

## بررسی گیاه‌پالایی و تیور و اکالیپتوس در جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب در خاک آلوده به شیرابه زباله

### علی اصغر قائمی<sup>۱\*</sup> و فروغ مجدالدین<sup>۲</sup>

#### چکیده

استفاده از فاضلاب و پساب خطرات زیست محیطی نظیر آلودگی آب، خاک و گیاهان را بدلیل تجمع عناصر سنگین بدنبال دارد. پژوهش با هدف گیاه‌پالایی و تیور و اکالیپتوس در جذب برخی از فلزات سنگین در خاک آلوده به شیرابه زباله صورت پذیرفت. آزمایش در سال ۱۳۹۲ براساس طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار آبیاری شدند. فاکتورها شامل ۲ نوع گیاه و کیفیت‌های مختلف فاضلاب بود. گیاهان فلزات سنگین را از آب و خاک جذب نموده و میزان تجمع این فلزات در گیاه معنادار بود. غلظت فلز سرب در ریشه گیاه و تیور بیشتر از ریشه اکالیپتوس مشاهده گردید. هیچگونه فلز نیکل در اندام هوایی دو گیاه مشاهده نگردید. بیشترین غلظت مس در اندام هوایی برای هر دو گیاه، در تیمار آبیاری با پساب مشاهده گردید که این غلظت در گیاه اکالیپتوس ۱۳/۸۴ و در گیاه و تیور ۱۱/۳۰ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک اندام هوایی است. میزان جذب و غلظت ۴ فلز سرب، نیکل، روی و مس برای ریشه گیاه و تیور اختلاف معناداری با ریشه گیاه اکالیپتوس داشت. بیشترین میزان فلز روی جذب شده در محل ریشه در گیاه و تیور تحت تیمار آبیاری با فاضلاب خام و به مقدار ۲/۳۸۲ میلی گرم در گلدان اندازه‌گیری گردید. استفاده از فاضلاب با کیفیت‌های متفاوت تاثیر بسیار خوبی بر رشد گیاه داشته است که این رشد مناسب، سبب افزایش میزان جذب و در نتیجه پالایش بهتر خاک گردید. بیشترین وزن خشک اندام گیاهی (ریشه و اندام هوایی) اکالیپتوس در آبیاری با فاضلاب خام ۴۶/۴۷ و در و تیور ۵۹/۸۸ گرم در گلدان اندازه‌گیری گردید.

واژگان کلیدی: آبیاری، پساب، گیاه‌پالایی.

<sup>۱</sup> - دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز- ایران (نویسنده مسئول مکاتبات\*)

<sup>۲</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز - ایران

## مقدمه

افزایش روز افزون جمعیت، گسترش صنایع و فعالیتهای کشاورزی، بالا رفتن استانداردهای زندگی و به تبع آن ضرورت تامین آب مناسب برای مصارف مختلف به عنوان یکی از شاخص های مهم توسعه از یک سو و انتشار انواع آلودگی ها از سوی دیگر، منابع آب در دسترس را به شدت محدود ساخته است. در همین راستا متولیان امر، استفاده مجدد از پساب های شهری و صنعتی و هم چنین آب های برگشتی را به عنوان منابعی جدید برای جبران بخشی از این کمبودها مورد توجه قرار داده اند.

استفاده از فاضلاب انسانی در کشاورزی با هدف آبیاری محصولات و حاصلخیز کردن خاک ها از قدیم در کشورهای آسیایی رواج داشته است. در عصر معاصر و در قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، در کشورهای مانند آلمان، انگلیس و آمریکا مهمترین روش دفع فاضلاب، تخلیه آن به زمین های کشاورزی بوده است (معاونت برنامه ریزی، ۱۳۸۹).

مواد زاید شهری بخصوص در شهرهای بزرگ یکی از معضلات مهم زیست محیطی بشمار می آید. یکی از مسائل عمده در بحث زباله های شهری، مدیریت شیرابه هایی است که در مراحل مختلف جمع آوری، فرآوری و دفع نهایی (دفن کردن) تولید می گردد. از عمده ترین مشکلات سازمان های دفن زباله، نفوذ شیرابه به داخل خاک و آبهای زیرزمینی و آلوده کردن آنها می باشد. فاضلاب، پساب و شیرابه حاوی ترکیبات و آلاینده های گوناگون از جمله فلزات سنگین می باشند. پایداری فلزات در محیط زیست نیز چالش هایی را بوجود آورده است زیرا این فلزات نمی توانند مانند مواد آلی تجزیه گردند. از پیامدهای مهم پایداری آنها افزایش غلظتشان در خاک تا چند برابر مقادیر موجود در آب یا هوا می باشد که در اینصورت حیات جانوران و انسانها بخطر می افتد. حسین پور و حق نیا (۱۳۸۶) گزارش نمودند که با کاربرد فاضلاب، غلظت فلز کادمیوم و نیکل در خاک افزایش می یابد و با افزایش غلظت این دو فلز سنگین احتمال آلوده شدن آب های زیرزمینی نیز بوجود می آید. افزایش آلودگی آب و خاک باعث ایجاد مسائل و مشکلات زیست محیطی زیادی می شود. یکی از روش های مورد استفاده

در تصفیه آلودگی های آب و خاک استفاده از گیاهان است که اصطلاحاً گیاه پالایی نامیده می شود. در این روش از گیاهان جهت حذف آلاینده ها از آب و خاک استفاده می شود. گیاه پالایی یک راه حل سبز برای رفع مشکل آلودگی های فلزات سنگین است و روشی مناسب، اقتصادی و طبیعی است. این روش در مقایسه با روش های دیگر در مساحت های بزرگ بهینه و مناسب است. هزینه این روش کمتر از ۵ درصد هزینه سایر روش های حذف فلزات سنگین است (حضرتعلی، ۲۰۱۳).

یکی از گیاهان مطرح در گیاه پالایی، وتیور (Vetiver) (zizanioides) است که ویژگی های منحصر به فرد مورفولوژیک، فیزیولوژیک و اکولوژیکی داشته و مقاومت بسیار بالایی به شرایط نامتعارف نظیر شیرابه ها، پساب ها، فاضلاب ها و همچنین فلزات سنگین دارد. راه اندازی یک سیستم وتیور در تصفیه خانه ها یا موارد مشابه قابلیت بالایی در حذف آلاینده ها خواهد داشت و کمک شایان توجهی به حفاظت محیط زیست می نماید (موسوی و همکاران، ۱۳۹۰). وتیور، سرما و یخبندان را تا ۲۰- درجه سانتیگراد تحمل کرده و با مناسب شدن شرایط محیطی، مجدداً رشد خود را از سر می گیرد. گرمای ۶۰ درجه سانتی-گراد و خشکسالی های شدید در بیابان های استرالیا نیز نتوانسته این گیاه را از ادامه حیات خود ناامید کند. دودای و همکاران (۲۰۰۶) گزارش نمودند که گیاه وتیور، گیاهی همیشگی از خانواده پواسه می باشد. مبدا اولیه این گیاه را به شبه جزیره جنوبی هند نسبت می دهند. این گیاه دارای ارزش تولیدی در زمینه عطرهای روغنی می باشد. از دیگر خصوصیات این گیاه دارا بودن شبکه ریشه ای توده ای و ریز می باشد. مقاوم بودن گیاه به آفت، بیماری ها و آتش سوزی بر برجستگی این گیاه می-افزاید. جلالی پور و قائمی (۱۳۹۲) گیاه وتیور را جهت بررسی میزان جذب فلزات سنگین مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از شیرابه ناشی از پسماند زباله با غلظت های مختلف ۲۰، ۵۰، و ۸۰٪ جهت آبیاری استفاده نمودند. بررسی آنان حاکی از آن بود که با افزایش غلظت شیرابه مقادیر عناصر سنگین جذب شده در گیاه نیز بیشتر می شود. علاوه بر وتیور، گیاهان دیگری نیز وجود دارند که در جذب فلزات سنگین و مواد آلاینده آب و

## جدول ۱- تیمارهای آزمایش

تیمار	
T <sub>0</sub>	شاهد (آب چاه)
T <sub>1</sub>	تیمار آبیاری با پساب
T <sub>2</sub>	تیمار آبیاری با فاضلاب مرحله ته نشینی اولیه
T <sub>3</sub>	تیمار آبیاری با فاضلاب خام

در فرآیند تصفیه فاضلاب تصفیه خانه شیراز، تصفیه بیولوژیکی به روش لجن فعال انجام می‌گردد و از شیوه‌های معمول و رایج تصفیه فاضلاب است. به این ترتیب که در مرحله اول، ذرات جامد موجود در فاضلاب به صورت دستی یا مکانیکی به وسیله آشغال‌گیری‌هایی با شبکه بندی‌های ریز و درشت جدا می‌گردد، فاضلاب مورد استفاده در تیمار چهارم (جدول ۱) متعلق به این مرحله می‌باشد. سپس ذرات شناور باقی‌مانده، ته‌نشین و تصفیه فیزیکی صورت می‌پذیرد با سپری شدن این مرحله آب آبیاری مورد نیاز برای تیمار سوم (جدول ۱) فراهم می‌گردد. سپس فاضلاب به استخرهای بزرگ ریخته شده و مورد تصفیه بیولوژیکی قرار می‌گیرد. خروجی این مرحله همان آب آبیاری در تیمار دوم (جدول ۱) یا پساب است. پساب و فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش از نوع فاضلاب شهر شیراز بوده و با فاضلاب صنایع مخلوط نمی‌گردد. فاضلاب در کیفیت‌های متفاوت (خام، ته‌نشین اولیه و پساب) جهت آبیاری از تصفیه‌خانه شرکت آب و فاضلاب شیراز تهیه گردید.

جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری با کیفیت‌های متفاوت را نشان می‌دهد. مقادیر فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل AA-670 اندازه‌گیری شده است. نمونه مرکب خاک از منطقه لندفیل برمشور شهرستان شیراز مربوط به عمق ۰-۳۰ سانتی متری خاک تهیه و پس از هوا خشک نمودن خاک و عبور آن از الک ۲ میلی متری به صورت یکنواخت مخلوط شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری، درصد رطوبت وزنی در حالت ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم، چگالی ظاهری، pH

خاک نقش مهمی را ایفا می‌نمایند. اکالیپتوس یکی دیگر از گیاهان مطرح در گیاه پالایی است.

اکالیپتوس با نام علمی *Eucalyptus globulus* بومی اقیانوسیه، به ویژه استرالیا است و در حدود ۲۰۰ سال است که در کشورهایی به غیر از استرالیا که رویشگاه طبیعی آن است، کشت می‌شوند. بیش از ۴۰۰ گونه دارد که تنها چند گونه آن به ایران وارد شده است. جوان و حسن لی (۱۳۸۴) با استفاده از پساب به آبیاری گونه *E. camaldulensis* پرداختند تا درصد زنده ماندن این گیاه و مقاوم بودن آن را در برابر مسمومیت بسنجند. نتایج آنان نشان داد که درصد زنده ماندن این گونه اکالیپتوس برابر با ۹۷ درصد بوده و لذا گونه بکار رفته، گونه مقاومی است.

بررسی و سازگاری این گونه اکالیپتوس نیز نسبت به فاضلابهای صنعتی و شهری که حاوی مقادیر بالای فلزات سنگین از جمله مس، آهن، منگنز، روی می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مخلوط بعضی از پسابها میتواند منجر به افزایش تولید بیوماس در *E. camaldulensis* شود (بیهاتی و سینگ، ۲۰۰۳).

با توجه به موارد گفته شده و با عنایت به اینکه دفن زباله‌ها یکی از عوامل مهم آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی است هدف از این تحقیق بررسی استفاده از گیاهانی چون وتیور و اکالیپتوس در جذب آلاینده‌هایی که در اثر دفن زباله یا آبیاری گیاهان توسط پساب‌ها و فاضلاب‌ها وارد خاک می‌گردند، می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در منطقه باجگاه در سال ۱۳۹۲ انجام پذیرفت. منطقه باجگاه با طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۸۱۰ متر از سطح دریا قرار دارد. این آزمایش در قالب آزمون فاکتوریل در پایه طرح کاملاً تصادفی با ۲ نوع گیاه وتیور و اکالیپتوس تحت ۴ تیمار آبی با کیفیت‌های مختلف در ۴ تکرار و در شرایط گلخانه‌ای انجام شد. تیمارهای آبی که شامل آب چاه، پساب و فاضلاب می‌باشد و در جدول ۱ نشان داده شده است.

در خمیر اشباع، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع، غلظت سرب، نیکل، روی و مس با دی.تی.پی.ا. (لیندسی و نورول، ۱۹۷۹) عصاره گیری شده و با دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل AA-670 اندازه گیری گردید. مقادیر اندازه گیری شده این پارامترها در جدول ۳ نشان داده شده است.

### جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری

پارامتر	واحد	آب چاه (T <sub>0</sub> )	پساب (T <sub>1</sub> )	فاضلاب ته نشینی اولیه (T <sub>2</sub> )	فاضلاب خام (T <sub>3</sub> )
pH	-	۷/۶۷	۶/۶۱	۷/۰۶	۷/۰۴
Ec	ds/m	۰/۳۹۱	۱/۱	۱/۴۳	۱/۷۲
Pb	µg/l	صفر	۰/۸	۰/۹۲	۱/۱۷
Ni	µg/l	صفر	۴/۶۶	۵/۲۲	۶/۶۵
Zn	µg/l	۱۸/۱	۱۰۶/۰۵	۱۱۹/۳	۱۳۱/۲۸
Cu	µg/l	صفر	۲۰	۲۲/۶	۲۵/۸۱

### جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد کشت (خاک دفن گاه برمشور)

پارامتر	واحد	مقدار اندازه گیری شده
کلاس بافت خاک	-	sandy clay loam
رطوبت وزنی ظرفیت زراعی	%	۲۲/۱
رطوبت وزنی پژمردگی دائم	%	۱۳/۳
چگالی ظاهری	g/cm <sup>3</sup>	۱/۱۵
pH خمیر اشباع	-	۷/۶۱
EC عصاره اشباع	ds/m	۰/۸۵
Pb	mg/kg soil	۰/۹۷۸
Ni	mg/kg soil	۰/۵۹
Zn	mg/kg soil	۰/۹۲۳
Cu	mg/kg soil	۰/۵۵۲

در ۱۶ گلدان نهال اکالیپتوس و ۱۶ گلدان دیگر ساقه های تیور به همراه قسمتی از ریشه آن قرار گرفت. با توجه به انتقال این دو گیاه به محیط گلدان و بدلیل وجود صدمات احتمالی آن، به مدت یک هفته گیاهان با آب معمولی آبیاری شده تا به طور کامل درون گلدان استقرار یافته و در هنگام آبیاری با فاضلاب بتواند مقاومت بیشتری از خود

از مراکز تکثیر نهال شهرستان کازرون، نهال اکالیپتوس با گونه *Eucalyptus camaldulensis*، به ارتفاع تقریبی ۵۰cm بوته و تیور از گونه *Vetiver zizanioides* از زمین های تحت کشت اداره منابع طبیعی شیراز در قلات تهیه گردید. ساقه های تیور در زمان کاشت برابر با ۱۰ سانتی متر بود. مقدار ۵/۵ کیلوگرم از خاک موردنظر در گلدانهایی به ارتفاع ۲۶ و قطر ۱۹ سانتی متر ریخته شد و

روش آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت.

#### نتایج و بحث

با توجه به آزمون تجزیه واریانس (ANOVA) اثر نوع گیاه، کیفیت آب و برهمکنش میان این دو فاکتور بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی، غلظت فلزات سنگین در ریشه، ساقه و برگ گیاه و غلظت فلزات سنگین در خاک در سطح احتمال ۵ درصد معنادار گردید. در جدول شماره ۴ وزن ماده خشک ریشه و اندام هوایی گیاه برای تیمارهای مختلف نشان داده شده است.

\* برای هر خصوصیت اندازه گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۴ نشان می دهد که حداکثر وزن خشک ریشه متعلق به گیاه وتیور با آبیاری فاضلاب خام است. در گیاه اکالیپتوس آبیاری با فاضلاب خام و یا فاضلاب یک مرحله تصفیه سبب افزایش وزن خشک گیاه گردید اما این دو تیمار از نظر آماری در سطح ۵٪ با یکدیگر اختلاف معناداری ندارند. حداکثر میانگین وزن خشک اندام هوایی در گیاه اکالیپتوس نیز مشابه گیاه وتیور تحت تیمار فاضلاب خام بوده است. توکلی و طباطبایی (۱۳۸۷) بیان کردند که فاضلاب بیشتر جهت حاصلخیز کردن و تامین عناصر کودی مورد استفاده قرار میگیرد و فسفر یکی از مهم ترین عناصر در تغذیه گیاهان است که پس از ازت دومین عنصر کودی با اهمیت فاضلاب به شمار می آید.

غلظت و جذب سرب توسط اندام های گیاهی

مقادیر غلظت و جذب فلز سرب در ریشه و اندام هوایی گیاه اکالیپتوس و وتیور در جدول ۵ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۵ با افزایش غلظت سرب در آب آبیاری (جدول ۲)، میزان جذب سرب توسط ریشه هر دو

نشان دهد. پس از یک هفته آبیاری با آب معمولی، اعمال تیمارها از تاریخ دوم اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ با دور آبیاری ۳ روزه صورت پذیرفت و در تاریخ نهم مرداد ماه همین سال نیز به اتمام رسید. طول مدت اعمال تیمارها به طور متوسط با توجه به تحقیقات انجام شده جلالی پور و قائمی (۱۳۹۲) و بهرامی نیا (۱۳۹۲) به مدت ۱۰۰ روز در نظر گرفته شد. برای محاسبه ظرفیت زراعی گلدان، از خاک موردنظر چند نمونه تهیه کرده و پس از اشباع آن و قراردادن آن در دستگاه سلول فشاری، مکش مربوط به رطوبت ظرفیت زراعی اعمال گردیده و درصد رطوبت وزنی این خاک در حالت ظرفیت زراعی ۲۲/۱ درصد بدست آمد سپس وزن هر گلدان را در حالت ظرفیت زراعی، محاسبه و در هر بار آبیاری رطوبت گلدان ها به حد ظرفیت زراعی می رسید. برای این منظور گلدانها وزن می گردید و کمبود وزن گلدان نسبت به حالت ظرفیت زراعی محاسبه شده و سپس به صورت حجمی به گلدان آب داده می شد. با توجه به حد ظرفیت زراعی هیچگونه زه آبی از ته گلدانها خارج نمی گشت. در زمان کشت و زمان اعمال تیمار هیچگونه کودی به خاک و گلدانها اضافه نشد. پس از گذشت دوره ۱۰۰ روزه به منظور تعیین مقدار فلزات سنگین جذب شده توسط گیاه، برداشت گیاه صورت پذیرفت و اندام هوایی کلیه نمونه های وتیور و اکالیپتوس از محل طوقه قطع گردید. جهت تعیین وزن خشک، اندام هوایی و ریشه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از خشک شدن اندام هوایی و ریشه گیاه، یک گرم از پودر آسیاب شده آنها، درون کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی گراد خاکستر نموده و با اضافه کردن اسید کلریدریک دو نرمال به آن، عصاره گیاهی بدست آمد. پس از تهیه عصاره گیاهی، غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، روی و مس موجود در گیاه توسط دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل AA-670 اندازه گیری گردید. داده ها با نرم افزار آماری MSTAT C مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین ها نیز به

جدول ۴- میانگین وزن خشک ریشه و اندام هوایی برای تیمارهای مختلف

تیمار	اکالیپتوس	وتیور	
T <sub>0</sub>	۱۰/۲۳f*	۲۶/۲۸c	متوسط وزن
T <sub>1</sub>	۱۳/۵۱e	۲۸/۳۴b	خشک
T <sub>2</sub>	۱۵/۸۸d	۲۸/۴۳b	ریشه
T <sub>3</sub>	۱۶/۷۸d	۳۶/۷۱a	(g/pot)
T <sub>0</sub>	۱۷/۵۸c	۱۴/۶۷d	متوسط وزن
T <sub>1</sub>	۲۲/۶۳b	۱۷/۰۵c	خشک
T <sub>2</sub>	۲۸/۵۵a	۲۱/۴۹b	اندام هوایی
T <sub>3</sub>	۲۹/۶۹a	۲۳/۱۷b	(g/pot)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب سرب در ریشه

تیمار	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	
اکالیپتوس	۱۹/۵۶g*	۲۴/۲۷d	۲۳/۵۲e	۲۰/۳۳f	غلظت سرب
وتیور	۲۴/۳۲d	۳۷/۶۰a	۳۵/۶۷b	۳۰/۱۷c	ریشه (mg/kg d.m*)
اکالیپتوس	۰/۲e	۰/۳۲۷۹d	۰/۳۷۳۷d	۰/۳۴۱۰d	جذب سرب
وتیور	۰/۶۳۸۸c	۱/۰۶۶ab	۱/۰۱۴b	۱/۱۰۸a	ریشه (mg/pot)

\* d.m: dry matter ماده خشک.

\* برای هر خصوصیت اندازه گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

تحت آبیاری با پساب ۱۹/۳۳ و در اندام هوایی و تیور ۱۴/۲۰ mg/kg است.

غلظت و جذب نیکل توسط اندام ریشه مقادیر غلظت و جذب نیکل توسط ریشه گیاه در جدول ۷ آمده است. طبق نتایج بدست آمده در این جدول، در یک تیمار آبیاری مشخص، غلظت نیکل در ریشه اکالیپتوس بیشتر از وتیور است بعبارت دیگر در یک گرم از ماده خشک ریشه گیاه اکالیپتوس نسبت به یک گرم ریشه خشک و تیور غلظت بیشتری از نیکل وجود دارد. اما در مورد جذب، بدلیل بیشتر بودن وزن خشک ریشه و تیور در گلدان نسبت به اکالیپتوس، میزان نیکل جذب شده توسط ریشه این گیاه بیشتر است.

گیاه بیشتر شده است که در مورد اکالیپتوس بین تیمار T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> اختلاف معنادار نیست. بیشترین غلظت سرب موجود در ریشه مربوط به گیاه وتیور و در شرایط آبیاری با پساب به مقدار 60/37 mg/kg بوده است. همچنین با توجه به غلظت سرب در ریشه وتیور نسبت به اکالیپتوس تحت تیمارهای مختلف می توان دریافت که ریشه این گیاه توانایی بیشتری در دریافت این فلز سمی دارد. جدول ۶ میزان غلظت و جذب فلز سرب در اندام هوایی را نشان می دهد. نتایج نشان داده شده در جدول ۶ حاکی از آن است که اندام هوایی گیاه اکالیپتوس قابلیت بهتری نسبت به گیاه وتیور در دریافت سرب و ذخیره آن دارد بطوریکه غلظت این فلز در ساقه و برگ اکالیپتوس

با توجه به آزمایشات صورت گرفته هیچگونه فلز نیکل در اندام هوایی هر دو گیاه مشاهده نگردید. با توجه به صفر بودن غلظت نیکل در اندام هوایی، جذب این فلز توسط اندام هوایی نیز کاملاً منتفی است. به نظر می‌رسد که در گیاه مکانیزم‌هایی وجود دارد که از انتقال این فلز به اندام هوایی گیاه ممانعت بعمل می‌آورد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب سرب اندام هوایی

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیما	
۱۵/۴۸c	۱۶/۰۵b	۱۹/۳۳a	۱۴/۱۱d	اکالیپتوس	غلظت سرب
۱۲/۸۰e	۱۳/۱۷e	۱۴/۲۰d	۱۱/۹۵f	وتیور	اندام هوایی (mg/kg d.m)
۰/۴۵۹۵a	۰/۴۵۸۰a	۰/۴۳۷۵a	۰/۲۴۷۷c	اکالیپتوس	جذب سرب
۰/۲۹۶۷b	۰/۲۸۳۲bc	۰/۲۴۱۹c	۰/۱۷۵۲d	وتیور	اندام هوایی (mg/pot)

\* برای هر خصوصیت اندازه‌گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب نیکل ریشه

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیما	
۲۸/۵۳b	۲۸/۸۳b	۳۰/۷۷a	۲۷/۲۳c	اکالیپتوس	غلظت نیکل
۱۸/۷۷d	۱۷/۶۰e	۱۷/۱۵e	۱۱/۴۵f	وتیور	ریشه (mg/kg d.m)
۰/۴۷۸۶b	۰/۴۵۷۸bc	۰/۴۱۶۳c	۰/۲۷۸۵d	اکالیپتوس	جذب نیکل
۰/۶۸۹۲a	۰/۵۰۰۲b	۰/۴۸۵۹b	۰/۳۰۱۲d	وتیور	ریشه (mg/pot)

\* برای هر خصوصیت اندازه‌گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

غلظت و جذب مس توسط اندام‌های گیاهی با انجام آزمایشات و اندازه‌گیری میزان فلز مس در ریشه گیاه، مشاهده گردید که با افزایش غلظت این فلز در آب آبیاری، غلظت این فلز در ریشه گیاه کاهش یافته است. بیشترین میزان غلظت در ریشه گیاه اکالیپتوس اما بیشترین میزان جذب در ریشه وتیور بوده است که در جدول ۸ ارائه گردیده است. در جدول ۹ مقادیر غلظت و فلز مس جذب شده توسط اندام هوایی نشان داده شده است. آنچه که از اطلاعات این جدول استنتاج می‌گردد

این نتیجه با نتایج مرادمند و همکاران (۱۳۸۸) که به بررسی اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام گیاه فلفل سبز قلمی در یک فصل رشد پرداختند، نیز مطابقت دارد. همچنین این احتمال نیز وجود دارد که مدت زمان اعمال تیمارها برای انتقال نیکل به اندام هوایی کم بوده است.

این است که اندام هوایی گیاه اکالیپتوس مقدار فلز مس بیشتری را نسبت به گیاه وتیور درون خود جمع آوری کرده است. برای هر دو گیاه بیشترین میزان جذب مس در

شرایط آبیاری با فاضلاب خام بوده است، هر چند برای گیاه اکالیپتوس تفاوت آماری معناداری میان تیمار فاضلاب ته نشینی اولیه و فاضلاب خام مشاهده نگردید.

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب مس توسط ریشه

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیمار	
۲۶/۲۵c	۲۶/۹۹b	۲۷/۵۰a	۲۵/۱۶d	اکالیپتوس	غلظت مس
۱۵/۶۰f	۱۷/۹۴e	۱۸/۱۳e	۱۳/۵۵g	وتیور	ریشه (mg/kg d.m)
۰/۴۴۰۶c	۰/۴۲۸۷c	۰/۳۷۱۶d	۰/۲۵۷۳e	اکالیپتوس	جذب مس
۰/۵۷۲۳a	۰/۵۱۰b	۰/۵۱۳۷b	۰/۳۵۶۲d	وتیور	ریشه (mg/pot)

\* برای هر خصوصیت اندازه گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب مس اندام هوایی

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیمار	
۱۱/۹bc	۱۲/۱۰b	۱۳/۸۴a	۱۱/۷۰bc	اکالیپتوس	غلظت مس
۸/۸e	۹/۵۲۵d	۱۱/۳۰c	۷/۶۴۶f	وتیور	اندام هوایی (mg/kg d.m)
۰/۳۵۳۲a	۰/۳۴۵۵a	۰/۳۱۳۰b	۰/۲۰۵۶c	اکالیپتوس	جذب مس
۰/۲۰۴۱c	۰/۲۰۴۵c	۰/۱۹۲۴c	۰/۱۱۲۰d	وتیور	اندام هوایی (mg/pot)

\* برای هر خصوصیت اندازه گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی داری ندارند

بیشتر از وتیور بوده است اما یکباره با آبیاری با فاضلاب خام این نتیجه عکس گردیده است.

با توجه به مشاهدات صورت گرفته، میزان غلظت فلز روی در اندام هوایی اکالیپتوس بیشتر از گیاه وتیور است. بیشترین میزان جذب روی توسط اندام هوایی گیاه اکالیپتوس در تیمار آبیاری با پساب و در مورد گیاه وتیور در تیمار آبیاری با فاضلاب خام بوده است. کاهش میزان غلظت و جذب فلز روی توسط اندام های گیاه اکالیپتوس در تیمار آبیاری با پساب نسبت به فاضلاب خام به افزایش pH آب آبیاری مربوط می گردد که با نتایج آقای بیهاتی و سینگ (۲۰۰۳) تطابق دارد. به عبارت دیگر با

غلظت و جذب روی توسط اندام های گیاهی مقادیر غلظت و میزان فلز روی جذب شده توسط ریشه در جدول ۱۰ آمده است که با توجه به این نتایج، با افزایش غلظت فلز روی در آب آبیاری و تغییر کیفیت آب از حالت پساب به فاضلاب خام، غلظت این فلز در ریشه گیاه اکالیپتوس کاهش اما در گیاه وتیور روندی افزایشی را نشان می دهد. این احتمال وجود دارد که این گیاه روی دوست بوده و با افزایش غلظت آن در گیاه، اختلالی بوجود نمی آید. در دو تیمار آبیاری با پساب و فاضلاب مرحله ته نشینی اولیه غلظت فلز روی در ریشه گیاه اکالیپتوس

کاهش اسیدیته آب آبیاری، میزان جذب فلز روی توسط گیاه اکالیپتوس افزایش می‌یابد. مطالب بیان شده در

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب روی توسط ریشه

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیما	
۴۵/۱۵e	۷۵/۶۸b	۹۶/۵۷a	۴۱/۳۴f	اکالیپتوس	غلظت روی
۶۴/۹۰c	۴۵/۸۵d	۳۷/۸۰g	۳۲/۴۱h	وتیور	در ریشه (mg/kg d.m)
۰/۷۵۷۷d	۱/۲۰۲b	۱/۳۰۵b	۰/۴۲۳۶e	اکالیپتوس	جذب روی
۲/۳۸۲a	۱/۳۰۳b	۱/۰۷۱c	۰/۸۵۱۸d	وتیور	در ریشه (mg/pot)

\* برای هر خصوصیت اندازه‌گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت و جذب روی در اندام هوایی

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیما	
۱۶/۸۳c	۲۶/۴۵b	۳۴/۲۷a	۱۶/۱۳de	اکالیپتوس	غلظت روی در اندام هوایی (mg/kg d.m)
۱۶/۵۵cd	۱۶/۶۵d	۱۵/۷۰e	۱۳/۲۳f	وتیور	
۰/۴۹۹۷b	۰/۷۵۵۱a	۰/۷۷۵۲a	۰/۲۸۳۷d	اکالیپتوس	جذب روی در اندام هوایی (mg/pot)
۰/۳۸۳۵c	۰/۳۵۷۶c	۰/۲۶۷۹d	۰/۱۹۴۲e	وتیور	

\* برای هر خصوصیت اندازه‌گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

معنادار شد و در مورد فلز مس نیز مشاهدات گواهی از پالایش خاک توسط هر دو گیاه و کاهش غلظت این فلز سمی به کمتر از مقدار اولیه آن در خاک (mg/kg soil 552/0) حکایت می‌کند که با نتایج جلالی پور و قائمی (۱۳۹۲) مشابهت دارد. غلظت اولیه فلز روی در خاک به مقدار mg/kg soil 923/0 اندازه‌گیری گردید. به جز تیمار شاهد، در سایر تیمارها مقدار غلظت فلز روی در خاک بیشتر از مقدار اولیه آن گردید که بدلیل وجود مقادیر قابل توجهی از این فلز در کیفیت های مختلف فاضلاب است. جدول ۱۲ موارد ذکر شده را نشان می‌دهد.

غلظت فلزات سنگین موجود در خاک مقدار اولیه سرب در خاک به روش اندازه‌گیری دی.تی.پی. ۱ برابر با mg/kg soil 987/0 بوده است. در خاک هر دو گیاه پس از اعمال تیمار مقدار سرب کمتر از مقدار اولیه آن گردیده است که این کاهش میتواند بدلیل گیاه-پالایی دو گیاه موردنظر باشد. علی‌رغم معنادار نبودن اثر گیاه و کیفیت آب بر غلظت فلز نیکل در خاک از نظر آماری، اما کاهش غلظت این فلز نسبت به مقدار اولیه آن (mg/kg soil 59/0) مشاهده گردید. تاثیر این دو فاکتور بر غلظت مس در خاک از نظر آماری

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی و اثرات متقابل گیاه و کیفیت آبیاری بر غلظت فلزات سنگین در خاک

T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیما	
۰/۸۳۵۸a	۰/۸۳۱۵a	۰/۸۴۳۰a	۰/۸۹۶۵a	اکالیپتوس	غلظت فلز
۰/۷۲۸۷b	۰/۷۴۶۷b	۰/۷۴۴۰b	۰/۸۳a	وتیور	سرب (mg/kg soil)
۰/۵۳۷۶a	۰/۵۳۴۱a	۰/۵۳۸۷a	۰/۵۳۹۴a	اکالیپتوس	غلظت فلز
۰/۴۹۹۴a	۰/۵۲۶۴a	۰/۵۲۶۰a	۰/۵۳۵۲a	وتیور	نیکل (mg/kg soil)
T <sub>3</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>0</sub>	تیما	
۰/۵۴۲۷a	۰/۵۲۹۶ab	۰/۵۳۲۳ab	۰/۴۶۷۸b	اکالیپتوس	غلظت فلز مس (mg/kg soil)
۰/۵۴۵۹a	۰/۵۴۰۴a	۰/۵۲۸۲ab	۰/۴۶۶۸b	وتیور	
۱/۳۸۲a	۱/۱۹۱ab	۱/۱abc	۰/۸۸۹bc	اکالیپتوس	غلظت فلز
۱/۱۰۷abc	۱/۲۴۶ab	۱/۲۳۵ab	۰/۸۲۷۶c	وتیور	روی (mg/kg soil)

\* برای هر خصوصیت اندازه گیری شده، اعدادی که دارای یک حرف مشترک کوچک (هر ردیف و ستون) هستند، از نظر آماری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۰.۵٪ تفاوت معنی داری ندارند.

بودن غلظت نیکل در اندام هوایی هر دو گیاه، می تواند دلیل وجود مکانیزم هایی در گیاه علیه جذب این فلز، کوتاه مدت بودن زمان اعمال تیمارها و یا کم بودن غلظت نیکل در آب آبیاری باشد. با تغییر کیفیت آب آبیاری از حالت پساب به فاضلاب خام، غلظت فلز روی در ریشه گیاه و تیور افزایش یافت در حالیکه غلظت فلز مس با کاهش مواجه گردید. احتمال می رود که ظهور چنین واکنش هایی از گیاه به دلیل تمایلات آن تعریف گردد، زیرا گیاه یک موجود زنده است. این احتمال وجود دارد که و تیور یک گیاه روی دوست باشد و در نتیجه با افزایش غلظت فلز روی در آب آبیاری، غلظت این فلز در گیاه نیز افزایش یابد اما نسبت به فلز مس تمایل چندانی نداشته باشد و با افزایش غلظت مس در آب آبیاری، غلظت این فلز در اندام های گیاهی کاهش بیابد خصوصا در مواقعی که گیاه از رشد رویشی بسیار خوبی برخوردار است.

غلظت فلز سرب، نیکل و مس در خاک پس از اعمال تیمارها کمتر از مقدار اولیه آن مشاهده گردید. این نتیجه

#### نتیجه گیری

آبیاری با کیفیت های مختلف فاضلاب باعث گردید که وزن خشک ریشه و اندام هوایی در دو گیاه و تیور و اکالیپتوس نسبت به تیمار شاهد (آب چاه) افزایش یابد که این افزایش در تیمار فاضلاب خام، از بقیه تیمارها بیشتر بود. علت این افزایش را میتوان وجود عناصر مورد نیاز و پرمصرف گیاه نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در فاضلاب دانست. این نتایج با نتایج سینگ و همکاران (۲۰۱۲)، رجبی سرخنی و قائمی (۱۳۹۱) و پارسافر و همکاران (۱۳۸۹) مطابقت دارد.

با کاهش کیفیت آب آبیاری از حالت پساب به فاضلاب خام، غلظت سرب و مس در ریشه و اندام هوایی هر دو گیاه و تیور و اکالیپتوس کاهش یافت. غلظت فلز روی در اندام های هوایی و ریشه اکالیپتوس کاهش اما در و تیور افزایش یافت. غلظت فلز نیکل در ریشه هر دو گیاه افزایش یافته اما در اندام هوایی جذبی صورت نگرفته بود. صفر

۶. حسین پور، ا. حق نیا، غ.ج. عزیزاده، ا. فتوت، ا. ۱۳۸۶. تاثیر آبیاری با فاضلاب خام و پساب شهری بر برخی از خصوصیات شیمیایی خاک در اعماق مختلف در دو شرایط غرقاب پیوسته و متناوب، مجله آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۲، صفحات ۷۳-۸۵.
۷. رجبی سرخنی، م و قائمی، ع.ا. ۱۳۹۱. بررسی اثرات کاربرد پساب تصفیه شده و کودهای شیمیایی بر عملکرد کلم بروکلی. مدیریت آب و آبیاری، دوره ۲، شماره ۲، پاییز و زمستان، صفحات ۲۴-۱۳.
۸. مرادمند، م و بیگی، ح.ا. ۱۳۸۸. اثر آبیاری با پساب تصفیه شده شهری بر توزیع سرب و نیکل در اندام فلفل سبز و خاک. مجله پژوهش آب ایران، سال سوم، شماره پنجم، صفحات ۶۳-۷۰.
۹. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور. ۱۳۸۹. ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پسا بها. نشریه شماره ۵۳۵.
۱۰. موسوی، ر. محسنی، م. و دیمیدادی، ع.ا. ۱۳۹۰. بررسی به کارگیری سیستم وتیور در حذف آلودگی از آب و خاک، اولین همایش ملی گیاه پالایی، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

## منابع

۱. بهرامی نیا، م. (۱۳۹۲). "بررسی کارایی قارچ های میکوریز آربسکولار در گیاه پالایی خاکهای آلوده به سرب و روی بوسیله گیاه وتیور"، پایان نامه کارشناسی ارشد. بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.
۲. پارسافر، ن؛ معروفی، ص؛ دشتی، ف و رحیمی، ق. ۱۳۸۹. اثر کاربرد فاضلاب خام و تصفیه شده بر عملکرد سیب زمینی. چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست. تهران، آبان ماه.
۳. توکلی، م. و طباطبایی، م. ۱۳۸۷. آبیاری با فاضلاب تصفیه شده. همایش جنبه های زیست محیطی استفاده از پساب ها در آبیاری، کمیته ملی آبیاری زهکشی ایران، تهران، آذرماه.
۴. جلالی پوره. و قائمی، ع.ا. ۱۳۹۲. بررسی امکان استفاده از گیاه وتیور در پالایش دفن گاه پسماندهای شهری. مجله پژوهش آب ایران، سال هفتم، شماره دوازدهم، ۴۵-۵۲.
۵. جوان، م. و حسن لی، ع.م. ۱۳۸۴. ارزیابی پساب تصفیه شده شهری و کاربرد آن در آبیاری فضای سبز، فصل نامه محیط شناسی، دوره ۳۱، شماره ۳۰، ۲۳-۳۸.
11. Bhati, M., and Singh, G. 2003. Growth and mineral accumulation in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings irrigated with mixed industrial effluents. *Bioresource Technology*. 88:221-228.
12. Dudai, N., Putievsky, E., Chaimovitch, D., and Ben-Hur, M. 2006. Growth management of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) under Mediterranean conditions. *Journal of Environmental Management*. 81:63-71.
13. Hazrat, A., Khan, E., and Anwar Sajad, M. 2013. Phytoremediation of heavy metals – Concepts and applications. *Chemosphere*.91:869-881.
14. Lindsay, W. L., and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*. 42: 421-428.
15. Singh, P. K., Deshbhratar, P. B., and Ramteke, D. S. 2012. Effects of sewage

wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. Agricultural Water Management .103:100– 104.