Environ. Water Eng., 2022, 8(4), 796-809 DOI: 10.22034/JEWE.2022.311963.1653

Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

Research Paper

Phytoremediation of Heavy Metals by Vetiver Plant Species in Unconventional Water

Sadroddin Abdollahi Mansurkhani[1], Mehdi Asadilour[2*], Ali Farzadian[3], Aslan Egdernezhad[2] and Ali Asareh[2]

[1]Ph.D. Scholar, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[2]Assist. Professor of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

[3]Assist. Professor, Department of Agriculture and Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran

Article information

Received: October 25, 2021
Revised: February 28, 2022
Accepted: March 03, 2022

Keywords:
Heavy Metals
Industrial Wastewater
Vetiveria Zizonicides
Waste Leachate
Randomized Complete Design

*Corresponding author**:**
asadilour@iauahvaz.ac.ir

Abstract

The use of natural processes, including the physiological potential of plants, is a suitable solution. In this study in order to assess the effect of waste leachate and industrial wastewater on the absorption of heavy metals by the Vetiver plant, two separate factorial experiments were performed in the crop year 2020-2021 as a completely randomized design. Experiment treatments factors included waste leachate and industrial wastewater use separately on 5 levels (0, 25, 50, 75, and 100%) in three replications (B1, B2, B3) and two irrigation periods of 5 and 10 days (A5, A10). The amount of iron, zinc, copper, manganese, potassium, and sodium measured in vetiver showed waste leachate had a significant effect at the level of 5% ($P < 0.05$). Meanwhile, the use of industrial wastewater had a significant effect on the amount of iron, zinc, copper, manganese, and sodium absorbed by the vetiver at the level of 5% ($P < 0.05$) but it had no significant effect on the potassium amount ($P > 0.05$). R4A1 and W5A1 treatments showed a relatively good response with a decrease in biomass production below 10% compared to the control treatment. According to the results, the Vetiver species has relatively high compatibility in the absorption of heavy metals with unconventional waters and can have a special application for soil and water protection.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

It is vital to find a safe way to reduce soil and water pollution that is low-cost, fast, and does not endanger the health of the environment. The use of natural processes, including the physiological potential of plants, is a suitable solution. The selection of plants that treat wastewater and contaminated soils while their growth period in the contaminated condition is

completed is so important. Vetiver belongs to the Poaceae family and is a perennial plant known for controlling soil erosion, which tolerates a wide range of pH and levels of toxic and heavy metals. Necessity for research on the use of unconventional water resources and its positive and negative consequences, especially for water-scarce areas as well as areas with inadequate water quality, is felt more than ever. The purpose of this study was to investigate the adaptation of Vetiver plant species under unconventional water irrigation for watershed management purposes, wastewater treatment, and the use of wastewater to create green space.

Material and Methods

In this study, in order to know the effect of waste leachate and industrial wastewater on the absorption of heavy metals from unconventional waters by Vetiver, two separate factorial experiments were conducted in the crop year 2020-2021 in a randomized complete block design. Farm soil was removed from the 30 cm depth to Greenhouse.

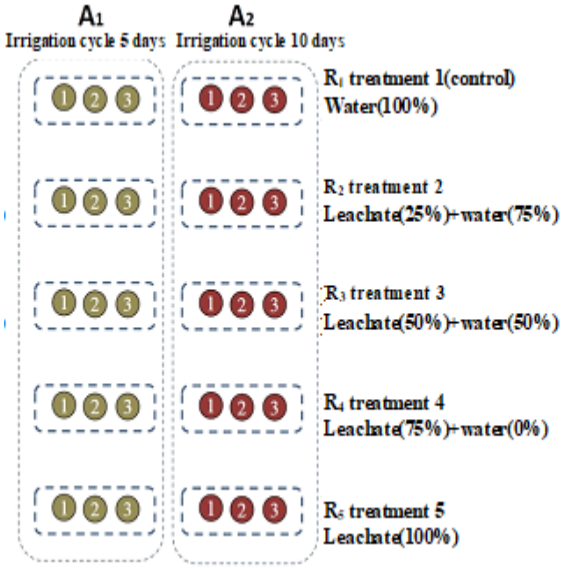


Fig. 1 Arrangement of waste leachate and irrigation water treatments

After sieving the soils through a 2 mm, 60 clay pots were prepared with 10 kg of field soil, 2.5 kg of aeolian sand, and 750 g of organic fertilizer. Vetiver seedlings were planted and growth conditions in a greenhouse with a temperature of 30 °C were prepared. Experiment factors include, waste leachate on surfaces (R1, R2, R3, R4, R5) and industrial wastewater at the levels (W1, W2, W3, W4, W5), each in three replications (B1, B2, B3) were performed with two water stresses at two levels of 5 and 10 days (A5, A10). The acid digestion method was used to measure elements in plant samples (Fig.1 and 2).

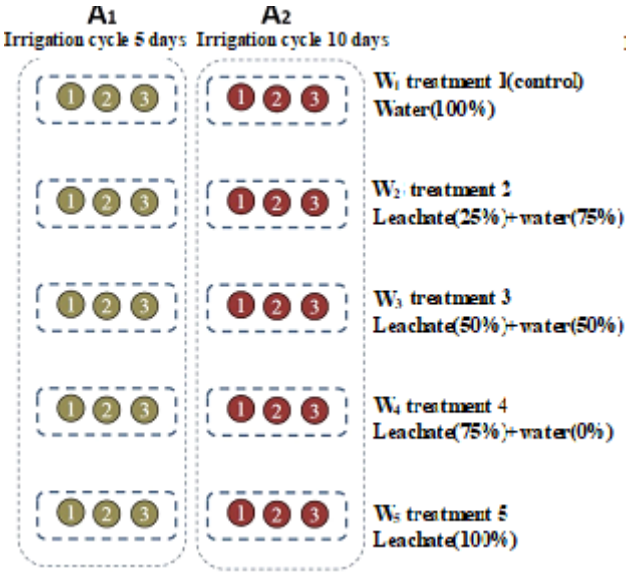


Fig. 2 Arrangement of industrial wastewater and irrigation water treatments

To measure the elements in the soil, 5 g of soil was poured into an Erlenmeyer flask and 10 ml of diethylenediamine pentaacetic acid extract solution with a concentration of 0.005 M was added to it (DTPA extraction method). The resulting suspension was stirred for half an hour and extracted with Whatman 12 filter paper. After adjusting and calibrating the standards, the absorption and concentration of the elements were determined. The data were then analyzed by SAS software and the means were compared by the Duncan test.

Results

The experimental results showed that irrigation with unconventional waters of municipal waste and industrial wastewater had a significant effect on the amount of iron, zinc, copper, manganese, potassium, and sodium absorbed by the vetiver at the level of 5%. But it had no significant effect on potassium ($P>0.05$). Treatments R4A1 and W5A1 are excellent feedback from the combination of unconventional water and irrigation stress for biomass in (*Vetiveria zizanioides*). According to the results, Vetiver species has relatively high compatibility in the absorption of heavy metals with unconventional waters and can have a special application for soil and water protection.

Table 1 Average squares of elements in 5 levels of waste leachate and 2 levels of water stress

Sources of changes	Degrees of freedom	Fe (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	K (%)	Na (%)
Repetition	2	8475.75 $^{n.s}$	2590.2 $^{n.s}$	20.4 $^{n.s}$	5547.5 $^{n.s}$	5547.6 $^{n.s}$	0.06 $^{n.s}$
Waste leachate	4	25532.3*	8641.3*	39*	15910.5**	21795*	0.19*
Water stress	1	6.3*	1866.5**	59.4*	5433.8*	24435*	0.009 $^{n.s}$
Waste leachate × Water stress	4	7230.7*	1438.5*	16**	6956/9*	5547.5*	0.05*
Error	8	2718.8	1176.2	15.3	818	229.9	0.012
Total	29						

$^{n.s}$Non-significant; *significant at the five percent level; **significant at the one percent level

Table 2 The average squares of the elements in 5 levels of industrial wastewater and 2 levels of water stress

Sources of changes	Degrees of freedom	Fe(ppm)	Zn(ppm)	Cu(ppm)	Mn (ppm)	K (%)	Na (%)
Repetition	2	1713794.9 $^{n.s}$	576855.9 $^{n.s}$	3.5 $^{n.s}$	3148.5 $^{n.s}$	0.03 $^{n.s}$	0.02 $^{n.s}$
Industrial Wastewater	4	** 70667.8	**215265.4	* 8.9	* 5675.5	0.09 $^{n.s}$	*0.06
Water Stress	1	* 76120.2	*104.8	* 1.08	4273.8 $^{n.s}$	0.007 $^{n.s}$	0.18 $^{n.s}$
Industrial Wastewater × Water Stress	4	* 41676.6	17832.9*	* 2.9	*7479.6	* 0.05	*0.02
Error	8	85089.9	5959.2	2.3	6584.2	0.02	0.012
Total	29						

$^{n.s}$ Non-significant; * significant at the five percent level; ** significant at the one percent level

Conclusions

Vetiver is one of the plants that has distinct and superior capabilities in the field of growth in unusual conditions and absorption of pollution from water and soil. According to the results, the following results were summarized:

1. In the study of vetiver characteristics, the results of waste leachate application had a significant effect on the amount of iron, zinc, copper, manganese, potassium, and sodium (P <0.05).
2. The highest amount of iron, copper, and sodium was seen in the fourth treatment of the combination of contaminated water and irrigation water in a ratio of 3:1, and the highest yield of potassium was seen in the third treatment of the combination of contaminated water and irrigation water in a ratio of 2: 2 and the highest amount of zinc and manganese was seen in the fifth treatment, combination of contaminated water and irrigation in the ratio of 4:0.
3. Application of irrigation cycle had no significant effect on yield and its components (P> 0.05). The highest incremental yield was obtained in 5 days irrigation cycle and the lowest 10 days of irrigation.
4. The use of industrial wastewater had a significant effect on iron, zinc, copper, manganese and sodium (P <0.05) but had no significant effect on potassium (P> 0.05).
5. Treatments R4A1 and W5A1 provide excellent feedback on the combination of unconventional water and irrigation cycle for biomass in vetiver.

At the end, the use of vetiver will have a high ability to eliminate pollution and will significantly help to protect the environment.

Acknowledgment

We are grateful to the Islamic Azad University of Firoozabad for its cooperation in conducting this research in the greenhouse of that university.

Data Availability

The data used in this research are presented in the text of the article. The data can be sent by email by the responsible author upon request.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

دوره ۸، شماره ۴، صفحات: ۷۹۶-۸۰۹ DOI: 10.22034/JEWE.2022.311963.1653

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

مقاله پژوهشی

گیاه‌پالایی فلزات سنگین به‌وسیله گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با آب‌های نامتعارف

صدرالدین عبدالهی منصورخانی[۱]، مهدی اسدی‌لور[۲*]، علی فرزادیان[۳]، اصلان اگدرنژاد[۲] و علی عصاره[۲]

[۱]دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۲]استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

[۳]استادیار، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

چکیده

استفاده از فرآیندهای طبیعی ازجمله پتانسیل فیزیولوژیکی گیاهان راه‌حلی مناسب برای رفع آلودگی فلزات سنگین است. در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی بر میزان جذب فلزات سنگین از آب‌های نامتعارف به‌وسیله گیاه وتیور، تعداد دو آزمایش جداگانه در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. متغییرهای آزمایش شامل کاربرد شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی در سطوح (۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، و۱۰۰٪) هرکدام در سه تکرار (B1، B2، و B3) با دو سطح دور آبیاری ۵ و ۱۰ day (A5 و A10) اجرا شد. نتایج آزمایش نشان داد، آبیاری با آب‌های نامتعارف شیرابه زباله‌های شهری، تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن، روی، مس، منگنز، پتاسیم، سدیم جذب‌شده توسط وتیور در سطح ۵٪ داشت ($P<0.05$). کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن، روی، مس، منگنز، سدیم جذب‌شده توسط وتیور در سطح ۵٪ داشت ($P<0.05$) اما تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم نداشت ($P>0.05$). تیمارهای R4A1 و W5A1 با کاهش تولید زیست توده زیر ۱۰ درصد نسبت به شاهد، بازخورد نسبتا خوبی از خود نشان داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، گونه وتیور دارای سازگاری نسبتاً بالایی در جذب فلزات سنگین با آب‌های نامتعارف داشت. این گیاه در راستای حفاظت آب‌وخاک می‌تواند کاربرد ویژه‌ای داشته باشد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۸/۰۳]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۱۲/۰۹]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۱۲/۱۲]

واژه‌های کلیدی:

شیرابه زباله

طرح کاملاً تصادفی

عناصر سنگین

فاضلاب صنعتی

گیاه وتیور

***نویسنده مسئول:**

asadilour@iauahvaz.ac.ir

۱- مقدمه

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های مناسب در کنترل و جذب آلاینده‌های آلی و معدنی به‌صورت پالایش سبز، در کنار سایر روش‌های تصفیه فاضلاب می‌باشد (Akbarzadeh et al. 2015). ریشه‌های گیاهان قادر به ترشح آنزیم‌هایی هستند

که فعالیت میکروبی را افزایش داده و زمینه را برای جذب برخی آلاینده‌ها مهیا می‌سازند (Dotaniya et al. 2020; Tsao 2003; Otieno et al. 2018). نکته بسیار مهم در گیاه‌پالایی، انتخاب گیاهانی است که ضمن پالایش پساب و خاک‌های آلوده، امکان تکمیل دوره رشد آن‌ها در شرایط آلودگی نیز وجود داشته باشد (Hesham and Rashed 2002).

گونه گیاهی وتیور به شاخه گیاهان گلدار، رده‌ی لیلیوپسیدا، تیره غلات، جنس *Vetiveri*، خانواده گندمیان، زیر خانواده *Andropogoneae*، گونه *Vetiveria Zizanioides* تعلق دارد (Pentyala and Eapen 2020; Sharma et al. 2007). گیاه وتیور گونه‌ای علفی، پر رشد، مقاوم به شرایط متفاوت محیطی، چندمنظوره و دارای سیستم ریشه‌ای بسیار متراکم و قوی است، در سطوح شیب‌دار به‌خوبی رشد می‌کند و حتی می‌توان آن را به روش هیدروپونیک روی آب‌های سطحی کشت نمود. ارتفاع آن ۵۰-۱۵۰cm و به گستردگی ۳۰cm می‌باشد و این گیاه ضمن حفاظت آب‌وخاک به‌عنوان گونه مناسبی در جهت پالایش آلودگی‌های محیط‌زیستی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Panja et al. 2020; Darajeh et al. 2019).

علف وتیور متعلق به خانواده *poaceae* و بومی جنوب و جنوب شرقی کشور است. وتیور، یک گیاه چندساله، شناخته‌شده برای کنترل فرسایش خاک است، که طیف گسترده‌ای از pH و سطح فلزات سمی و سنگین را تحمل می‌کند (Raj and Maiti 2020; Effendi et al. 2020). وتیور یک گیاه خاکی آب‌دوست است که ویژگی‌های آنتی بیولوژیکی مانند توانایی جذب عناصر غذایی محلول مانند N، P و کاهش اکسیژن موزدنیاز زیست‌شیمیایی (BOD)[1]، اکسیژن موردنیاز شیمیایی (COD)[2]، جامدات کل معلق (TSS)[3]، نشت روغن، تجمع فلزات سنگین، فاضلاب تولیدی و تحمل زیاد به علف‌کش‌ها و سموم دفع آفات دارد (Rahmanian and Safari 2020; Tambunan et al. 2018).

در حال حاضر کشورهای زیادی ازجمله آلمان، کانادا، چین، و کشورهای آسیای جنوب شرقی به‌طور گسترده از فناوری زیستی در کنترل مواد سمی تولیدات صنعتی خود بهره می‌برند (Ng et al. 2020; Mohebbi et al. 2019). نتایج یک پژوهش در نیوزیلند نشان داد به کمک گیاه وتیور پتانسیل تصفیه فاضلاب‌های با غلظت بالا و پایین، تحت تنش کم آبیاری وجود دارد (Boonsong and Chansiri 2008). در یک پژوهش مزرعه‌ای پتانسیل گیاه وتیور در جذب فلزات سنگین از یک خاک آلوده تحت آبیاری پساب بررسی شد (Kafil et al. 2019). همچنین جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب در خاک آلوده به شیرابه زباله به کمک گیاه‌پالایی توسط وتیور و اکالیپتوس مورد بررسی قرار داده‌اند (Asadi and Jalal 2021).

کاربرد وتیور برای اصلاح فاضلاب و دیگر منابع نامتعارف آب، یک فن‌آوری احیاء گیاهی نوین و ابتکاری است که می‌تواند به‌عنوان یک راه‌حل سبز، طبیعی، ساده، عملی با هزینه-های قابل پرداخت باشد (Asadi and Jalal 2021). پژوهش‌ها نشان داده است که این گیاه تقریباً در هرجایی رشد می‌کند و رویش آن محدود به منطقه خاصی نیست (Effendi et al. 2020). آزمایش‌ها و مشاهده‌های متعدد در نقاط مختلف جهان نشان داد گیاه وتیور در مناطقی که میزان بارندگی در آن‌ها ۴۵۰ تا ۵۰۰ mm است به‌خوبی رشد می‌کند و پس از رشد در مقابل خشکی مقاوم است. این گیاه می‌تواند در خاک‌هایی با pH کم‌تر از ۳ و بیشتر از ۱۱ رشد نماید. در ضمن در بازه دمایی بین ۱۵- تا ۵۵+ ^{o}C همچنان به حیات خود ادامه می‌دهد (Truong 2008). گیاه در حالت سبزی در مقابل آتش‌سوزی مقاوم بوده و به‌آسانی آتش نمی‌گیرد. همچنین در مقابل حشرات و نماتدها نیز مقاوم می‌باشد (Shahid et al. 2018; Dudai 2006).

لزوم پژوهش در زمینه استفاده از منابع آب نامتعارف و پیامدهای مثبت و منفی آن بخصوص برای مناطق کم آب و همچنین مناطق با کیفیت آب نامناسب بیش از پیش احساس می‌شود (Akbari and Farhadi 2021; Abdzad Gohari et al. 2018). هدف از این پژوهش تعیین سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با آب‌های نامتعارف جهت اهداف آبخیزداری، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از فاضلاب جهت ایجاد فضای سبز بود.

۲- مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی سازگاری گونه گیاهی وتیور در شرایط آبیاری با آب زباله‌های شهری، از عمق صفر تا ۳۰ cm از

[1]Biochemical Oxygen Demand
[2]Chemical Oxygen Demand
[3]Total Suspended Solids

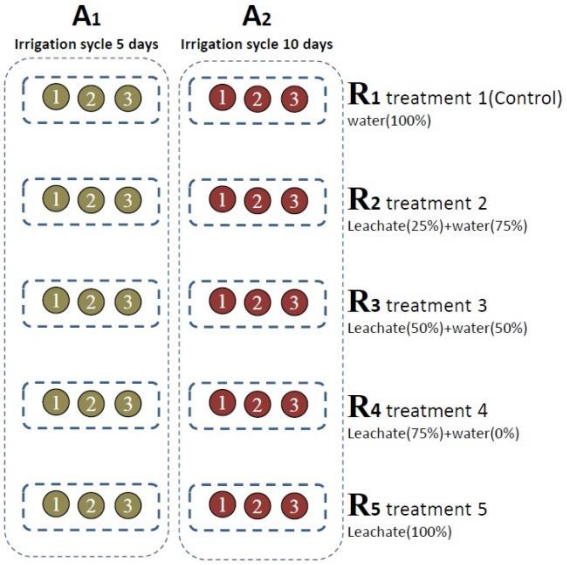
خاک‌های مزرعه دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد، خاک برداشته شد. مشخصات خاک و آب آبیاری در جدول (۱) ارائه شده است. پس از عبور دادن خاک‌ها از الک ۲ mm، تعداد ۶۰ گلدان سفالی آماده و در داخل هرکدام از آن‌ها ۱۰ kg خاک مزرعه (ذرات خاک با قطر کوچک‌تر از ۲ mm)، ۲/۵ kg ماسه بادی و ۷۵۰ g کود آلی ریخته شد. در ادامه نهال‌های گیاه وتیور به ارتفاع ۳۰ cm که با شرایط اقلیمی منطقه سازگاری داشته از مراکز تکثیر نهال به دانشگاه انتقال داده شده و شرایط رشد در گلخانه با دمای ۳۰ ^{o}C برای آن‌ها فراهم شد.

جدول ۱- پارامترهای شیمیایی و فیزیکی آب آبیاری و خاک مورد آزمایش

Table 1 Physical and chemical Parameters of irrigation water and soil

Soil characteristics	Soil Texture	Sand	Clay	Silt	$CaCO_3$	Organic carbon	Saturated Humidity	Neutralized Materials (T.N.V)	N	K	P	pH	EC
	Loamy Clay	Percent							ppm				dS/m
		28	26	46	12.5	0.9	58	47	0.09	206	10	7.9	0.4

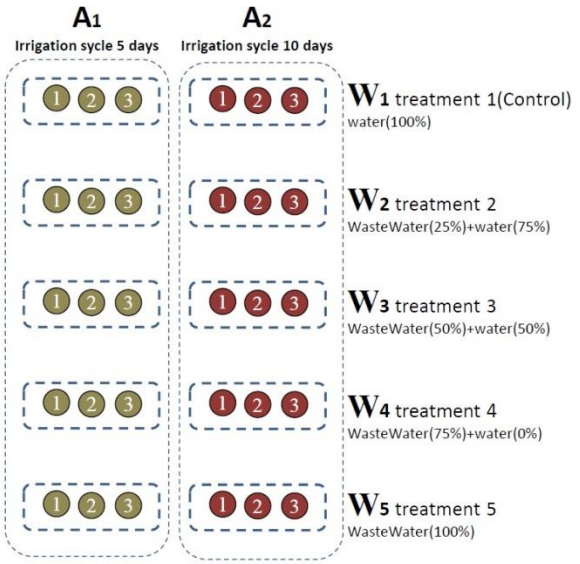
Water characteristics	Br	Zn	Cu	Mn	Fe	NO_3	F	TDS	pH	EC µs/cm
	mg/l									
	0.5	3	0.05	0.4	0.3	50	1.5	490	7.2	700



شکل ۱- آرایش تیمارهای شیرابه زباله و آب آبیاری

Fig. 1 Arrangement of waste leachate and irrigation water treatments

گونه گیاهی وتیور (خوس) کشت‌شده در گلدان‌های سفالی در سه تکرار در قالب طرح کاملاً تصادفی و پنج تیمار R_1 تا R_5 برای استفاده از مخلوط شیرابه زباله به نسبت‌های مختلف و آب آبیاری شکل (۱) و پنج تیمار W_1 تا W_5 برای استفاده از مخلوط پساب‌های صنعتی به نسبت‌های مختلف و آب آبیاری شکل (۲) موردبررسی قرار گرفت. در جدول (۲) نتایج تجزیه شیمیایی آب فاضلاب و شیرابه زباله ارائه شده است. از تعداد ۶۰ گلدان، ۳۰ گلدان به‌طور هم‌زمان به فاصله ۵ day و ۳۰ گلدان دیگر به فاصله ۱۰ day مورد آبیاری قرار گرفت. پس از اتمام دوره کشت ۶ month نمونه‌های برداشت به آزمایشگاه منتقل و اقدام به اندازه‌گیری عناصر شد.



شکل ۲- آرایش تیمارهای فاضلاب صنعتی و آب آبیاری

Fig. 2 Arrangement of industrial wastewater and irrigation water treatments

برای اندازه‌گیری عناصر در نمونه‌های گیاهی از روش هضم اسیدی استفاده شد. در این روش نمونه‌های گیاهی پودر شد و میزان یک گرم از نمونه پودر شده با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ g اندازه‌گیری و عمل هضم شیمیایی با ۱۰ml نیتریک اسید غلیظ انجام شد. بعد از عمل هضم ml ۱۰ نیتریک اسید ۱۰٪ به نمونه‌ها اضافه شد و به بالن حجمی ۲۵ ml انتقال یافت و با آب دو بار تقطیر به حجم رسانده

شد. سپس با کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف و به ظروف شیشه‌ای منتقل شد و میزان جذب به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج جذب اتمی مدل شیمادزو ۶۲۰۰ و دستگاه تولید هیدرید مدل اف ای جی ۱۰۰ اندازه‌گیری شد. در اندازه‌گیری عناصر در خاک مقدار gr ۵ خاک داخل یک ارلن ریخته و ml ۱۰ محلول عصاره‌گیر دی اتیلین تری آمین پنتااستیک اسید با غلظت M ۰/۰۰۵ به آن اضافه شد (روش عصاره گیری DTPA). سوسپانسیون حاصل به‌مدت min ۸۰۲ ۳۰ هم زده و به‌وسیله کاغذ صافی واتمن ۱۲ عصاره‌گیری شد. پس از تنظیم دستگاه و کالیبراسیون استانداردها میزان جذب قرائت و غلظت عناصر تعیین شد. در ادامه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS تجزیه‌شده و میانگین‌ها توسط آزمون دانکن با یکدیگر مقایسه شد. نتایج به کمک روش‌های آماری، موردبررسی و تفسیر قرار گرفته است.

جدول ۲- نتایج آنالیز شیمیایی فاضلاب صنعتی و شیرابه زباله

Table 2 Results of chemical analysis of industrial wastewater and leachate

Parameter	pH	Alkalinity	Ssp	Ec	Al	Fe	HCO_3	Mn	Pb	Mg	Total Anion	Total Cation
unit	-	-	%	µs/cm			mg/l				meq/l	
Waste leachate	9.55	-	-	35763	0.122	9.93	145	0.06	0.43	-	572.2	395.9
Industrial wastewater	6.11	216	16.02	27200	0.57	1.36	3.6	0.28	0.27	15	3.6	0
Parameter (meq/l)	TDS	Ag	Cd	Zn	Co	Cu	Hg	Na	K	Ni	Pd	SO_4
Waste leachate	31935	0.0005	0.001	3.28	0.33	0.01	-	88.5	-	0.107	-	3.65
Industrial wastewater	17408	0.26	0.128	6.05	0.106	0.105	0.02	277.8	78.2	0.07	0.992	-

۳- یافته‌ها و بحث

شناسایی گیاهان فعال و مهم درزمینه گیاه‌پالایی باعث افزایش کارایی و حفاظت از محیط‌زیست می‌گردد. وتیور یکی از گیاهانی است که دارای قابلیت‌های متمایز و برتر درزمینه رشد در شرایط نامتعارف و جذب آلودگی از آب‌وخاک می‌باشد (Gravand et al. 2021; Mu et al. 2019). این گیاه با توجه به داشتن ریشه عمیق در راستای اهداف آبخیزداری و حفاظت آب‌وخاک می‌تواند کاربرد ویژه‌ای داشته باشد. نتایج میانگین مربعات کاربرد شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی بر میزان عناصر اندام گیاهی در جداول (۳) و (۴) ارائه شده است.

جدول ۳- میانگین مربعات عناصر در ۵ سطح شیرابه زباله و ۲ سطح دور آبیاری

Table 3 Average squares of elements in 5 levels of waste leachate and 2 levels of water stress

Sources of changes	Degrees of freedom	Fe	Zn	Cu	Mn	K	Na
		(mg/l)					
Repetition	2	8475.75 $^{n.s}$	2590.2 $^{n.s}$	20.4 $^{n.s}$	5547.5 $^{n.s}$	5547.6 $^{n.s}$	0.06 $^{n.s}$
Waste Leachate	4	25532.3*	8641.3*	39*	15910.5**	21795*	0.19*
Water Stress	1	6.3*	1866.5**	59.4*	5433.8*	24435*	0.009 $^{n.s}$
Waste Leachate & Water Stress	4	7230.7*	1438.5*	16**	6956/9*	5547.5*	0.05*
Error	8	2718.8	1176.2	15.3	818	229.9	0.012
Total	29						

$^{n.s}$ Non-significant; * significant at the five percent level; ** significant at the one percent level

جدول ۴- میانگین مربعات عناصر در ۵ سطح فاضلاب صنعتی و ۲ سطح دور آبیاری

Table 4 The average squares of the elements in 5 levels of industrial wastewater and 2 levels of water stress

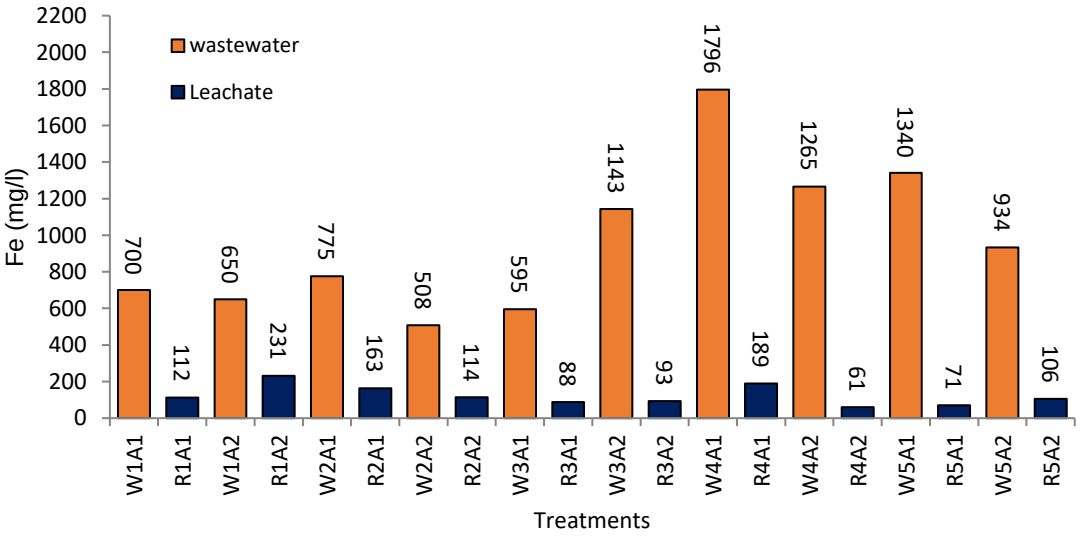
Sources of changes	Degrees of freedom	Fe	Zn	Cu	Mn	K	Na
		(mg/l)					
Repetition	2	1713794.9 $^{n.s}$	576855.9 $^{n.s}$	3.5 $^{n.s}$	3148.5 $^{n.s}$	0.03 $^{n.s}$	0.02 $^{n.s}$
Industrial wastewater	4	70667.8**	215265.4**	8.9*	5675.5*	0.09 $^{n.s}$	0.06*
Water stress	1	76120.2*	104.8*	1.08*	4273.8 $^{n.s}$	0.007 $^{n.s}$	0.18 $^{n.s}$
Industrial wastewater& Water stress	4	41676.6*	17832.9*	2.9*	7479.6*	0.05*	0.02*
Error	8	85089.9	5959.2	2.3	6584.2	0.02	0.012
Total	29						

$^{n.s}$ Non-significant; * significant at the five percent level; ** significant at the one percent level

یکی از شاخص‌های قابل استفاده برای بیان ویژگی‌های جامعه‌ها، میانگین است. با مقایسه معیار میانگین، مشابه یا متفاوت بودن جامعه‌ها مشخص می‌شود. بنابراین اگر یکی از میانگین‌ها با بقیه تفاوت داشته باشد، گویای این است که جوامع مانند یکدیگر نیستند. در جداول (۳) و (۴) مقایسه بین میانگین تکرارها، کاربرد فاضلاب صنعتی و شیرابه زباله در سطوح مختلف و تنش آب ارائه شده است. ردیف اول جداول (۳) و (۴) نشان از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تکرارها در میزان عناصر اندازه‌گیری شده بود. این درحالی است که اختلاف معنی‌دار در میزان عناصر اندازه‌گیری شده بین سطوح مختلف کاربرد شیرابه و فاضلاب صنعتی وجود دارد.

۳-۱- اثر تیمارها بر میزان آهن

بر اساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن داشت. در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین میزان آهن، ۱۹۷/۲ mg/l مربوط به تیمار R2 و کمترین میزان آهن ۴۴/۰۳ mg/l مربوط به تیمار R_1 بود. همچنین کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن داشت ($P<0.05$). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین میزان آهن به میزان ۱۵۳۰/۵ mg/l مربوط به تیمار W4 و کم‌ترین میزان آهن به میزان ۴۴۱/۹ mg/l مربوط به تیمار W_1 بود. برهمکنش شیرابه زباله و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن داشت ($P<0.05$). نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان آهن به میزان ۲۳۱ mg/l مربوط به تیمار R_1A_2 و کم‌ترین میزان آهن ۶۱ mg/l مربوط به تیمار R_4A_2 بود (شکل ۳). برهمکنش فاضلاب صنعتی و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن، داشت. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان آهن ۱۷۹۶ mg/l مربوط به تیمار W_4A_1 و کم‌ترین میزان آهن ۵۰۸ mg/l مربوط تیمار W_2A_2 بود.



شکل ۳- اثر متقابل تیمارهای شیرابه زباله و دور آبیاری بر میزان آهن در گیاه وتیور

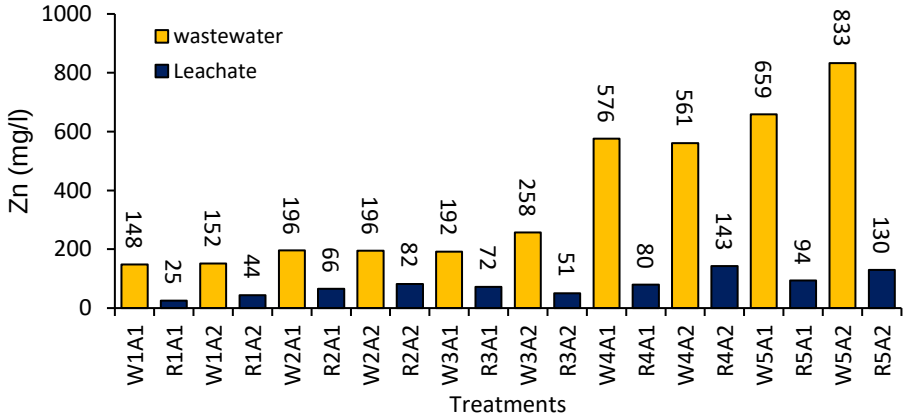
Fig. 3 Interaction of waste leachate and water stress treatments on iron content in vetiver

۳-۲- اثر تیمارها بر میزان روی

بر اساس نتایج جدول میانگین مربعات (جداول ۳ و ۴) کاربرد شیرابه زباله و فاضلاب صنعتی به‌صورت جداگانه تأثیر معنی‌داری بر میزان روی داشت ($P<0.05$). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین میزان روی به میزان ۱۲۱ mg/l مربوط به تیمار R5 (۱۰۰٪ شیرابه زباله) و کم‌ترین میزان روی، ۴۴/۰۳ mg/l مربوط به تیمار R1 (آب شاهد) بود. همچنین کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان روی داشت (جدول ۴). در سطوح مختلف استفاده از فاضلاب صنعتی بیش‌ترین میزان روی به میزان ۷۴۵/۶۷ mg/l مربوط به تیمار W_4 (۷۵٪ فاضلاب صنعتی) و کم‌ترین میزان روی به میزان ۱۴۸/mg/l مربوط تیمار W1 بود.

برهمکنش شیرابه زباله و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان روی داشت ($P<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد. بیش‌ترین میزان روی، ۱۴۲/۷ mg/l مربوط به تیمار R_4A_2 و کم‌ترین میزان آهن، ۲۵/۱۴ mg/l مربوط به تیمار R_1A_1 بود. نتایج

حاصل از برهمکنش فاضلاب صنعتی و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن داشت. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان روی ۸۳۲/۷ mg/l مربوط به تیمار W_5A_2 و کم‌ترین میزان روی ۱۴۸ mg/l مربوط به تیمار W_1A_1 بود (شکل۴).

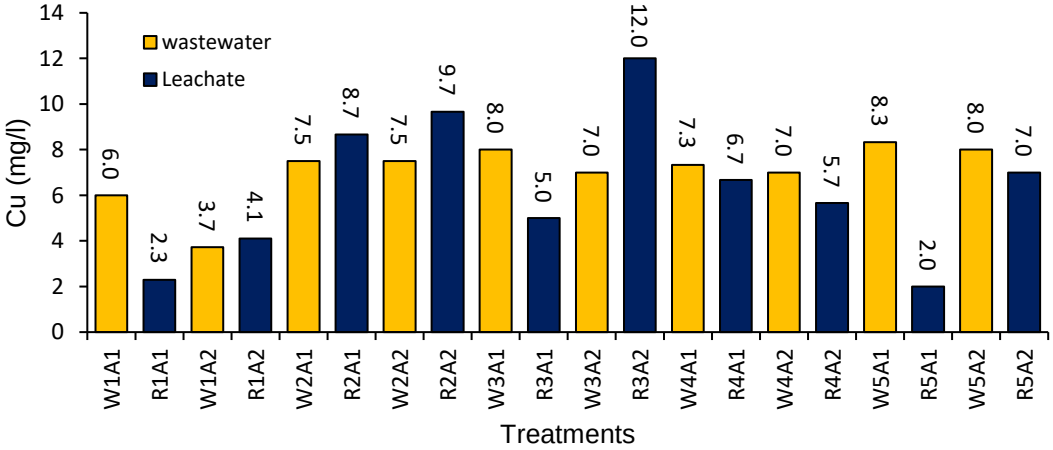


شکل ۴- اثر متقابل تیمارهای شیرابه زباله و دور آبیاری بر میزان روی در گیاه وتیور

Fig. 4 Interaction of waste leachate treatments and water stress on zinc content in the vetiver

۳-۳- اثر تیمارها بر میزان مس

بر اساس نتایج جدول (۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر میزان مس داشت. در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین میزان مس به میزان ۹/۱۷ mg/l مربوط به تیمار R2 (۲۵٪ شیرابه‌های زباله) و کم‌ترین میزان مس به میزان ۳/۲۹ mg/l مربوط تیمار R_1 (آب شاهد) بود. بر اساس نتایج جدول (۴) کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان مس داشت. در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین میزان مس به میزان ۸/۱۷ mg/l مربوط به تیمار W5 (۱۰۰٪ فاضلاب صنعتی) و کم‌ترین میزان مس به میزان ۴/۸۵ mg/l مربوط تیمارW_1 (آب شاهد) بود. برهمکنش شیرابه زباله و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر مس، داشت ($P<0.01$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان مس به میزان ۱۲/۰ mg/l مربوط به تیمار R_3A_2 و کم‌ترین میزان مس به میزان ۱/۶۷ mg/l مربوط به تیمار R_5A_1 بود. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد بیش‌ترین میزان مس ۸/۳۳ mg/l مربوط به تیمار W_5A_1 و کم‌ترین میزان مس ۳/۷۳ mg/l مربوط تیمار W_1A_2 بود (شکل ۵).



شکل ۵- اثر متقابل تیمارهای شیرابه زباله و دور آبیاری بر میزان مس در گیاه وتیور

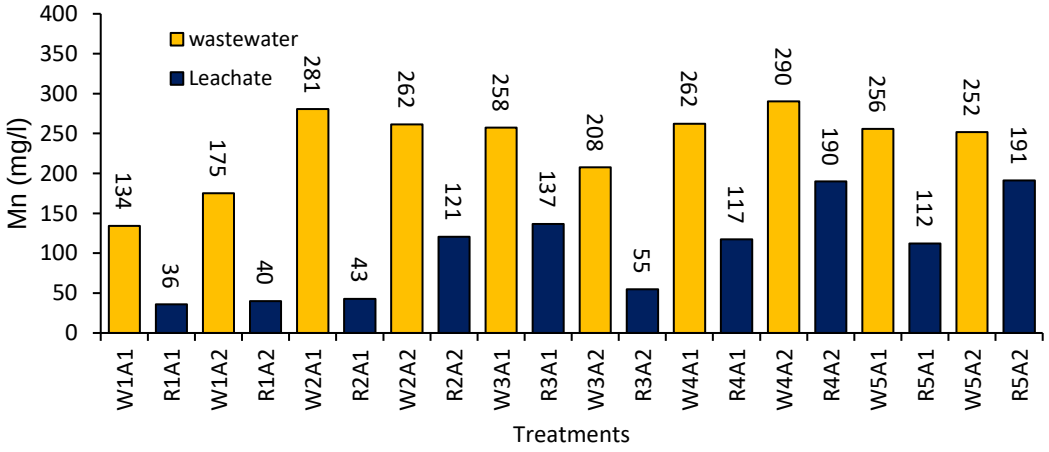
Fig. 5 Interaction of waste leachate treatments and water stress on copper content in vetiver

۳-۴- اثر تیمارها بر میزان منگنز

بر اساس نتایج جدول میانگین مربعات نشان داد شده در جدول (۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر میزان منگنز داشت ($P<0.01$). در سطوح مختلف کاربرد شیرابه زباله بیش‌ترین میزان منگنز، ۱۵۹/۴ mg/l مربوط به تیمار R5 و کم‌ترین میزان منگنز، ۳۶/۸۱ mg/l مربوط تیمار R1

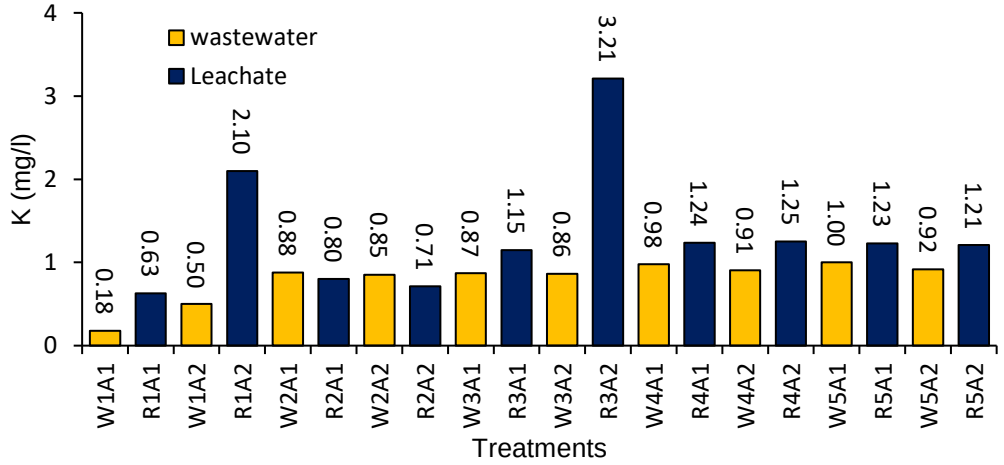
بود. برهمکنش شیرابه زباله و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر منگنز داشت ($P<0.05$). هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل (جدول ۳) در وتیور نشان داد بیش‌ترین میزان منگنز، ۱۹۱/۳۳ mg/l مربوط به تیمار R_5A_2 و کم‌ترین میزان منگنز ۳۵/۸ mg/l مربوط به تیمار R_1A_1 بود (شکل ۶).

بر اساس نتایج جدول (۴) کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان منگنز داشت. در سطوح مختلف کاربرد فاضلاب صنعتی بیش‌ترین میزان منگنز به میزان mg/l ۲۷۶/۲۲ مربوط به تیمار W4 و کم‌ترین میزان منگنز به میزان mg/l ۱۵۴/۵ مربوط تیمار W_1(آب شاهد) بود. کاربرد دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان منگنز نداشت. برهمکنش فاضلاب صنعتی و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان منگنز داشت ($P<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان منگنز mg/l ۲۹۰/۳ مربوط به تیمار W_4A_2 و کم‌ترین میزان منگنز mg/l ۱۳۴/۰۵ مربوط به تیمار W_1A_1 بود.



شکل ۶- اثر متقابل تیمارهای شیرابه زباله و دور آبیاری بر میزان منگنز در گیاه وتیور

Fig. 6 Interaction of waste leachate treatments and water stress on manganese content in vetiver



شکل ۷- اثر متقابل تیمارهای شیرابه‌های زباله و دور آبیاری بر میزان پتاسیم در گیاه وتیور

Fig. 7 Interaction of waste leachate treatments and water stress on potassium content in vetiver

۳-۵- اثر تیمارها بر میزان پتاسیم

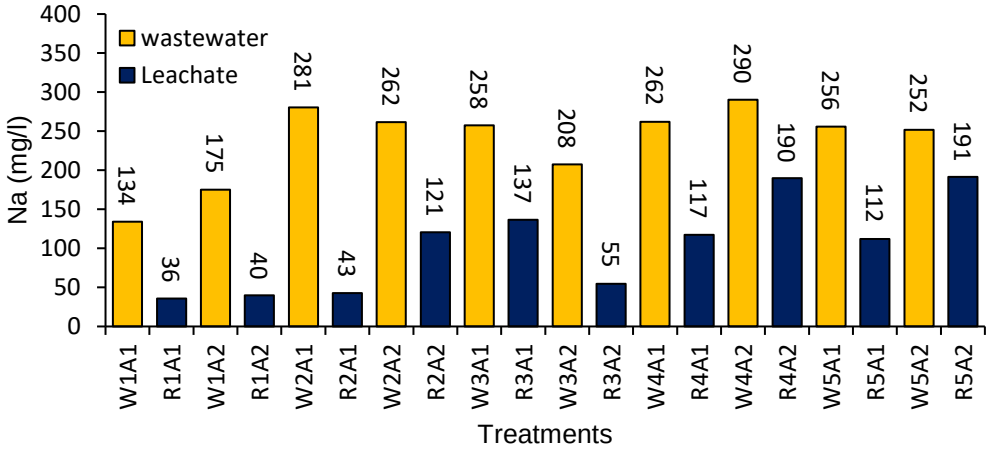
بر اساس نتایج جدول (۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم، داشت ($P<0.05$). در سطوح مختلف شیرابه زباله بیش‌ترین میزان پتاسیم، mg/l ۲/۲ مربوط به تیمار R3 و کم‌ترین میزان پتاسیم، mg/l ۰/۷۶ مربوط تیمار R2 بود. برهم‌کنش شیرابه زباله و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر پتاسیم داشت ($P<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان پتاسیم، mg/l ۳/۲ مربوط به تیمار R_3A_2 و کم‌ترین

میزان پتاسیم ۰/۶۳ mg/l مربوط به تیمار R_1A_1 بود (شکل ۷).

بر اساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۴) کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم داشت ($P<0.05$). در سطوح مختلف فاضلاب صنعتی بیش‌ترین میزان پتاسیم به میزان ۰/۹۶ mg/l مربوط به تیمار W5 (۱۰۰٪ فاضلاب صنعتی) و کم‌ترین میزان پتاسیم، mg/l ۰/۳۶ مربوط تیمار W_1 (آب شاهد) بود. برهم‌کنش فاضلاب صنعتی و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم داشت ($P<0.05$). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیش‌ترین میزان منگنز mg/l ۱/۰ مربوط به تیمار W_5A_1 و کم‌ترین میزان منگنز mg/l ۰/۱۸ مربوط تیمار W_1A_1 بود.

۳-۶- اثر تیمارها بر میزان سدیم

بر اساس نتایج (جدول ۳) کاربرد شیرابه زباله تأثیر معنی‌داری بر میزان سدیم داشت. در سطوح مختلف کاربرد شیرابه زباله بیش‌ترین میزان سدیم به میزان mg/l ۱/۱ مربوط به تیمار R4 (۷۵٪ شیرابه زباله) و کم‌ترین میزان سدیم به میزان mg/l ۰/۶۹ مربوط تیمار R2 (۲۵٪ شیرابه زباله) بود. برهمکنش شیرابه زباله و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر سدیم داشت. هم‌چنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد بیش‌ترین میزان سدیم mg/l ۱/۱۲ مربوط به تیمار R_4A_1 و کم‌ترین میزان سدیم، mg/l ۰/۶۳ مربوط به تیمار R_2A_2 بود (شکل ۸). بر اساس نتایج جدول میانگین مربعات (جدول ۴) کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان سدیم داشت. در سطوح مختلف کاربرد فاضلاب صنعتی بیش‌ترین میزان سدیم به میزان mg/l ۰/۶۹ مربوط به تیمار W5 (۱۰۰٪ فاضلاب صنعتی) و کم‌ترین میزان سدیم ۰/۲۴mg/l مربوط تیمارهای W_1 و W_2 بود. برهمکنش فاضلاب صنعتی و دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان سدیم داشت. همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها بین اثرات متقابل در وتیور نشان داد که بیشترین میزان سدیم mg/l ۰/۷۹ مربوط به تیمار W_5A_1 و کمترین میزان سدیم mg/l ۰/۱۵ مربوط به تیمار W_1A_2 بود (شکل ۸).



شکل ۸- اثر متقابل تیمارهای شیرابه زباله و دور آبیاری بر میزان سدیم

Fig. 9 Interaction of waste leachate treatments and water stress on sodium content in vetiver

آبیاری با کیفیت‌های مختلف آبیاری باعث شد وزن اندام هوایی نسبت به حالتی که با آب خام آبیاری می‌شد افزایش یابد. این افزایش در تیمارهای که با فاضلاب خام آبیاری می‌شد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. علت این افزایش را می‌توان در وجود عناصر مغذی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانست. این مشابه نتایج به دست آمده از مطالعات Boonsong and Chansiri (2008) بود. مقایسه نتایج به دست آمده با مطالعات (Gravand et al 2021) در بین سطوح تیمارهای بکار رفته بیش‌ترین میزان جذب فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز و نیکل) در ریشه و اندام هوایی مربوط به تیمار با سطح ۱۰۰٪ استفاده از شیرابه بود. نتایج این مطالعه نشان داد گیاه با در معرض قرارگرفتن غلظت‌های بیش‌تر شیرابه به‌طور معنی‌داری قادر به جذب مقادیر بالاتری از فلزات سنگین بود. مقایسه نتایج این مطالعه با مورد یادشده نشان داد با توجه به بیش‌تر بودن جذب فلزات سنگین شیرابه زباله در ریشه نسبت به اندام هوایی، گیاه وتیور به‌عنوان یک گیاه تثبیت‌کننده حرکت فلزات سنگین در خاک‌های آلوده عمل می‌کند. در مطالعه‌ای که

توسط Ghaemi and Mojoddin (2016) ارائه شد بیش‌ترین میزان فلز روی جذب شده در محل ریشه در گیاه وتیور تحت تیمار آبیاری با فاضلاب خام و به مقدار ۲/۳۸ mg در گلدان اندازه‌گیری گردید این در حالی است که در مطالعه حاضر بیش‌ترین میزان روی به میزان ۷۴۵/۶ mg/l مربوط به تیمار W_4 کاربرد ۷۵٪ فاضلاب صنعتی به‌دست‌آمد. این نتیجه نشان داد با افزایش کاربرد فاضلاب صنعتی جذب فلزات توسط گیاه بیش‌تر نخواهد شد. این نتیجه‌گیری مشابه نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر بود.

۴- نتیجه‌گیری

افزایش آلودگی آب‌وخاک باعث ایجاد مسائل و مشکلات محیط‌زیستی زیادی شده است یکی از روش‌های مورداستفاده در تصفیه آلودگی‌های آب‌وخاک استفاده از روش گیاه‌پالایی است. شناسایی گیاهان فعال و مهم در این زمینه باعث افزایش کارایی و حفاظت از محیط‌زیست می‌گردد. وتیور یکی از گیاهانی است که دارای قابلیت‌های متمایز و برتر درزمینه رشد در شرایط نامتعارف و جذب آلودگی از آب‌وخاک می‌باشد. با توجه به نتایج این پژوهش به‌طور خلاصه نتایج زیر به‌دست آمد:

۱- در بررسی ویژگی‌های گیاه وتیور، نتایج کاربرد شیرابه‌های زباله تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن، روی، مس، منگنز، پتاسیم، سدیم داشت ($P<0.05$).

۲- بیش‌ترین میزان آهن، مس، سدیم در تیمار چهارم ترکیب آب آلوده و آب آبیاری به نسبت ۳:۱ و بیش‌ترین عملکرد میزان پتاسیم در تیمار سوم ترکیب آب آلوده و آب آبیاری به نسبت ۲:۲ و بیش‌ترین میزان روی و منگنز در تیمار پنجم ترکیب آب آلوده و آب آبیاری به نسبت ۴:۰ حاصل شد.

۳- کاربرد دور آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای آن نداشت ($P>0.05$). بیش‌ترین عملکرد افزایشی صفات در دور آبیاری ۵ روز و کم‌ترین ۱۰ روز آبیاری به‌دست آمد.

۴- کاربرد فاضلاب صنعتی تأثیر معنی‌داری بر میزان آهن، روی، مس، منگنز و سدیم داشت ($P<0.05$) اما تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم نداشت ($P>0.05$).

۵- تیمارهای R4A1 و W5A1 با کاهش تولید زیست توده زیر ۱۰ درصد نسبت به شاهد، بازخورد نسبتا خوبی از کاربرد آبهای نامتعارف نشان داد.

به طورکلی استفاده از این گیاه در تصفیه‌خانه‌ها یا موارد مشابه قابلیت بالایی در حذف آلایندگی خواهد داشت و کمک شایان توجهی به حفاظت از محیط‌زیست می‌نماید.

سپاسگزاری

از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزآباد بابت همکاری در اجرای این پژوهش در گلخانه آن دانشگاه کمال و سپاسگزاری را داریم.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است. داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می‌باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

Abdzad, G. A., Amiri, E., Babazadeh, H. and Sedghi, H. (2018). Effect of salinity and irrigation on yield and water use efficiency of peanut varieties. Iran. J. Soil Water Res., 49(2), 329-340. DOI:10.22059/ijswr.2017.230766.667656 [In Persian].

Akbari, M. and Farhadi, A. (2021). Effect of Irrigation Methods and Plastic Mulches on Water Productivity of Melon. Water Irrig. Manage., 11(1), 45-58 DOI:10.22059/jwim.2021.311742.833 [In Persian].

Akbarzadeh, A., Vakhshouri, M., Jamshidi, S. and Khalesidoost, M. (2015). Evaluation of the Performance of Vetiveria zizanioides in Removing Nutrients from Wastewater. J. Water Wastewater, 26(1), 57-67 [In Persian].

Asadi, S. and Jalali, V. (2021). Phytoremediation and estimation of optimal clean up time of lead contaminated soils using *Portulaca oleracea L*. Environ. Water Eng., 7(1), 25-37. DOI: 10.22034/jewe.2020.248656.1424

Boonsong, K. and Chansiri, M. (2008). Domestic wastewater treatment using vetiver grass cultivated with floating platform technique. AU J. Technol., 12(2), 73-80.

Darajeh, N., Truong, P., Rezania, S., Alizadeh, H. and Leung, D. W. M. (2019). Effectiveness of Vetiver grass versus other plants for phytoremediation of contaminated water. J. Environ. Treat. Tech., 7(3), 485-500.

Dotaniya, M. L., Dotaniya, C. K., Solanki, P., Meena, V. D. and Doutaniya, R. K. (2020). Lead contamination and its dynamics in soil–plant system. In lead in plants and the environment (pp. 83-98). Springer, Cham. DOI:10.1007/978-3-030-21638-2_5

Dudai, N., Putievsky, E., Chaimovitch, D. and Ben-Hur, M. (2006). Growth management of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) under Mediterranean conditions. J. Environ. Manage., 81, 63-71. DOI: 10.1016/j.jenvman.2005.10.014

Effendi, H., Widyatmoko, Utomo., B. A. and Pratiwi, N. T. M. (2020). Ammonia and orthophosphate removal of tilapia cultivation wastewater with *vetiveria zazanioides*. J. King Saud. Univ. Sci., 32(1), 207- 212. DOI: 10.1016/j. jksus. 2018. 04. 018

Gravand, F., Rahnavard, A. and Mohammad Pour, G. (2021). Investigation of the uptake of heavy metals in waste leachate by vetiver from a contaminated soil. Sci. J. Soil Res., 35(1), 89-104 DOI: 10.22092/ijsr.2021.352671.569 [In Persian].

Ghaemi, A. and Majdoddin, F. (2017). Investigation of vetiver and eucalyptus phytoremediation in absorption of some heavy metals from wastewater in soil contaminated with waste leachate. Water Resour. Eng. J., 9(28), 95-106 DOI: 20.1001.1.20086377.1395.9.28.8.9 [In Persian].

Hesham, R. and Rashed, I. G. (2002). A method for treating wastewater containing formaldehyde. Water Res. 36(3), 633-637. DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00255-X

Kafil, M., Boroomand Nasab, S., Moazed, H. and Bhatnagar, A. (2019). Phytoremediation potential of vetiver grass irrigated with wastewater for treatment of metal contaminated soil. Int. J. Phytoremed., 21(2), 92-100. DOI: 10.1080/15226514.2018.1474443

Mohebbi Najmabadi, E., Fotovat, A. and Halajnia, A. (2019). Effect of citric acid, nitrilotriacetic acid and anion polyacrylamide on phytoremediation of nickel by maize and sunflower. Iran. J. Soil Water Res., 50(4), 933-921. DOI: 10.22059/ijswr.2018.254627.667878. [In Persian].

Mu, J., Hu, Z., Huang, L., Tang, S. and Holm, P. E. (2019). Influence of alkaline silicon-based amendment and incorporated with biochar on the growth and heavy metal translocation and accumulation of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) grown in multi-metal-contaminated soils. J. Soil. Sediment., 19(5), 2277-2289. DOI: 10.1007/s11368-018-2219-5

Ng, C. C., Boyce, A. N., Abas, M. R., Mahmood, N. Z. and Han, F. (2020). Evaluation of vetiver grass uptake efficiency in single and mixed heavy metal contaminated soil. Environ. Process., 1-20. DOI: 10.1007/s40710-019-00418-2.

Otieno, A., Karuku, G., Raude, J. and Koech, O. (2018). Accumulation of nitrogen and phosphorous by vetiver grass (*Chrysopogon Zizanioides*) in a model constructed wetland treatment system for polishing municipal wastewater. Int. J. Innov. Appl. Stud. Victoria, 22(4), 291-298.

Panja, S., Sarkar, D. and Datta, R. (2020). Removal of tetracycline and ciprofloxacin from wastewater by vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* (*L.) Roberty*) as a function of nutrient concentrations. Environ. Sci. Pollut. Res., 27(28), 34951-34965. DOI: 10.1007/S11356-020-09762-5

Pentyala, V. B. and Eapen, S. (2020). High efficiency phytoextraction of uranium using *Vetiveria zizanioides L. Nash*. Int. J. Phytoremed., 22(11). 1137-1146. DOI: 10.1080/15226514.2020.1741506

Rahmanian, M. and Safari, Y. (2020). Mapping cadmium and nickel contamination in soils around Yasouj cement factory. Environ. Water Eng., 6(4), 321-330. DOI: 10.22034/jewe.2020.232526.1365. [In Persian].

Raj, D. and Maiti, S. K. (2020). Sources, bioaccumulation, health risks and remediation

of potentially toxic metal (loid) s (As, Cd, Cr, Pb and Hg): an epitomized review. Environ. Monit. Assess., 192(2), 1-20. DOI: 10.1007/s10661-019-8060-5.

Shahid, S., Zahoor, S., and Fatima, U. (2018). Review of pharmacological activities of *Vetiveria zizanoide (Linn) Nash*. J. Basic Appl. Sci., 14, 235-238. DOI: 10.6000/1927-5129.2018.14.36.

Sharma, R., Agrawal, M. and F. Marshall. (2007). Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. Ecotoxicol. Environ. Safety. 66, 258–266. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2005.11.007

Tambunan, J. A. M., Effendi, H.and Krisanti, M. (2018). Phytomerediating batik wastewater using vetiver chryspogon zizanioides (L). Polish J. Environ. Stud., 27(3),1281-1288. DOI: 10.1007/s13201-018-0640-y.

Truong, P. N. V. (2008). Research and development of Vetiver grass for treatment of polluted water and contaminated land. Proc. 1st Indian National Vetiver Workshop, Cochi, Kerala, India. DOI: 10.5772/intechopen.69303

Tsao, D. T. (2003). Overview of phytotechnologies. Adv. Biochem. Eng. Biotechnol., 78, 1–50. DOI: 10.1007/3-540-45991-X_1.

How to cite this paper:
Abdollahi Mansurkhani, S., Asadilour, M., Farzadian, A., Egdernezhad, A. and Asareh, A. (2022). Phytoremediation of heavy metals by vetiver plant species in unconventional water. Environ. Water Eng., 8(4), 796–809. DOI: 10.22034/JEWE.2022.305466.1631