

ارزیابی خصوصیات گیاه پالایی اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس در تیمار آبیاری با پساب فولاد: مطالعه موردی فولاد غدیر

سیما دهقانی احمدآبادی^۱، حیدر مفتاحی زاده^{۲*}، غلامرضا سیاحتی اردکانی^۱، مصطفی شیرمردی^۲

^۱گروه محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
^۲گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷

چکیده

امروزه استفاده از گیاهان متحمل به تنش‌های محیطی در فضای سبز مناطق گرم و خشک امری ضروری است. یکی از مهم‌ترین تنش‌ها، کیفیت آب آبیاری می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی خصوصیات فیزیولوژیکی و گیاه‌پالایی گیاهان آبیاری شده با پساب فولاد انجام شد. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱- آب آبیاری رایج فضای سبز ۲- ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب ۳- پساب کامل ۴- آب مخلوط (آب آبیاری رایج فضای سبز، پساب و پساب سختی‌گیر رزینی) می‌باشند. گیاهان مورد استفاده شامل اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس می‌باشند که همگی هم‌اندازه بودند. صفات مورد بررسی شامل اندازه‌گیری میزان فنل و آنتی‌اکسیدان که با دستگاه اسپکتروفتومتر انجام شد. برای ارزیابی توان گیاه‌پالایی، فاکتور انتقال، ضریب جذب زیستی و فاکتور غلظت زیستی نیز بررسی گردید. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر نوع آب بر ضریب جذب زیستی کادمیوم معنی‌دار نبوده ولی بر بقیه شاخص‌ها اختلاف معنی‌داری نشان داده است. همچنین نوع گیاه و برهمکنش نوع آب و نوع گیاه هم بر تمام شاخص‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج نشان داد تیمار برهمکنش گیاه شاه‌پسند در آب خام رایج، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب خام رایج و پساب و تیمار پساب کامل و برهمکنش اسطوخودوس در ۵۰٪ اختلاط آب خام رایج و پساب و تیمار آب مخلوط برای گیاه‌پالایی کادمیوم مناسب می‌باشند. اثر متقابل اطلسی مکزیکی با تیمار آب خام رایج برای گیاه‌پالایی سرب مناسب می‌باشد. با توجه به محدودۀ ضریب جذب زیستی، همه گیاهان مورد بررسی انباشت‌کننده نسبتاً مناسبی برای فلز کادمیوم و سرب هستند.

کلید واژگان: فاکتور انتقال، ضریب جذب زیستی، فاکتور غلظت زیستی، فولاد غدیر

مقدمه

بحران کمبود آب یکی از چالش‌هایی است که امروزه جهان با آن مواجه است. محدودیت منابع آب، توجه را به استفاده اصولی از آب‌های غیرمتعارف مانند آب‌های شور و پساب‌های شهری و صنعتی به‌خود معطوف نموده است. به دلیل توسعه شهرها و افزایش مصرف آب، مقدار زیادی فاضلاب تولید می‌شود که پساب این فاضلاب‌ها می‌تواند به‌عنوان یک منبع با ارزش در افزایش سطح پوشش گیاهی محسوب شود (Ahmad et al., 2018). استفاده صحیح از پساب‌های شهری علاوه بر گسترش پوشش گیاهی، از یک طرف از آلودگی محیط‌زیست جلوگیری می‌نماید و از طرف دیگر با دارا بودن عناصر مغذی، علاوه بر کاهش آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی، باعث کاهش هزینه مصرف کودهای شیمیایی می‌شود. به‌همین دلیل، به‌عنوان منابع آب و کودی ارزان قیمت مورد توجه قرار گرفته است (Ali et al., 2020). یکی از راه‌های بسیار مهم پایداری اکوسیستم در نواحی صنعتی و کارخانجات، افزایش پوشش گیاهی می‌باشد. بنابراین انتخاب صحیح گونه‌های گیاهی سازگار و مقاوم با شرایط اکوسیستم گرم و خشک در راستای ایجاد پوشش گیاهی مناسب از یک طرف و تأمین منابع آب ارزان قیمت جهت استقرار آن‌ها از طرف دیگر، امری ضروری است.

جنبه‌های اقتصادی استفاده از پساب به‌دلیل استفاده مفید از آب و افزودن مواد تقویت‌کننده به خاک برای افزایش حاصلخیزی خاک از نکات قابل توجه به‌حساب می‌آید، اما یکی از معایب آن‌ها وجود آلودگی‌های فلزات سنگین است که برای گیاهان خطرناک می‌باشد. فلزات سنگین که از طریق فعالیت‌های صنعتی و معدنی آب‌های زیرزمینی و خاک را آلوده می‌کنند، باعث آلودگی شدید محیط‌زیست در سراسر جهان شده است (Aziz et al., 2019). زمانی که ظرفیت نگهداری فلزات سنگین به‌وسیله خاک به‌دلیل کاربرد و استفاده مداوم از پساب کاهش یابد، فلزات سنگین

می‌توانند به آب‌های زیرزمینی انتقال یافته و یا به‌وسیله گیاهان از محلول خاک جذب گردند (Aghelan et al., 2021).

بسیاری از روش‌های متداول برای اصلاح آب‌های آلوده به فلزات سنگین علی‌رغم کارایی، گران، وقت‌گیر و مخرب محیط‌زیست هستند. یکی از ساده‌ترین و کم هزینه‌ترین روش‌ها استفاده از گیاهان ویژه جهت پالایش این گونه پساب‌ها است. گیاه‌پالایی نسبت به فرآیندهای پالایش بدون گیاه باعث کاهش قابل توجه فلزات سنگین در خاک می‌شود. بنابراین، نمونه‌هایی که با پساب صنعتی آبیاری می‌شوند در صورت موفقیت، می‌توانند پوشش گیاهی مناسبی جهت گسترش فضای سبز باشند (Azab and Hegazy, 2020). فاضلاب‌ها به‌دلیل دارا بودن عناصر مغذی فراوان مانند نیتروژن و فسفر نسبت به آب شرب چنانچه منطبق با اصول علمی در تصفیه‌خانه‌ها تصفیه و مصرف شوند، یک منبع آبی با ارزش در آبیاری فضای سبز محسوب می‌شوند (Boder et al., 2019).

اطلسی مکزیکی (*Ruellia tweediana*)، شاه‌پسند (*Lantana camara*) و اسطوخودوس (*Lavandula angustifolia*) گونه‌هایی هستند که به‌طور گسترده‌ای در فضای سبز صنایع و کارخانجات مناطق گرم و خشک کشور کاشته می‌شوند. اسطوخودوس دارای مقاومت بالایی در برابر کم آبی است و فاکتورهای رویشی این گیاه تنها در شرایط تنش شدید تحت تأثیر قرار می‌گیرند. اطلسی مکزیکی و شاه‌پسند به‌دلیل سهولت پرورش، کم توقع بودن و داشتن رنگ‌های بسیار متنوع و زیبا یکی از رایج‌ترین گل‌های فضاهای سبز شهری می‌باشد (Zarrabi et al., 2019).

گیاه اسطوخودوس توانایی زیادی برای جذب کادمیوم و سرب از خاک‌های آلوده دارد. کادمیوم و سرب تجمع بیش‌تری در ریشه اسطوخودوس نسبت به اندام هوایی دارد (Mohammadian et al., 2017). با وجود عدم نیاز اطلسی مکزیکی به سرب، این عنصر جذب گیاه شده و موجب اثرات منفی بر عملکرد گیاه می‌شود. با افزایش غلظت

اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس در گلخانه تحقیقاتی شرکت فولاد غدیر ایرانیان، شهرستان اردکان، استان یزد انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آماری، تیمارها و آماده‌سازی گلدان‌ها: این پژوهش در شرکت فولاد غدیر ایرانیان که در زمینه تولید آهن اسفنجی فعالیت دارد، به صورت گلدانی با گلدان‌های پلاستیکی چهارکیلوگرمی که با ترکیب ۷۰ درصد ماسه بادی، ۲۰ درصد خاک و ۱۰ درصد کمپوست پر شده بود در گلخانه انجام شد. این پژوهش در قالب آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار اجرا شد. چهار تیمار آب آبیاری، شامل آب آبیاری رایج فضای سبز، ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب، پساب کامل و آب مخلوط (آب آبیاری رایج فضای سبز، پساب و پساب سختی‌گیر رزینی به نسبت مساوی) بود. گلدان‌ها با وزن مساوی از بستر تهیه شده پر شد و سپس در هر گلدان دو نهالی یک‌ساله اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس که هم‌اندازه بودند، کاشته شدند. آبیاری به صورت دستی (غرقابی) هر ۱۰ روز یکبار به مدت ۱۰ دقیقه و در مدت ۷ ماه انجام شد. آنالیز آب‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

صفات مورد بررسی: اندازه‌گیری کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD) در زمان رشد رویشی، طول ریشه و ارتفاع گیاه در پایان آزمایش با متر اندازه‌گیری شد سپس وزن خشک اندام هوایی و ریشه اندازه‌گیری شد.

عصاره‌گیری از نمونه‌های گیاهی: عصاره‌گیری با دستگاه سوکسله به مدت ۴ ساعت انجام شد. برای این منظور، مقدار ۱۰ گرم گیاه خشک شده (سرشاخه‌های هوایی) از هر نمونه با استفاده از حلال اتانول ۸۰ درصد تهیه شد.

ارزیابی میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها با روش

DPPH: ۱۰۰۰ میکرولیتر محلول DPPH به همراه ۱۰ میکرولیتر عصاره و ۳۰ میکرولیتر متانول در یک لوله آزمایش

سرب در محیط، درصد جوانه‌زنی، طول ریشه و ساقه، سطح برگ، ارتفاع گیاه، صفات فیزیولوژیک و کلروفیل کاهش خواهد یافت (Chehrgani Rad et al., 2018). در پژوهشی، تأثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر تجمع فلزات سنگین (آهن، منگنز، کروم، سرب و کادمیم) در خاک دو توده کاج تهران شامل (آبیاری شده با فاضلاب شهری و آبیاری شده با آب چاه) در حومه شهر تهران، بررسی شد. یافته‌ها نشان داد که فاضلاب شهری به طور معنی‌داری مقادیر بیشتری از فلزات سنگین را در مقایسه با آب چاه دارا است (Torabi abd Salehi, 2012).

آبیاری با فاضلاب صنعتی تصفیه نشده در گیاه کتان هندی (*Corchorus olitorius L.*) منجر به کاهش چشمگیر پارامترهای رشد و کاهش زیست‌توده رویشی آن شد. تجمع فلزات سنگین مانند کادمیوم، کروم، مس، سرب و روی منجر به مهار رشد ریشه و کاهش رشد گیاه به دلیل جذب کم‌تر آب و مواد مغذی می‌شود. سرب، کروم، مس و روی مقادیر فاکتور انتقال بالایی داشتند که این نشان‌دهنده توانایی کتان هندی در انتقال فلزات به سیستم شاخساره است (Ahmad et al., 2018). Pirsahab و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی مقایسه کیفیت پساب تصفیه خانه فاضلاب اولنگ مشهد با آب چاه‌های منطقه برای آبیاری پرداختند. در این راستا، غلظت فلزات سنگین مانند آهن، منگنز، نیکل، کادمیوم، کبالت، روی و سرب اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که مقدار میانگین به دست آمده برای فلزات سنگین با اختلاف معنی‌داری از استانداردهای مربوط به استفاده مجدد از پساب در کشاورزی و آبیاری کمتر است. آبیاری با فاضلاب صنعتی باعث کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌شود. همچنین افزایش قابل توجه در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان به دلیل آبیاری با فاضلاب ممکن است مکانیسم دفاعی باشد که در پاسخ به تنش فلزات سنگین ایجاد می‌شود (Hashem et al., 2013). با توجه به موارد فوق، این مطالعه با هدف بررسی اثر پساب تصفیه شده فولاد بر خصوصیات فیزیولوژیک و گیاه‌پالایی گیاهان

جدول ۱- آنالیز آب‌های مورد استفاده.

پارامتر	واحد	آب آبیاری رایج فضای سبز	پساب	پساب سختی گیر
PH	-	۷/۹	۷/۹۸	۷/۹۹
EC	μs/cm	۴۰۷	۱۷۸۸	۴۴۵
TDS	mg/lit	۲۶۴	۱۱۶۲	۲۸۹
TSS	mg/lit	۰/۲	۱۸	۰/۴
T-H (سختی کل)	ppm	۱۷۰	۳۴۹	۱۶
Ca-H (سختی کلسیم)	ppm	۱۲۹	۱۵۴	۹/۴۱
Mg-H (سختی منیزیم)	ppm	۴۱	۱۹۵	۶/۵۹
Cl ⁻	ppm	۳۵	۴۷۱	۵۹/۹
کادمیوم	ppm	-	< ۰/۱	-
سرب	ppm	-	۰/۱	-

به‌دست آمد (Boder et al., 2019).

رابطه (۲)

(غلظت عنصر در ریشه ÷ غلظت عنصر در بخش هوایی)

= فاکتور انتقال

رابطه (۳)

(غلظت عنصر در خاک ÷ غلظت عنصر در بخش هوایی)

= ضریب جذب زیستی

رابطه (۴)

(غلظت عنصر در خاک ÷ غلظت عنصر در ریشه) = فاکتور

غلظت زیستی

تجزیه و تحلیل داده‌ها: از نرم افزار Statistical

Analysis System (SAS) (نسخه ۹/۲) استفاده و تجزیه

و تحلیل داده‌ها از طریق تجزیه واریانس و مقایسه میانگین

با روش LSD در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج

نتایج آنالیز واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای نوع

آب، نوع گیاه و برهمکنش آن‌ها بر کلروفیل، میزان فنل،

وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، عمق ریشه،

ارتفاع گیاه، فاکتور انتقال سرب، ضریب جذب زیستی و

ضریب غلظت زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار بود

(جدول‌های ۲ و ۳). همچنین مشخص شد که نوع آب و

برهمکنش آب و گیاه بر شاخص آنتی‌اکسیدان در سطح یک

ریخته شد سپس جذب محلول‌های نهایی پس از ۳۰ دقیقه

در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده

شد. جهت محاسبه آنتی‌اکسیدان از رابطه ۱ استفاده شد.

رابطه (۱) $I\% = [(A_{Blank} - A_{Sample}) \div A_{Blank}] \times 100$

که در این رابطه A_{Blank} نمونه شاهد و A_{Sample} میزان

جذب نمونه در ۵۱۷ نانومتر می‌باشد.

ارزیابی مقدار کل ترکیب‌های فنلی با استفاده از

مصرف فولین سیوکاتیو: ۲۰ میکرولیتر عصاره در لوله

آزمایش ریخته و ۱۰۰ میکرولیتر فولین سیوکالتیو با غلظت

۱۰ برابر و ۳۰۰ میکرولیتر بی‌کربنات سدیم (۷/۵ درصد

وزنی/حجمی) به آن افزوده شد. لوله‌ها به مدت ۳۰ دقیقه

انکوبه و سپس جذب در طیف نوری ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری

شد. از گالیک اسید به‌عنوان استاندارد استفاده شد.

اندازه‌گیری فاکتور انتقال، ضریب جذب زیستی و

فاکتور غلظت زیستی: برای ارزیابی توانمندی گیاهان و

معرفی آن‌ها برای پالایش آلودگی، فاکتور انتقال^۱، فاکتور

غلظت زیستی^۲ و ضریب جذب زیستی^۳، اندازه‌گیری شد و بر

اساس این شاخص‌ها، گونه مناسب برای گیاه پالایی انتخاب

گردید. پتانسیل گیاه‌پالایی یک گونه با استفاده از فاکتور

انتقال (TF)، فاکتور غلظت زیستی (BCF) و ضریب جذب

زیستی (BAC) محاسبه می‌شود که از رابطه‌های ۲، ۳ و ۴

²Bio concentration Factor

³Biological Absorption Coefficient

¹Translocation Factor

جدول ۲- آنالیز تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر شاخص‌های مورد ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی.

میانگین مربعات								
منابع تغییر	درجه آزادی	کلروفیل	فنل	آنتی‌اکسیدان	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	عمق ریشه	ارتفاع گیاه
نوع آب	۳	۱۶۸/۸۲**	۳۱۰۰۳/۱۵**	۲۴۴۳/۳۴**	۲۹۹/۸۶**	۷۱/۴۴**	۹۰۸/۵۹**	۴۵۵/۸۶**
گیاه	۲	۴۶۴/۰۲**	۳۰۸۸۵/۳۰**	۲۳۱/۲۴ ^{NS}	۲۵۳/۶۸**	۶۷۲/۵۷**	۱۷۱۳/۰۸**	۱۰۱۸۲**
نوع آب * گیاه	۶	۱۲۵/۶۱**	۱۱۷۵۳/۷۷**	۹۴۳/۲۲**	۱۴۸/۸۹**	۴۰/۳۶**	۲۴۵/۷۸**	۴۳۵/۲۰**
خطا	۲۴	۱۳/۶۵	۷۵۷/۶۵	۸۷/۹۳	۱۰/۰۸	۲/۵۶	۳۶/۸۸	۸۹/۸۳
ضریب تغییرات (%)		۹/۱۳	۱۶/۷۶	۱۷/۹۸	۲۲/۷۰	۲۰/۱۰	۱۷/۸۶	۱۸/۱۹

جدول ۳- آنالیز تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر شاخص‌های ارزیابی گیاه پالایی.

میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	فاکتور انتقال	ضریب جذب بیولوژیکی کادمیوم	فاکتور غلظت زیستی کادمیوم	فاکتور جذب انتقال سرب	ضریب جذب بیولوژیکی سرب	فاکتور غلظت زیستی سرب
نوع آب	۳	۰/۰۷۱ *	۰/۰۱۸ ^{NS}	۰/۲۱**	۱/۴۳**	۰/۰۹۴**	۰/۷۲۷**
گیاه	۲	۰/۲۴**	۰/۰۷۷ *	۰/۸۵**	۰/۴۹۰**	۰/۰۱۴**	۰/۰۰۸ ^{NS}
نوع آب * گیاه	۶	۰/۰۶۰*	۰/۰۵۸**	۰/۳۱**	۰/۲۸۸**	۰/۰۵۱**	۰/۱۱۵**
خطا	۲۴	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (%)		۱۷/۵۱	۱۷/۰۵	۱۲/۸۴	۱۲/۵۹	۱۳/۱۵	۱۴/۰۱

کلروفیل در تیمار پساب کامل و کم‌ترین مقدار در تیمار آب مخلوط (۳۴/۰۷) به‌دست آمد. در مورد گیاه اسطوخودوس بالاترین میزان کلروفیل در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب مخلوط و گیاه اسطوخودوس دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل (۵۴/۹۳) می‌باشد (جدول ۴).

فنل: در گیاه اطلسی مکزیکی بالاترین مقدار فنل در تیمار آب مخلوط (۲۹۵/۱۱) میکرو گرم) و کم‌ترین مقدار در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۵۳/۷۴) میکرو گرم) برآورد شد. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین مقدار فنل در تیمار مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل وجود داشت. در مورد گیاه اسطوخودوس بالاترین مقدار فنل در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و کم‌ترین مقدار در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز وجود داشت. در همه تیمارهای

درصد معنی‌دار می‌باشد. اما تیمار نوع گیاه بر شاخص فعالیت آنتی‌اکسیدان تاثیر معنی‌داری نشان نداده است (جدول ۲). همچنین نتایج نشان داد که تاثیر نوع آب و برهمکنش نوع آب و گیاه بر فاکتور انتقال در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. تیمار نوع گیاه نیز در سطح یک درصد معنی‌دار بود. (جدول ۳). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که نوع آب آبیاری مورد استفاده بر ضریب جذب زیستی معنی‌دار نمی‌باشد. تاثیر نوع گیاه و برهمکنش نوع آب و گیاه به‌ترتیب در سطح پنج و یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس نتایج جدول ۳، تاثیر نوع آب و برهمکنش نوع آب و گیاه بر فاکتور غلظت زیستی در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد.

مقایسه میانگین داده‌ها:

کلروفیل: در گیاه اطلسی مکزیکی بالاترین کلروفیل در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین میزان

جدول ۴- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص‌های مورد فیزیولوژیکی.

نوع آب	نوع گیاه	شاخص سبزیگی Spad value	فنل µg Galic acid	آنتی‌اکسیدان %
Ir1	اطلسی مکزیکی	۳۴/۳۷ ^c	۵۳/۷۴ ^d	۴۷/۵۱ ^{cd}
	شاه‌پسند	۳۵/۵۷ ^c	۱۵۵/۲۱ ^c	۷۸/۸۴ ^a
	اسطوخودوس	۵۳/۲۸ ^b	۷۸/۸۱ ^d	۳۸/۲۵ ^{cde}
Ir2	اطلسی مکزیکی	۳۵/۴۳ ^c	۱۵۹/۹۸ ^c	۷۹/۳۷ ^a
	شاه‌پسند	۳۴/۸۳ ^c	۲۵۳/۰۹ ^b	۸۰/۱ ^a
	اسطوخودوس	۴۷/۵۷ ^b	۱۵۷/۸۳ ^c	۳۹/۰۰۷ ^{cde}
Ir3	اطلسی مکزیکی	۳۶/۳ ^c	۱۳۶/۸۳ ^c	۵۰/۸۸۷ ^c
	شاه‌پسند	۳۶/۵۳ ^c	۱۴۳/۷۵ ^c	۳۰/۸۶۷ ^c
	اسطوخودوس	۳۳/۶ ^c	۱۳۹/۴۵ ^c	۵۳/۷۶۷ ^{bc}
Ir4	اطلسی مکزیکی	۴۸/۷۳ ^{ab}	۲۹۵/۱۱ ^{ab}	۲۴/۰۶ ^e
	شاه‌پسند	۳۴/۰۷ ^c	۳۱۳/۰۲ ^a	۳۸/۶۶۷ ^{cde}
	اسطوخودوس	۵۴/۹۳ ^a	۸۳/۵۸ ^d	۳۳/۶ ^{de}

وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد. Ir1: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir2: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir3: پساب کامل، Ir4: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی‌گیر (نسبت مساوی).

کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل حاصل شد. در در گیاه اطلسی مکزیکی بالاترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل حاصل شد. در مورد گیاه اسطوخودوس بالاترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب مخلوط و گیاه اطلسی مکزیکی دارای بیش‌ترین وزن خشک اندام هوایی (۳۴/۷۰۷ گرم) می‌باشد (جدول ۵). وزن خشک ریشه: در گیاه اطلسی مکزیکی بالاترین وزن خشک ریشه در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۲۲/۳۳ گرم) و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل (۸/۱۲۳ گرم) مشاهده شد. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین وزن خشک ریشه در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب وجود داشت. در مورد گیاه اسطوخودوس بالاترین وزن خشک ریشه در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۵/۷ گرم)

برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب مخلوط و گیاه شاه‌پسند دارای بیش‌ترین میزان فنل (۳۱۳/۰۲ میکرو گرم) می‌باشد (جدول ۴).

آنتی‌اکسیدان: در گیاه اطلسی مکزیکی بالاترین مقدار آنتی‌اکسیدان در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و کم‌ترین مقدار در تیمار آب مخلوط وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین مقدار آنتی‌اکسیدان در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۸۰/۰۱) و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل (۳۰/۸۶۷) به‌دست آمد. در مورد گیاه اسطوخودوس بالاترین مقدار آنتی‌اکسیدان در تیمار پساب کامل و کم‌ترین مقدار در تیمار مخلوط بود. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و گیاه شاه‌پسند دارای بیش‌ترین میزان آنتی‌اکسیدان (۸۰/۰۱) می‌باشد (جدول ۴).

وزن خشک اندام هوایی: در گیاه اطلسی مکزیکی بالاترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین وزن خشک اندام هوایی در تیمار آب مخلوط و

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص‌های ریخت‌شناسی.

نوع آب	نوع گیاه	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	عمق ریشه
		gr	gr	cm
Ir ₁	اطلسی مکزیک	۱۵/۶۶ ^{bc}	۲۱/۳۲ ^a	۶۰/۶۶ ^a
	شاه‌پسند	۹/۸۵ ^{cd}	۵/۴۰ ^{cd}	۵۷/۳۳ ^{ab}
	اسطوخودوس	۱۷/۱۲ ^b	۵/۷ ^{cd}	۲۳/۶۶ ^f
Ir ₂	اطلسی مکزیک	۱۵/۹۱ ^{bc}	۲۲/۳۳ ^a	۳۱/۶۶ ^{def}
	شاه‌پسند	۷/۶۷ ^d	۲/۶۴ ^{ef}	۳۸/۶۶ ^{cd}
	اسطوخودوس	۱۹/۲۲ ^b	۳/۱۶ ^{ed}	۲۸ ^{ef}
Ir ₃	اطلسی مکزیک	۱۰/۷۴ ^{cd}	۸/۱۲ ^c	۲۸/۳۳ ^{ef}
	شاه‌پسند	۷/۵۸ ^{cd}	۴/۴۳ ^{de}	۳۴ ^{de}
	اسطوخودوس	۱/۷۱ ^e	۰/۳۶ ^f	۶ ^g
Ir ₄	اطلسی مکزیک	۳۴/۷۰ ^a	۱۴/۴۶ ^b	۲۶/۳۳ ^{ef}
	شاه‌پسند	۱۸/۰۱ ^b	۵/۶۳ ^{cd}	۴۷/۳۳ ^{cb}
	اسطوخودوس	۹/۶۹ ^d	۲/۰۷ ^{ef}	۲۶ ^{ef}

وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد. Ir₁: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir₂: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir₃: پساب کامل، Ir₄: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی‌گیر (نسبت مساوی).

جدول ۶- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص غلظت زیستی سرب.

نوع آب	نوع گیاه	فاکتور غلظت زیستی سرب
Ir ₁	اطلسی مکزیک	۱/۱۶ ^a
	شاه‌پسند	۰/۵۳۶ ^c
	اسطوخودوس	۰/۷۹۳ ^b
Ir ₂	اطلسی مکزیک	۰/۱۸۶ ^g
	شاه‌پسند	۰/۳۱ ^{de}
	اسطوخودوس	۰/۲۹ ^{ef}
Ir ₃	اطلسی مکزیک	۰/۲ ^{fg}
	شاه‌پسند	۰/۴۰۳ ^d
	اسطوخودوس	۰/۲۲۳ ^{efg}
Ir ₄	اطلسی مکزیک	۰/۱۹۳ ^g
	شاه‌پسند	۰/۳۰۳ ^e
	اسطوخودوس	۰/۲۴۶ ^{efg}

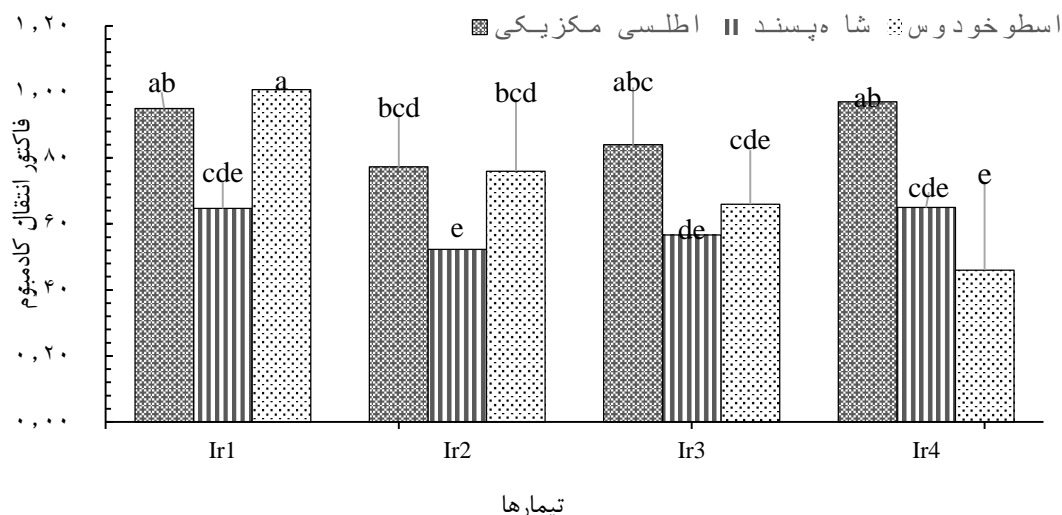
وجود حروف لاتین مشترک در هر ستون بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار به روش LSD در سطح پنج درصد می‌باشد. Ir₁: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir₂: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir₃: پساب کامل، Ir₄: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی‌گیر (نسبت مساوی).

فاکتور انتقال کادمیوم: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ارتباط با گیاه اطلسی مکزیک و شاه‌پسند بین چهار نوع آب آبیاری مورد استفاده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. در مورد گیاه اطلسی مکزیک بالاترین فاکتور انتقال کادمیوم

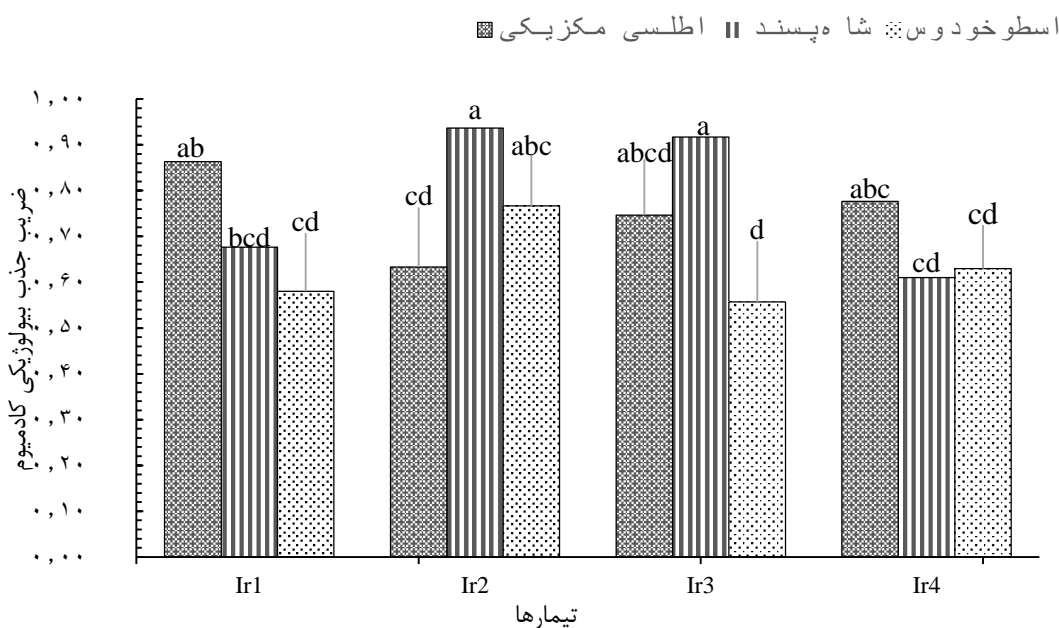
و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل (۰/۳۶ گرم) وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و گیاه اطلسی مکزیک دارای بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۲۲/۳۳ گرم) می‌باشد (جدول ۵).

عمق ریشه: در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز و گیاه اطلسی مکزیک دارای بیش‌ترین عمق ریشه (۶۰/۶۶ سانتی‌متر) می‌باشد (جدول ۵).

ارتفاع گیاه: در گیاه اطلسی مکزیک بالاترین ارتفاع گیاه در تیمار آب مخلوط و کم‌ترین مقدار در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین ارتفاع گیاه در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۷۰/۶۶۷ سانتی‌متر) و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل (۵۹/۸۳۳ سانتی‌متر) وجود داشت. در مورد گیاه اسطوخودوس بالاترین ارتفاع گیاه در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و کم‌ترین مقدار در تیمار پساب کامل به‌دست آمد. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب مخلوط و گیاه اطلسی مکزیک دارای بالاترین ارتفاع گیاه (۱۰۱/۸۳ سانتی‌متر) می‌باشد (جدول ۶).



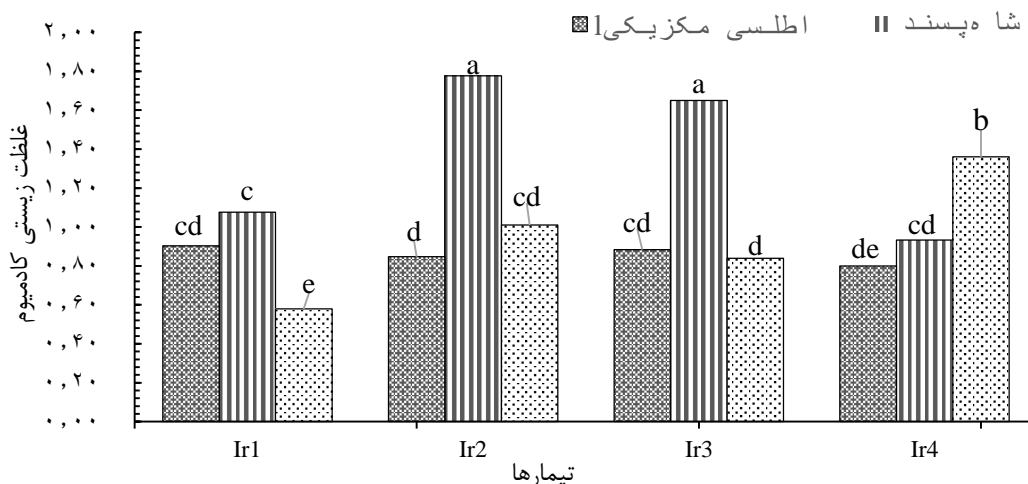
شکل ۱- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص فاکتور انتقال کادمیوم. Ir₁: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir₂: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir₃: پساب کامل، Ir₄: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی گیر (نسبت مساوی).



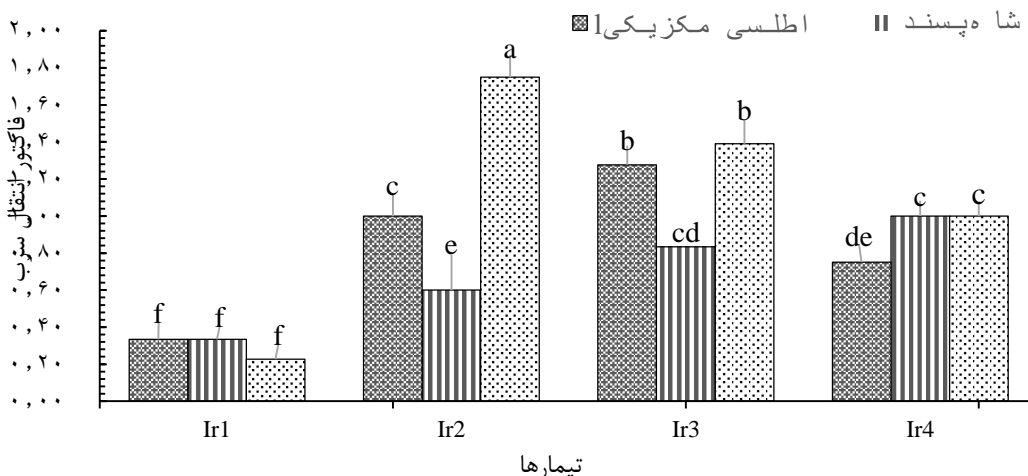
شکل ۲- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص فاکتور انتقال کادمیوم. Ir₁: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir₂: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir₃: پساب کامل، Ir₄: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی گیر (نسبت مساوی).

بالاترین فاکتور انتقال در آب آبیاری رایج فضای سبز (۱/۰۰۶۷) وجود داشت که افزایش معنی‌داری نسبت به سه نوع آب دیگر نشان داد. کم‌ترین فاکتور انتقال کادمیوم در تیمار مخلوط (۰/۴۶) مشاهده شد. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز و گیاه اسطوخودوس دارای بیش‌ترین فاکتور انتقال کادمیوم

در تیمار آب مخلوط (۰/۹۷) و کم‌ترین مقدار در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۰/۷۷) وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، بالاترین فاکتور انتقال کادمیوم در تیمار آب مخلوط (۰/۶۵) و کم‌ترین مقدار در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۰/۵۲۳۳) می‌باشد. نتایج نشان داد که در مورد گیاه اسطوخودوس



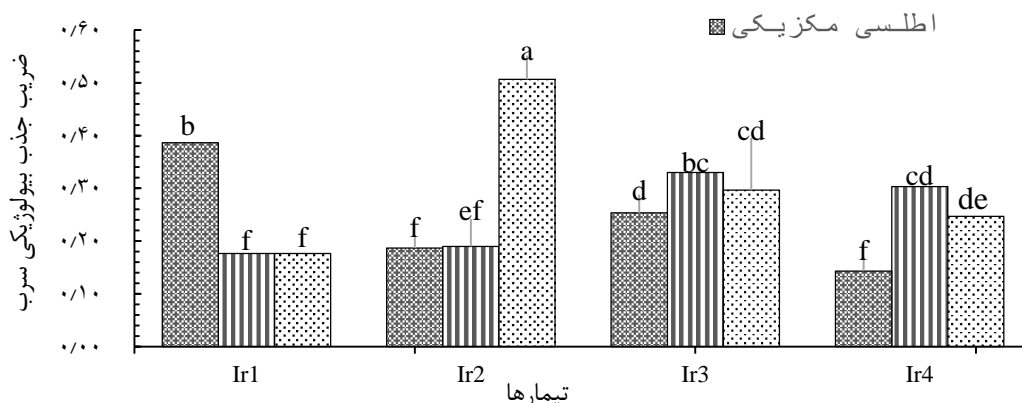
شکل ۳- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص فاکتور غلظت زیستی کادمیوم. Ir1: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir2: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir3: پساب کامل، Ir4: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی‌گیر (نسبت مساوی).



شکل ۴- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص فاکتور انتقال سرب. Ir1: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir2: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir3: پساب کامل، Ir4: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی‌گیر (نسبت مساوی).

کامل تفاوت معنی‌داری را نسبت به دو نوع آب دیگر نشان داد. بالاترین و پایین‌ترین ضریب جذب زیستی کادمیوم به ترتیب در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۰/۹۳۶۷) و تیمار مخلوط (۰/۶۱) وجود داشت. نتایج نشان داد که در مورد گیاه اسطوخودوس تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب تفاوت معنی‌داری را نسبت به تیمار پساب کامل نشان داد. بالاترین ضریب جذب

(۱/۰۰۶۷) می‌باشد (شکل ۱).
 ضریب جذب زیستی کادمیوم: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ارتباط با گیاه اطلسی مکزیک تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز و تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب تفاوت معنی‌داری را نسبت به دو نوع آب دیگر نشان داد. در ارتباط با شاه‌پسند، دو تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و تیمار پساب



شکل ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص فاکتور جذب زیستی سرب. Ir1: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir2: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir3: پساب کامل، Ir4: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی گیر (نسبت مساوی).

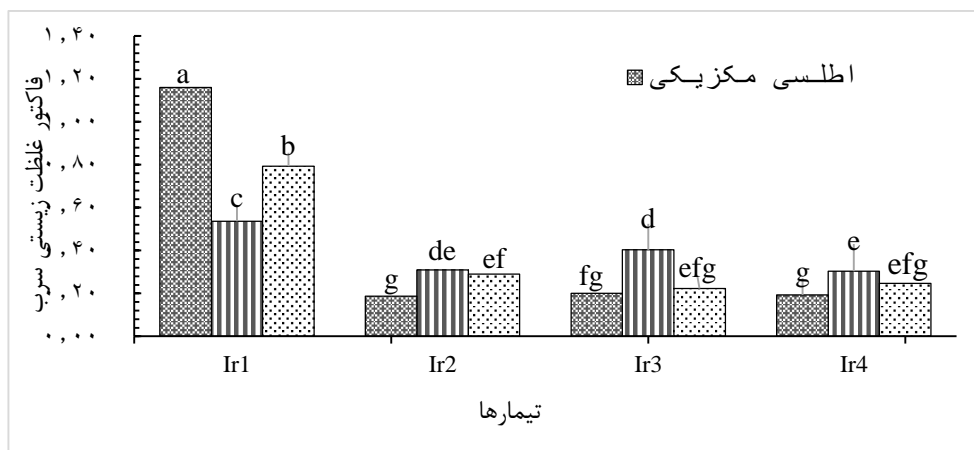
آب‌های مختلف تفاوت معنی‌داری به‌دست آمد. بالاترین و پایین‌ترین فاکتور انتقال سرب به‌ترتیب در تیمار آب مخلوط (۱) و تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۰/۳۳۳۳) وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و گیاه اسطوخودوس دارای بیش‌ترین فاکتور انتقال سرب (۱/۷۵) می‌باشد (شکل ۴).

ضرب جذب زیستی سرب: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ارتباط با گیاه اطلسی مکزیکی دو تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب کامل تفاوت معنی‌داری را نسبت به دو نوع آب دیگر نشان داد. بالاترین و پایین‌ترین ضرب جذب زیستی سرب به‌ترتیب در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۰/۳۸۶۷) و تیمار آب مخلوط (۰/۱۴۳۳) وجود داشت. در ارتباط با شاه‌پسند، دو تیمار پساب کامل و آب مخلوط تفاوت معنی‌داری را نسبت به دو تیمار دیگر نشان داد. بالاترین و پایین‌ترین ضرب جذب زیستی سرب به‌ترتیب در تیمار پساب کامل (۰/۳۳) و تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۰/۱۷۶۷) وجود داشت. نتایج نشان داد که در مورد گیاه اسطوخودوس دو تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز و ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب از نظر ضرب جذب زیستی تفاوت معنی‌داری نسبت به دو تیمار دیگر ارائه کرد. بالاترین و پایین‌ترین ضرب جذب زیستی سرب

زیستی کادمیوم در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۰/۷۶۶۷) و کم‌ترین در تیمار پساب کامل (۰/۵۵۶۷) وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و گیاه شاه‌پسند دارای بیش‌ترین ضرب جذب زیستی کادمیوم (۰/۹۳۶۷) می‌باشد (شکل ۲).

فاکتور غلظت زیستی کادمیوم: بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ارتباط با گیاه اطلسی مکزیکی بین آب‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. بالاترین و پایین‌ترین فاکتور غلظت زیستی کادمیوم به ترتیب در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۱/۷۷۶۷) و تیمار مخلوط (۰/۹۳۳۳) وجود داشت. نتایج نشان داد که در مورد گیاه اسطوخودوس بین تیمار آب مخلوط و آب آبیاری رایج فضای سبز تفاوت معنی‌داری مشاهده شد. بالاترین و پایین‌ترین فاکتور غلظت زیستی کادمیوم به ترتیب در تیمار مخلوط (۱/۳۶) و تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۰/۵۸) وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و گیاه شاه‌پسند دارای بیش‌ترین فاکتور غلظت زیستی کادمیوم (۱/۷۷۶۷) می‌باشد (شکل ۳).

فاکتور انتقال سرب: آنالیز مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ارتباط با گیاه اطلسی مکزیکی و اسطوخودوس بین



شکل ۶- مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای نوع آب مورد استفاده و نوع گیاه بر شاخص فاکتور جذب زیستی سرب. Ir₁: آب آبیاری رایج فضای سبز، Ir₂: ۵۰٪ آب آبیاری رایج فضای سبز + ۵۰٪ پساب، Ir₃: پساب کامل، Ir₄: مخلوط آب آبیاری رایج فضای سبز + پساب + پساب سختی‌گیر (نسبت مساوی).

بحث و نتیجه‌گیری

معمولاً گیاهان زینتی که در فضای سبز کارخانجات و نواحی صنعتی قرار دارند، نسبت به کیفیت آب آبیاری واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در این تحقیق، مشخص شد که هر سه گیاه مورد مطالعه، پاسخ‌های متفاوتی به تیمارهای نشان دادند. گیاه اسطوخودوس، انباشت‌کننده متوسط برای فلز سرب و کادمیوم است. در هر سه نوع گیاه غلظت فلزات کادمیوم و سرب از خاک به اندام هوایی گیاهان کاهش یافت. سرب اثر منفی بر ارتفاع گیاه اطلسی مکزیکی و اثر مثبت بر ارتفاع گیاه شاه‌پسند و اسطوخودوس داشت. کاهش زیست‌توده گیاهی ممکن است با فعالیت‌های متابولیکی آشفته همراه باشد که دلیل آن کاهش جذب مواد مغذی ضروری هنگام رشد تحت تنش سرب می‌باشد (Gupta et al., 2019). احتمالاً کاهش ارتفاع گیاهان در اثر افزایش کادمیوم، ناشی از تأثیر منفی این عنصر بر رشد و نمو سلولی گیاه است. کاهش تقسیم سلولی و مهار رشد سلول را می‌توان از دیگر دلایل کاهش ارتفاع گیاه تحت تنش کادمیوم دانست (Domańska et al., 2021). کاهش رشد اندام هوایی به دلیل تأثیر کادمیوم ناشی از کاهش محتوای کلروفیل و فعالیت فتوسنتزی نیز است (Shah et al., 2008).

به ترتیب در ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۰/۵۰۶۷) و تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز (۰/۱۷۶۷) وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و گیاه اسطوخودوس دارای بیش‌ترین ضریب جذب زیستی سرب (۰/۵۰۶۷) می‌باشد (شکل ۵).

فاکتور غلظت زیستی سرب: نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در ارتباط با گیاه اطلسی مکزیکی، شاه‌پسند و اسطوخودوس بالاترین فاکتور غلظت زیستی در تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز ((۱/۱۶)، (۰/۵۳۶۷) و (۰/۷۹۳۳)) وجود داشت که افزایش معنی‌داری نسبت به سه نوع آب دیگر نشان داد ولی بین سه نوع آب دیگر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. کم‌ترین فاکتور غلظت زیستی در گیاه اطلسی مکزیکی در تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب (۰/۱۸۶۷)، شاه‌پسند در تیمار آب مخلوط (۰/۳۰۳۳) و اسطوخودوس در تیمار پساب کامل (۰/۲۲۳۳) وجود داشت. در همه تیمارهای برهمکنش مورد بررسی، تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز و گیاه اطلسی مکزیکی دارای بیش‌ترین فاکتور غلظت زیستی سرب (۱/۱۶) می‌باشد (شکل ۶).

یکی از دلایلی که ریشه بیش‌تر از ساقه تحت تأثیر فلزات سنگین از جمله کادمیوم قرار می‌گیرد این است که ساقه بیرون از آلودگی کادمیم قرار دارد و ریشه در تماس مستقیم با این فلز سنگین است. بنابراین طبیعی است که بیش‌تر تحت تأثیر آثار مخرب کادمیم باشد (Shariat *et al.*, 2011). تثبیت و تجمع فلزات سنگین در ریشه و انتقال کم‌تر به اندام هوایی در مقایسه با ریشه‌ها که ممکن است به دلیل تثبیت آلاینده‌های فلزی در واکوئل ریشه و سلول‌ها باشد، یک استراتژی است که برخی از گیاهان برای مقابله با سمیت فلزات سنگین اتخاذ می‌کنند (Kamalpur *et al.*, 2015). با افزایش غلظت فلزات در خاک، جذب فلزات توسط محصولات به‌طور خطی افزایش نمی‌یابد. مزیت آشکار این پدیده این است که اگر چه آبیاری طولانی مدت فاضلاب منجر به افزایش غلظت فلز در خاک می‌شود، اما به‌همان نسبت به زنجیره غذایی منتقل نمی‌شود (Rattan *et al.*, 2005).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که در اکثر شاخص‌های مورد بررسی، تیمار مخلوط آبیاری (Ir₂, Ir₄) بیش‌ترین میزان را نشان دادند. این نتیجه با خصوصیات پساب کاملاً همخوانی دارد، زیرا استفاده از پساب در مناطق گرم و خشک، به‌علت افزایش مواد آلی، موجب آثار مطلوب روی خصوصیات فیزیکی خاک شده و به این ترتیب به رشد مطلوب گیاه کمک می‌کند (Faizi and Zabih, 2009). Alizadeh و همکاران (۲۰۰۱)، گزارش کردند که آبیاری با فاضلاب باعث افزایش معنی‌دار طول گیاه می‌گردد. Ghanbari و همکاران (2007)، بیان کردند که آبیاری با پساب تصفیه شده در مراحل رشد رویشی گیاه باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌گردد. همچنین Cristaldi و همکاران (۲۰۲۰)، نیز در بررسی خود روی گیاه کاهو گزارش کردند که وزن اندام هوایی، اندام زیرزمینی، کل ماده تر و خشک گیاهی تحت تأثیر تیمار آبیاری با فاضلاب تصفیه شده افزایش معنی‌داری داشته است.

برخی از گیاهان مثل یونجه، کادمیوم را در ریشه پخش می‌کنند و برخی دیگر مانند کاهو در برگ‌ها توزیع می‌کنند. بنابراین نوع گیاه در میزان جذب، تأثیر قابل توجهی دارد. سرب با جلوگیری از سنتز کلروفیل تأثیر منفی بر فرآیند فتوسنتز دارد بنابراین احتمالاً یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل، افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) ناشی از سرب و مس بوده است (Torabian *et al.*, 2002). سرب و کادمیوم با کاهش محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی، مهار زنجیره انتقال الکترون، افزایش فعالیت آنزیم کلروفیل‌از و مهار آنزیم‌های سنتز کلروفیل باعث کاهش محتوای کلروفیل گیاهان می‌شوند. از طرف دیگر سرب و کادمیوم می‌توانند با جایگزینی با فلزاتی نظیر آهن، منگنز و روی در متالوآنزیم‌ها باعث کمبود این عناصر در گیاه شوند در نتیجه میزان کلروفیل گیاهان کاهش یابد (Amari *et al.*, 2017). از نشانه‌های سمیت سرب ممانعت سریع از رشد ریشه، دوره رشد کوتاه و کلروزیس است. مسمومیت با سرب درصد جوانه‌زنی، طول ساقه و ریشه، ارتفاع گیاه، مساحت سطح برگ و کلروفیل کل گیاه اطلسی را کاهش داده است. همچنین با افزایش غلظت سرب، فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدان افزایش یافته است (Chehrgani Rad *et al.*, 2018). گیاهانی که با فاضلاب صنعتی آبیاری می‌شوند، در مقایسه با سایر تیمارهای فاضلاب، فلزات سنگین بیش‌تری را در شاخه‌ها و ریشه‌های خود جمع می‌کنند که در نتیجه منجر به مقادیر بالاتر BCF می‌شود. در واقع غلظت فلزات سنگین در قسمت‌های گیاه به‌میزان دسترسی آن‌ها در خاک و آب ارتباط دارد (Kafil *et al.*, 2019). سرب باعث افزایش واکنش فیزیولوژیک در گیاهان می‌شود، در حالی که گیاهان واکنش فیزیولوژیک معنی‌داری به عنصر کادمیوم موجود در گیاهان مورد مطالعه نشان ندادند (Nazari Alamdarloo 2021). گیاه اسطوخودوس توانایی زیادی برای جذب کادمیوم و سرب از خاک‌های آلوده دارد و این گیاه برای گیاه جذبی کادمیوم و سرب مناسب می‌باشد (Mohammadian *et al.*, 2017).

سرب مناسب هستند. ضریب جذب زیستی کادمیوم و سرب هم‌مه‌گیاهان بین ۱-۰/۱ به‌دست آمد که به‌عنوان گیاهان انباشت‌کننده متوسط برای فلز کادمیوم و سرب محسوب می‌شوند. به‌طور کلی، گیاهان شاه‌پسند (تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز، تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و تیمار پساب کامل) و اسطوخودوس (تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و تیمار آب مخلوط) برای گیاه‌پالایی کادمیوم مناسب می‌باشند.

گیاه اسطوخودوس که با تیمار آب آبیاری رایج فضای سبز آبیاری شد ضریب انتقال بالاتر از یک دارد که برای استخراج گیاهی کادمیوم مناسب است. ضریب انتقال سرب گیاه اسطوخودوس (تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب و تیمار پساب کامل) و اطلسی مکزیکی (تیمار پساب کامل) بالاتر از یک و گیاهان اطلسی مکزیکی (تیمار ۵۰٪ اختلاط آب آبیاری رایج فضای سبز و پساب)، شاه‌پسند و اسطوخودوس (تیمار آب مخلوط) ضریب انتقال برابر یک دارند که گیاهان مورد نظر برای استخراج گیاهی

References

- Aghelan, N., Sobhanardakani, S., Cheraghi, M., Lorestani, B., Merrikhpour, H., 2021. Evaluation of some chelating agents on phytoremediation efficiency of *Amaranthus caudatus* L. and *Tagetes patula* L. in soils contaminated with lead. *Journal of Environmental Health Science Engineering* 19, 503-514.
- Ahmed, D.A., Slima, D.F., 2018. Heavy metal accumulation by *Corchorus olitorius* L. irrigated with wastewater. *Environmental Science and Pollution Research* 25, 14996-15005.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I.E., Yavaş, İ., Ünay, A., Abdel-Daim, M.M., Bin-Jumah, M., Hasanuzzaman, M., Kalderis, D., 2020. Application of Floating Aquatic Plants in Phytoremediation of Heavy Metals Polluted Water: A Review. *Sustainability* 12, 1-33.
- Amari, T., Ghnaya, T., Abdelly, C., 2017. Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. *South African Journal of Botany* 111, 99-110.
- Azab, E., Hegazy, A.K., 2020. Monitoring the efficiency of *Rhazya stricta* L. plants in phytoremediation of heavy metal-contaminated soil. *Plants* 9, 1-15.
- Aziz, S.Q., Saleh, S.M., Omar, I.A., 2019. Essential Treatment Processes for Industrial Wastewaters and Reusing for Irrigation. *Zanco Journal of Pure and Applied Sciences* 31, 269-275.
- Bader, N., Alsharif, E., Nassib, M., Alshelmani, N., Alalem, A., 2019. Phytoremediation potential of *Suaeda vera* for some heavy metals in roadside soil in Benghazi, Libya. *Asian Journal of Green Chemistry* 3, 82-90.
- Chehrgani Rad, A.L., Farzan, S., Shirkhani, Z., 2018. Study of the effect of lead treatment on some morphological and physiological characteristics of (*Petunia hybrida* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 30, 47-57. (In Persian)
- Cristaldi, A., Conti, G.O., Cosentino, S.L., Mauromicale, G., Copat, C., Grasso, A., Zuccarello, P., Fiore, M., Restuccia, C., Ferrante, M., 2020. Phytoremediation potential of *Arundo donax* (Giant Reed) in contaminated soil by heavy metals. *Environmental Research* 185, 1-16.
- Domańska, J., Leszczyńska, D., Badora, A., 2021. The Possibilities of Using Common Buckwheat in Phytoremediation of Mineral and Organic Soils Contaminated with Cd or Pb. *Agriculture* 11, 1-11.
- Erfani, A., Haqnia, Gh.H., Alizadeh, A., 2003. The effect of irrigation with wastewater on the yield and quality of lettuce and some soil properties. *Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources* 6, 71-90. (In Persian)
- Faizi, H., Zabihi, H.R., 2009. The effect of the use of treated municipal effluent on the yield of four forage plants and the accumulation of heavy elements in the soil. *Proceedings of the 3rd National Congress on Recycling and Utilization of Renewable Organic Resources in Agriculture, Khorasgan Azad University*. 127-131. (In Persian).
- Ghanbari, A., Abedi Kupai, J., Taei Samirm, J., 2007. Effect of irrigation with treated

- municipal wastewater on wheat yield and quality and some soil properties in Sistan region. *Agricultural sciences and technologies and natural resources* 10, 59-74. (In Persian)
- Gupta, S.K., Roy, S., Chabukdhara, M., Hussain, J., Kumar, M., 2019. Risk of metal contamination in agriculture crops by reuse of wastewater: an ecological and human health risk perspective. In *Water Conservation, Recycling and Reuse: Issues and Challenges*, 55-79.
- Hashem, H.A., Hassanein, R.A., El-Deep, M.H., Shouman, A.I., 2013. Irrigation with industrial wastewater activates antioxidant system and osmoprotectant accumulation in lettuce, turnip and tomato plants. *Ecotoxicology and environmental safety* 95, 144-152.
- 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* 21, 92-100.
- Kamalpur, S., Motaharzadeh, b., Alikhani, H.A., Zarei, M., 2014. The effect of some biotic factors on lead plant purification and phosphorus uptake by *Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis)*. *Iranian Forest Journal* 5, 457-470. (In Persian)
- Mohammadian, Z., Gholam Ali Zadeh Ahangar, A., Ghorbani, M., Mohkami, Z., 2016. Effect of potassium fertilizers on phytoremediation of lead and cadmium in a soil contaminated with lavender (*Lavendula Officinalis L.*). *Journal of Soil and Water Conservation Research* 23, 273-287. (In Persian)
- Nazari Alamdarloo, B., Mosleh Arani, A., Shojaei Borjoui, S., Azimzadeh, H.R., Kiani, B., 2021. Bioaccumulation of lead and cadmium and evaluation of tolerance index of a number of tree, shrub and shrub species to air pollution in high-traffic areas of Yazd. *Journal of Health and Environment* 13, 299-318. (In Persian)
- Pirsaheb, M., Sharafi, K., Dogohar, K., 2012. Compare the quality of the wastewater treatment plant effluent Olang Mashhad with water wells in the area for irrigation. *Water & Wastewater* 4, 116-121. (In Persian)
- 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 & Environment* 109, 310-322.
- Shah, F., Ahmad, N., Masood, K., Zahid, D., 2008. The influence of cadmium and chromium on the biomass Production of shisham (*Dalbergia sissoo roxb.*) seedlings. *Pakistan Journal of Botany* 40, 1341-1348.
- Shariat, A., Osare, M.H., Qamari Zare, A., 2010. The effect of cadmium on some physiological parameters in *Eucalyptus occidentalis*. *Water and Soil Science* 14, 145-153. (In Persian)
- Tabari, M., Salehi, A., 2012. Impact of irrigation by municipal sewage on accumulation of heavy metals in soil. *Journal of Environmental Science and Technology* 13, 49-60. (In Persian)
- Torabian, A., Mahjouri, M., 2002. Heavy metals uptake by vegetable crops irrigated with waste water in south Tehran. *Journal of Environmental Study* 16, 89-196. (In Persian)
- Zarrabi, S., Hatamikia, M., Dorosti, N., Zarrabi, M., Mortazavi, S., 2019. Investigation of accumulation of heavy metals (lead, cadmium, copper, nickel and mercury) in some vegetables cultivated in Khorramabad and Aleshtar cities of Lorestan province in summer 2016. *Journal of Lorestan University of Medical Sciences* 20, 1-12. (In Persian)