستند. امّا گونه‌های ارغوان و سرو خمره‌ای بر خلاف تحقیقات قبل دارای ضریب تجمع زیستی بالاتر از یک و فاکتور انتقال کمتر از یک برای کروم هستند؛ بنابراین این دو گونه دارای قابلیت انباشت کروم و فاقد توان برداشت آن هستند.



شکل ۳- مقایسه غلظت کروم و منگنز (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در برگ، ساقه و ریشه نهال‌های توت سفید، زیتون تلخ، ارغوان و سرو خمره‌ای آبیاری شده با آب معمولی و پساب حروف متفاوت انگلیسی (a و b) در ستون هم الگو نشان دهنده تفاوت معنادار $p<0.01$ میانگین ویژگی شیمیایی است

Figur 3. Comparison of Content of manganese and chromium (mg kg−1) in the root, stem, and leaves of four tree species *M. alba*, *M. azedarach*, *C. siliquastrum* and *T. orientalis* seedlings growing under ordinary water and water treatment plant effluent Different superscripts (a and b) in the same color column indicate significant differences ($p < 0.01$)

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

جدول ۶- ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال منگنز و کروم در نهال‌های گونه‌های (توت سفید، زیتون تلخ، ارغوان و سرو خمره‌ای)

Table 6. Bioconcentration factor (BCF) and translocation factor (TF) values for manganese and chromiumin in four tree species *M. alba*, *M. azedarach*, *C. siliquastrum* and *T. orientalis* seedlings

گونه		توت سفید				زیتون تلخ				ارغوان				سرو خمره‌ای		
اندام		برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه
منگنز	BCF	۰/۳۲	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۸
	TF	۲/۰۷	۰/۹۳	–	۱/۸۳	۰/۸۲	–	۱/۸۷	۰/۸۰	–	۱/۹۶	۰/۶۶	–
کروم	BCF	۰/۳۸	۰/۲۹	۰/۸۷	۰/۷۶	۰/۲۸	۰/۸۳	۰/۴۹	۰/۳۲	۱/۳۹	۰/۳۱	۰/۲۱	۱/۰۴
	TF	۰/۴۳	۰/۳۳	–	۰/۹۲	۰/۳۴	–	۰/۳۵	۰/۲۳	–	۰/۳۰	۰/۲۰	–

BCF: bioconcentration factor، ضریب تجمع زیستی و TF:translocation factor ، فاکتور انتقال

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این تحقیق، هر چهار گونه توان سازگاری و رشد مناسب با مقادیر بالای منگنز و کروم در آب و خاک را دارند و گونه‌های نسبتاً مناسبی برای برداشت منگنز هستند. گونه‌های ارغوان و سرو خمره‌ای با ضریب تجمع زیستی بیشتر از یک توان انباشت کروم را در ریشه‌های خود دارند و برای گیاه‌پالایی این عنصر مناسب هستند؛ امّا توت سفید و زیتون تلخ با داشتن ضریب تجمع زیستی و فاکتور انتقال کمتر از یک توان انباشت و برداشت کروم را ندارند؛ بنابراین برای گیاه‌پالایی این عنصر عملکرد مناسبی نداشتند. در نتیجه می‌توان گفت ارغوان و سرو خمره‌ای که هم توان انباشت کروم و هم توان برداشت منگنز را دارند گونه‌های مناسبی برای گیاه‌پالایی این دو عنصر در خاک آبیاری شده با پساب هستند. به همین دلیل انتخاب گونه مناسب نقش کلیدی در پروسه گیاه‌پالایی فلزات سنگین موجود در پساب دارد. از طرف دیگر آبیاری نهال‌ها با پساب تصفیه‌خانه غرب تهران منجر به افزایش حاصل‌خیزی خاک و رشد و نمو یکسان نهال‌ها با آبیاری معمولی شد. بنابراین می‌توان گفت مدیریت صحیح آبیاری از طریق نظارت مداوم خاک، بررسی رشد و نمو و انتخاب گونه‌های مناسب برای افزایش کارایی گیاه پالایی برای اطمینان از استفاده طولانی مدت، بی خطر و موفق پساب ضرورتی غیر قابل انکار است.

منابع

1. Abbaslou, H. and S. Bakhtiari. 2017. Phytoremediation potential of heavy metals by two native pasture plants (*Eucalyptus grandis* and *ailanthus altissima*) assisted with AMF and fibrous minerals in contaminated mining regions. Pollution, 3(3): 471-486.
2. Aghabarati, A. 2006. Effect of irrigation with municipal effluent on soil chemical characteristics and growth of Olive (*Olea europaea*) in Rey Town green Space M.Sc. thesis. Department of forestry. College of natural resources and marine sciences. Tarbiat Modares University, 100 pp (In Persian).
3. Al-Busaidi, A., R. Al-Yahyai and M. Ahmed. 2015. Heavy metal concentrations in soils and Date Palms irrigated by groundwater and treated wastewater. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 52(1): 129-134.
4. Aliehyaei, M. and A.A. Behbahanizadeh. 1993. Descriptions of methods for soil chemical analysis (Vol. I). No. 893. Soil and Water Research Institute. Agricultural Research, Extension and Education Organization. Ministry of Agriculture, 116 pp (In Persian).
5. Alloway, B.J. 2013. Heavy metals in soils. Trace metals and metalloids in soil and their bioavailability. 3rd Edition. Soil Research Center, Department of Geography and Environmental Science, School of Human and Environmental Science, University of Reading Whiteknights, Reading, UK. 613 pp.
6. A´ lvarez, E., M.L. Ferna´ndez Marcos, C. Vaamonde and M.J. Ferna´ndez-Sanjurjo. 2003. Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and in the spontaneously occurring vegetation. Science of the Total Environment, 313: 185-197.
7. Ashfaq, M., S. Ahmad, M. Sagheer, M.A. Hanif, S.K. Abbas and M. Yasir. 2012. Bioaccumulation of chromium (III) in silkworm (*Bombyx mori* L.) in relation to mulberry, soil and wastewater metal concentrations The Journal of Animal & Plant Sciences, 22(3): 627-634.
8. Batarseh, M.I., A. Rawajfeh, K.K. Ioannis and K.H. Prodromos. 2011. Treated municipal wastewater irrigation impact on Olive Trees (*Olea Europaea* L.) at Al-Tafilah, Jordan. Water Air &Soil Pollution, 217: 185-196.
9. Bedbabis, S., G. Ferrara, B.B. Rouina and M. Boukhris. 2010. Effects of irrigation with treated wastewater on olive tree growth, yield and leaf mineral elements at short term. Scientia Horticulturae, 126: 345-350.
10. Belaida, N., C. Neel, J.F. Lenain, R. Buzier, M. Kallel, T. Ayoub, A. Ayadi and M. Bauduc. 2012. Assessment of metal accumulation in calcareous soil and forage crops subjected to long-term irrigation using treated wastewater: case of El Hajeb-Sfax, Tunisia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 158: 83-93.
11. Belhaj, D., N. Elloumi, B. Jerbi, M. Zouari, F.B. Abdallah, H. Ayadi and M. Kallel. 2016. Effects of sewage sludge fertilizer on heavy metal accumulation and consequent responses of sunflower (*Helianthus annuus*). Environmental Science and Pollution Research, 23: 20168-20177.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

12. Binaye Motlagh, P. 2010. Instructions and methods for measuring the physicochemical and toxic mineral chemicals in drinking water. Ministry of Health and Medical Education, Deputy Minister of Health, Environmental and Occupational Health Center, 74 pp (In Persian).
13. Bourioug, M., L. Alaoui-Sehmer, X. Laffray, M. Benbrahim, L. Aleya and B. Alaoui-Sossé. 2015. Sewage sludge fertilization in larch seedlings: Effects on trace metal accumulation and growth performance. Ecological Engineering, 77: 216-224.
14. Chen, B., Y. Zhang, M.T. Rafiq, K.Y. Khan, F. Pan, X. Yang and Y. Feng. 2014. Improvement of cadmium uptake and accumulation in *Sedum alfredii* by endophytic bacteria *Sphingomonas* SaMR12: effects on plant growth and root exudates. Chemosphere, 117: 367-373.
15. Cheraghi, M., B. Lorestani, N. Khorasani, N. Yousefi and M. Karami. 2011. Findings on the phytoextraction and phytostabilization of soils contaminated with heavy metals. Biological Trace Element Research, 144(1-3): 1133-1141.
16. Chu, Sh., D. Wu, L.L. Liang, F. Zhong, Y. Hu, X. Hu, C. Lai and Sh. Zeng. 2017. Municipal sewage sludge compost promotes *Mangifera persiciforma* tree growth with no risk of heavy metal contamination of soil. Scientific Reports. 7(1): 13408. DOI: 10.1038/s41598-017-13895-y
17. Desai, M., M. Haigh and H. Walkington. 2019. Phytoremediation: Metal decontamination of soils after the sequential forestation of former opencast coal land. Science of the Total Environment, 656: 670-680.
18. Ehrampoush, M.H., M. Miria, M.H. Salmani and A.H. Mahvi. 2015. Cadmium removal from aqueous solution by green synthesis iron oxide nanoparticles with tangerine peel extract. Journal of Environmental Health Science and Engineering**.** 13(1):84. DOI: 10.1186/s40201-015-0237-4
19. EU, 2006. Commission regulation (EC) No. 1881/2006 of 19 December 2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Official Journal of European Union. L364/5- L364/5.
20. Farahat, E. and H.W. Linderholm. 2015. The effect of long-term wastewater irrigation on accumulation and transfer of heavy metals in *Cupressus sempervirens* leaves and adjacent soils. Science of the Total Environment. (512–513): 1-7. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.01.032.
21. Filipović, L., M. Romić, D. Romić, V. Filipović and G. Ondrašek. 2018. Organic matter and salinity modify cadmium soil (phyto) availability. Ecotoxicology and Environmental Safety, 147: 824-831.
22. Fuentes, D., A. Valdecantos, J. Llovet, J. Cortina and V.R. Vallejo. 2010. Fine-tuning of sewage sludge application to promote the establishment of *Pinus halepensis* seedlings. Ecological Engineering, 36: 1213-1221.
23. Hach, C. 2002. Water Analysis Handbook. Loveland, Colorado, USA. 1260 pp.
24. Hopmans, P., H.T.L. Stewart, D.W. Flinn and T.J. Hillman. 1990. Growth, biomass production and nutrient accumulation by seven tree species irrigated with municipal effluent at wodonga Australia. Journal of Forest Ecology and Management, 30: 203-221.
25. Huang, X., D. Xue and L. Xue. 2015. Changes in soil microbial functional diversity and biochemical characteristics of tree peony with amendment of sewage sludge compost. Environmental Science and Pollution Research, 22: 11617-11625.
26. Jackson, M.L. 1973. Soil Chemical Analyze. Prentice Hall of India Private Ltd., New Delhi. 498 pp.
27. Jafari Haghighi, M. 2003. Soil analysis, sampling and important physical and chemical analysis method with emphasis on theory and application basics, Nedaye zoha press, Sari, Iran, 236 pp (In Persian).
28. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias.1984. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA, 365 pp.
29. Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4thed. Edition. CRC Presss/Taylor and Francis. Boca Raton, Florida, USA, 548 pp.
30. Khodakarami, Y., A. Shirvany, Zh. Vardanyan and H. Sohrabi. 2015. Evaluation of cadmium absorption in different soil textures by black locust (*Robinia pseoudoacaci* L.), round-leaf ash (*Fraxinus rotundifolia* Miller) and Arizona cypress (*Cupressus arizonica* Green). Iranian Journal of Forest and poplar Research, 23(4): 617-625 (In Persian).
31. Madejon, P., T. Maranon and J.M. Murillo. 2006. Biomonitoring of trace elements in the leaves and fruits of wild olive and holm oak trees. Science of the Total Environment, 355: 187-203.
32. Matin, A. 1993. Irrigation with urban waste water a solution for water shortage. Iranian Journal of Pajouhesh- Va Sazandgi, 25: 18-22 (In Persian).
33. Meli, S., M. Porto, A. Belligno, S.A. Bufo, A. Mazzatura and A. Scopa. 2002. Influence of irrigation with lagooned urban wastewater on chemical and microbiological soil parameters in a *Citrus orchard* under Mediterranean condition. Science of the Total Environment, 285: 69-77.
34. Meteorological Organization of Iran. 2019. University of Tehran synoptic station.
35. Mleczek, M., M. Gasecka, B. Waliszewska, Z. Magdziak, M. Szostek, P. Rutkowski, J. Kaniuczak, M. Zborowska, S. Budzynska, P. Mleczek and P. Niedzielski. 2018. *Salix viminalis* L. - A highly effective plant in phytoextraction of elements. Chemosphere, 212: 67-78.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

36. Mleczek, M., P. Rutkowski, J. Kaniuczak, M. Szostek, A. Budka, Z. Magdziak, S. Budzyńska, N. Kuczyńska- Kippen and P. Niedzielski. 2019. The significance of selected tree species age in their efficiency in elements phytoextraction from waste mixture. International Journal of Environmental Science and Technology, 16: 3579-3594.
37. Nie, N., Y. Liu, G. Zeng, B. Zheng, X. Tan, H. Liu, J. Xie, Ch. Gan and W. Liu. 2016. Cadmium accumulation and tolerance of *Macleaya cordata*: a newly potential plant for sustainable phytoremediation in Cd-contaminated soil. Environmental Science and Pollution Research, 23: 10189-10199.
38. Pedrero, F., A. Allende, M.I. Gil and J.J. Alarcón. 2012. Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater Francisco. Agricultural Water Management, 109: 54-60.
39. Quevauviller, P.H., G. Rauret, R. Rubio, J.F. Lopez-Sanchez, A. Ure, J. Bacon and H. Muntau. 1997. Certified reference materials for the quality control of EDTA- and acetic acid extractable contents of trace elements in sewage sludge amended soils (CRMs 483 and 484). Fresenius Journal of Analytical Chemistry, 357: 611-618.
40. Rafati, M., N. Khorasani, F. Moraghebi and A. Shirvany. 2012. Phytoextraction and Phytostabilization Potential of Cadmium, Chromium and Nickel By *Populus alba* and *Morus alba* Species. Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources, 65(2): 181-191 (In Persian).
41. Robarge, W.P., A. Edwards and B. Johnson. 1983. Water and waste water analysis for nitrate via nitration of salicylic acid. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 14 (12): 1207-1215.
42. Saba, G., A.H. Parizanganeh, A. Zamani and J. Saba. 2015. Phytoremediation of heavy metals contaminated environments: screening for native accumulator plants in Zanjan-Iran. International Journal of Environmental Research, 9(1): 309-316.
43. Salardini, A. 1992. Soil Fertility. Tehran University Press, Tehran, Iran, 440 pp (InPersian).
44. Salehi, A. 2007. Growth and mineral concentration of *Pinus eldarica* Medw and *Robinia pseudoacacia* L., irrigated with municipal effluent in green space of Southern Tehran. M.Sc. thesis. Department of forestry. College of natural resources and marine sciences. Tarbiat Modares University, 120 pp (In Persian).
45. Selahvarzi, B., 2009. Effect of water treatment effluent on survival growth and mineral accumulation of plane tree (*Platanus orientalis* L.) seedlings. M.Sc. thesis. Department of forestry. College of natural resources and marine sciences. Tarbiat Modares University, 110 pp (In Persian).
46. Shah, F.R., N. Ahmad, K.R. Masood, D.M. Zahid and M. Zubair. 2011. Response of *Eucalyptus Camaldulensis* to exogenous application of cadmium and chromium. Pakistan Journal of Botany, 43(1): 181-189.
47. Shanker, A.K., C. Cervantes, H. Loza-Tavera and S. Avudainayagam. 2005. Chromium toxicity in plants. Environment International, 31: 739-753.
48. Si, L., X. Peng and J. Zhou. 2019. The suitability of growing mulberry (*Morus alba* L.) on soils consisting of urban sludge composted with garden waste: a new method for urban sludge disposal. Environmental Science and Pollution Research, 26: 1379-1393.
49. Tabari, M. and A. Salehi. 2009. Long-term impact of municipal sewage irrigation on treated soil and black locust trees in a semi-arid suburban area of Iran. Journal of Environmental Sciences, 21: 1438-144.
50. Theriault, G. and K. Nkongogo. 2016. Nickel and copper toxicity and plant response mechanisms in white birch (*Betula papyrifera*). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 97: 171-176.
51. TWSWWTC (Tehran Water Supply and Water and Wastewater Treatment Company), 2019. https://tww.tpww.ir/ (In Persian).
52. USEPA, 1997. Exposure Factors Handbook. Volume II-Food Ingestion Factors. EPA/600//P-95/002Fa. Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
53. Van Nevel, L., J. Mertens, J. Staelens, A. De Schrijver, F. Tack, S. De Neve, E. Meers and K. Verheyen. 2011. Elevated Cd and Zn uptake by aspen limits the phytostabilization potential compared to five other tree species. Ecological Engineering, 37: 1072-1080.
54. WHO, 1996. Trace Elements in Human Nutrition and Health. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
55. Xue, D. and X. Huang. 2013. The impact of sewage sludge compost on tree peony growth and soil microbiological, and biochemical properties. Chemosphere, 93: 583-589.
56. Yue, Y., L. Cui, Q. Lin, G. Li and X. Zhao. 2017. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth. Chemosphere, 173: 551-556.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]

Phytoremediation Potential of Judas Tree, White Mulberry, Bitter Olive and Cedar Rolls for Manganese and Chromium in Water Treatment Plant Effluent

Bahareh Salahvarzi[1], Hamid Jalilvand[2], Seyed Mohammad Hojjati[3] and Mohammad Reza Pourmajidian[4]

1- PhD student of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University,
(Correspondng Author: hj_458_hj@yahoo.com)
3- Associate Professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
Received: 4 April, 2020 Accepted: 4 Jun, 2020

Extended Abstract

Introduction and Objective: Today, Metropolises require more green space because of air pollution, but water scarcity in aried areas should lead to irrigation of unconventional sources such as wastewater, which due to the contamination of these sources, tree species with high phytoremediation capability should be used.

Materials and Methods: In this study, two-year-old seedlings of four species of Judas Tree (*Cercis siliquastrum* L.), Arborvitaes (*Thuja orientalis* L.), Persian Lilac (*Melia azedarach* L.) and White Mulberry (*Morus alba* L.) were planted in pots and were irrigated with Tehran West Water Treatment Plant effluent which contained manganese and chromium from March to October 2017.

Results: The amount of chromium and manganese in the organs of species irrigated with effluent showed a significant increase compared to ordinary water. All four species irrigated with water treatment plant effluent showed a same growth compared to ordinary water. The highest amount of manganese was in leaf and chromium in root of all four species. The lower than one BCF and more than one TF for manganese in all four species indicated that they were not suitable for phytostabilization of this metal, but all four species (*Cercis siliquastrum* L.) (1.87), (*Morus alba* L.) (2.07), (*Thuja orientalis* L.) (1.96) and (*Melia azedarach* L.) (1.83) with a more than one TF are suitable for manganese phytoextraction. However, because BCF in them is lower than one, further investigation is needed. White mulberry and Persian lilac with a lower than one BCF and TF for chromium indicated that none of them were suitable for chromium phytostabilization and phytoextraction; But both Judas tree (1.39) and arborvitaes (1.04) with higher than one BCF and lower than one TF for chromium were appropriate to phytostabilization of this metal.

Conclusions: As a result, Judas tree and arborvitaes, which have both the ability to phytostabilization chromium and the ability to phytoextraction manganese, are the best species for the phytoremediation of these two elements in soil irrigated with effluent. Equal growth parameters of all four species after irrigation with this effluent indicated that reuse of Tehran West Water Treatment effluent can be an approach to compensate water scarcity but further studies and monitoring of conditions in order to select the most suitable species for phytoremediation of heavy metals as well as long-term effects of irrigation with effluent, are required.

Keywords: Bioconcentration factor, Heavy metals, Phytoextraction, Phytostabilization, Translocation factor, Water scarcity

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2026-02-24]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1400.9.18.9.5]
[DOI: 10.52547/ifej.9.18.147]