Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 7, No. 2, PP. 53-62, Summer 2022
DOI: 10.22112/JWWSE.2022.313508.1295

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هفتم، شماره ۲، صفحات ۵۳-۶۲، تابستان ۱۴۰۱

Research Paper

Improvement of Saline Effluent Quality Using Phytoremediation

Jahangir Abedi-Koupai[*1], Amir Qods Motahhari[2] and Niloufar Najafi[3]

1- Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2- M.Sc. in Irrigation and Drainage Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3- M.Sc. in Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
*Corresponding Author, Email: koupai@iut.ac.ir

Received: 28/11/2021
Revised: 28/12/2021
Accepted: 04/01/2022
© IWWA

Abstract

Phytoremediation is one of the innovative, economical as well as eco-friendly desalination methods. The current study was aimed at investigating the amount of uptake and removal of some contaminants and nutrients from saline waters by vetiver grass (Chrysopogon zizanioides L. Roberty). This research was performed as multi-factorial in a completely randomized design including three different levels of saline effluent (1, 10 and 14 dS/m) and two planting densities (10 and 20 vetiver plants) with three replications. The vetiver grass was cultivated in 220-liter tanks with a cross-section of 0.23 square meters located in the educational farm at Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran. Moreover, parameters changes including electrical conductivity (EC), cations (Ca, Mg and Na) as well as nutrients (N, P, and K) were measured with a residence time of 3, 7, and 14 days. The obtained results indicate that the vetiver grass can reduce EC (14-15.88%), cations (Ca (32.94-41.67%), Mg (29.51-57.14%), and Na (5.59-14.36%) as well as nutrients N (31-44.03%), P (44.15-51.54%), and K (24.37-56.32%)) from different salinity levels during 14 days. Furthermore, there is no significant difference between 10 and 20 vetiver plants in terms of uptake of contaminants due to high plant growth.

Keywords: Desalination, Hydroponic cultivation, Sustainable water resources management, Vetiver grass

مقاله پژوهشی

بهبود کیفیت زه‌آب‌های شور به روش گیاه‌پالایی

جهانگیر عابدی کوپایی[*1]، امیر قدس مطهری[2] و نیلوفر نجفی[3]

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
*نویسنده مسئول، ایمیل: koupai@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۷
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

گیاه‌پالایی یکی از روش‌های شوری‌زدایی نوین، اقتصادی و در عین‌حال دوستدار محیط‌زیست است. هدف از پژوهش حاضر بررسی میزان جذب و حذف برخی از عوامل آلاینده و مغذی موجود در آب‌های شور توسط گیاه وتیور گراس (Chrysopogon zizanioides L. Roberty) است. این پژوهش در قالب یک طرح آزمایش کاملاً تصادفی به شکل چند عاملی در سه سطح مختلف شوری زه‌آب (۱، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر) و دو سطح تراکم کشت گیاه (۱۰ و ۲۰ بوته وتیور) با سه تکرار انجام شد. کشت گیاه وتیور در مخازن ۲۲۰ لیتری با سطح مقطع ۰/۲۳ مترمربع واقع در مزرعه آموزشی دانشگاه صنعتی اصفهان صورت‌گرفت. هم‌چنین، تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی، کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم به‌همراه عناصر مغذی نیتروژن، فسفر و پتاسیم با زمان‌ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز اندازه‌گیری شدند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که گیاه وتیور قادر است در مدت ۱۴ روز هدایت الکتریکی زه‌آب را در محدوده ۱۵/۸۸-۱۴ درصد و کاتیون‌های سدیم، کلسیم، منیزیم، نیترات، فسفات و پتاسیم را به ترتیب در محدوده ۱۴/۳۶-۵/۵۹، ۹۴/۶۷-۳۲/۴۱، ۵۱/۱۴-۲۹/۵۷، ۳۱/۰۳-۴۴، ۵۱/۵۴-۴۴/۱۵ و ۳۷/۳۲-۲۴/۵۶ درصد در سطوح شوری مختلف کاهش دهد. تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته گیاه وتیور به‌دلیل رشد زیاد گیاه با هم تفاوت معناداری از نظر جذب آلاینده‌ها نشان ندادند.

کلمات کلیدی: شوری‌زدایی، وتیور گراس، کشت هیدروپونیک، مدیریت پایدار منابع آب

۱- مقدمه

در حال‌حاضر، در مقیاس جهانی ۲/۲ میلیارد نفر به آب سالم دسترسی ندارند (UN Water, 2019) و ۱۷ کشور از جمله ایران با کمبود شدید آب مواجه هستند؛ بدین معنی که ۶۷٪ از جمعیت جهانی حداقل ۱ ماه از سال را تحت کمبود شدید آب زندگی می‌کنند (Goldberg et al., 2021). از این‌رو، تشدید رقابت جهانی برای دسترسی مطمئن و مقرون به‌صرفه به آب سالم، مدیریت پایدار منابع آب را به یکی از بزرگترین چالش‌های قرن ۲۱ تبدیل کرده است (Qu et al., 2013). شکی نیست که امنیت آب در حال‌حاضر به یک اولویت ملی تبدیل شده است که برنامه‌ریزی استراتژیک مدیریت منابع آب نقش برجسته‌ای در مذاکرات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی ملت‌ها و دولت‌های حاکم دارد (Madani, 2014). یکی از راه‌کارهای مناسب در راستای مدیریت جامع آب شیرین، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران که با محدودیت این منابع روبه‌رو است؛ تصفیه و استفاده مجدد از آب‌های نامتعارف است (Keshtkar et al., 2016). آب‌های شور، زه‌آب‌های شور کشاورزی و پساب‌های شور صنایع مختلف از جمله منابع آب نامتعارف هستند. روش‌های تصفیه پساب شور مبتنی بر روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است (Chua et al., 2012). در میان تجارب و تحقیقات گوناگون انجام شده، استفاده از پتانسیل‌های فیزیولوژیکی گیاهان تحت عنوان گیاه‌پالایی را می‌توان از روش‌های موثر تصفیه شوری دانست (Keshtkar et al., 2016).

گیاه‌پالایی یک روش اقتصادی، دوستدار محیط‌زیست و نوآورانه است که به‌طور گسترده در آسیا، آمریکا و اروپا در مواجهه با آلودگی‌های محیطی، به‌ویژه آلودگی آب استفاده می‌شود (Salt et al., 1998; Valderrama et al., 2013; Banerjee et al., 2016). در این روش از گونه‌های گیاهی خاص برای تصفیه و بهبود کیفیت آب و پساب استفاده می‌شود و کاربردهای محیط‌زیستی متنوعی دارد (Suelee et al., 2017; Seroja et al., 2018; Keshtkar et al., 2016). این گیاهان می‌توانند به‌عنوان یک فیلتر عمل کنند و علاوه‌بر جذب و تثبیت ترکیبات نیتروژن، فسفات و فلزات سنگین، باعث افزایش اکسیژن محلول و کاهش کدورت آب نیز شوند (Gholipour et al., 2020; Parnian and Furze, 2021). گیاه وتیور به‌دلیل داشتن شبکه ریشه گسترده (Raman and Gnansounou, 2018; Li et al., 2021) و سازگاری با شرایط محیطی سخت نظیر سطوح بالای عناصر سمی، شوری و وجود بیش از حد ترکیبات نیتروژن و فسفر (Gholipour et al., 2020; Li et al., 2021) ، علاوه‌بر حذف بسیاری از آلاینده های آلی و معدنی از خاک و آب، می‌تواند این آلاینده‌ها را در بافت خود سم‌زدایی کند (Panja et al., 2020). از طرف دیگر، گیاه وتیور به‌طور گسترده در چندین بخش از جهان برای تثبیت سواحل و حاشیه‌های رودخانه‌ها، جلوگیری از فرسایش خاک و احیای اکولوژیکی استفاده شده است (Panja et al., 2020 ; عابدی کوپایی و همکاران، ۱۴۰۰). بنابراین ویژگی‌های منحصر به‌فرد فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی این گیاه منجر به اجرای موفقیت آمیز فرآیند گیاه‌پالایی شده است (Davamani et al., 2021 ؛ عابدی کوپایی و همکاران، ۱۳۹۹).

Jayashree et al. (2011) پژوهشی در راستای بهبود کیفیت پساب حاصل از نساجی با استفاده از سیستم وتیور انجام دادند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که میزان نیتروژن کل کجلدال، هدایت الکتریکی توسط گیاه وتیور به‌ترتیب ۹۴، ۸۶ و ۸۳ درصد کاهش یافته است. پژوهشی توسط Keshtkar et al. (2016) مبنی بر بررسی کاربرد سیستم وتیور در تصفیه و بهبود کیفیت آب‌های نامتعارف شامل پساب معدن و آب‌های بسیار شور زیرزمینی موجود در محدوده معدن در مدت زمان ۴ هفته صورت‌گرفت. براساس نتایج این پژوهش، راندمان حذف سختی، کل مواد جامد معلق و هدایت الکتریکی برای پساب به‌ترتیب ۴۶، ۳۱/۵ و ۲۸/۳ درصد و برای آب شور زیرزمینی به‌ترتیب ۴۵/۱، ۳۳ و ۲۸ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج حاصل نشان داد که گیاه وتیور قادر به جذب بالا از عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم است. در نهایت یافته‌های به‌دست آمده مبین آن است که سیستم تصفیه وتیور پتانسیل بالایی در تصفیه آب‌های نامتعارف دارای املاح و شوری بسیار بالا و کاهش آلاینده‌ها دارد. Gholipour et al., (2020) در پژوهشی عملکرد گیاه وتیور در بهبود کیفیت پساب ورودی و خروجی در طی ۱۸ روز مورد بررسی قرار دادند. مطابق نتایج حاصل از بررسی کیفیت پساب، میزان کاهش نیترات توسط گیاه وتیور ۹۰ درصد گزارش شده است. هم‌چنین این گیاه قادر به کاهش کاتیون‌هایی نظیر سدیم، کلسیم و منیزیم بوده است. Davamani et al. (2021) در پژوهشی بهبود کیفیت پساب توسط گیاه وتیور را بررسی کردند. مطابق با نتایج پژوهش میزان راندمان حذف نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم به‌ترتیب ۵۹/۲۴، ۴۷/۷۸ و ۵۴/۶۴ مشاهده شد. هم‌چنین با استفاده از گیاه وتیور هدایت الکتریکی، کل نمک‌های محلول و کل مواد جامد معلق به‌ترتیب ۳۹/۳۹، ۸۱/۱۹ و ۵۶/۱۹ درصد کاهش یافت. در یکی از پژوهش‌های اخیر عابدی کوپایی و همکاران (۱۳۹۹) بهبود کیفیت شیرابه‌های حاصل از پسماند شهری به منظور استفاده در

آبیاری فضای سبز با استفاده از کشت هیدروپونیک گیاه وتیور را بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که گیاه وتیور توانایی کاهش BOD_5، COD، نیترات و فسفات به‌ترتیب به‌میزان ۶۸، ۶۰، ۸۲ و ۸۳ درصد پس از ۲۱ روز را دارد. هم‌چنین عابدی کوپائی و همکاران (۱۴۰۰) عملکرد سیستم وتیور در تصفیه دو نوع فاضلاب شهری را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه وتیور توانایی حذف کارآمد ترکیبات BOD_5، COD، آمونیوم، نیترات، فسفات و پتاسیم را به‌ترتیب به‌میزان ۴۲، ۵۵، ۹۱، ۶۶، ۸۹ و ۹۷ درصد داشته است.

اگرچه در پژوهش‌های قبلی تمرکز بر روی بررسی عملکرد گیاه وتیور در توانایی تصفیه و بهبود کیفیت فاضلاب بوده است، پژوهش‌های کمی بر روی شوری زدایی پساب‌ها صورت‌گرفته است. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی کاهش میزان شوری و جذب پارامترهای مختلف آلاینده منابع آب تحت سه سطح مختلف شوری زه‌آب توسط گیاه وتیور است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- انتخاب و آماده سازی گیاه

گیاه وتیور از نوع Chrysopogon zizanioides L. Roberty به‌عنوان گونه مورد مطالعه انتخاب شد. گونه وتیور موردنظر به‌تعداد ۷۵ گلدان (۳۰۰ بوته وتیور) از استان خوزستان تهیه و به دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شد. سپس گیاهان وتیور از خاک تکثیر خارج شده و سطح آن را با آب مقطر استریل کرده تا خاک چسبیده به‌منظور استقرار آن در محیط هیدروپونیک از بین برود.

۲-۲- مشخصات محل اجرای طرح و محل تهیه زه‌آب

این تحقیق در محل مزرعه آموزشی واقع در طول جغرافیایی ۲۸′ ۵۱° شرقی و عرض جغرافیایی ۴۲′ ۳۲° شمالی دانشگاه صنعتی اصفهان و جنب واحد تصفیه‌خانه دانشگاه انجام گرفت. با توجه به اهداف طرح، در این پژوهش اقدام به تهیه زه‌آب مورد نیاز از دو محل شد:

الف- چاه منابع طبیعی، که مشخصات این آب و برخی از ویژگی‌های شیمیایی آن در قسمت نتایج و بحث آمده است.

ب- زه‌آب خروجی از زهکش‌های واقع در ایستگاه تحقیقات شوری رودشت وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان. آنالیز مشخصات این زه‌آب در قسمت نتایج و بحث آمده است.

۲-۳- روش تحقیق

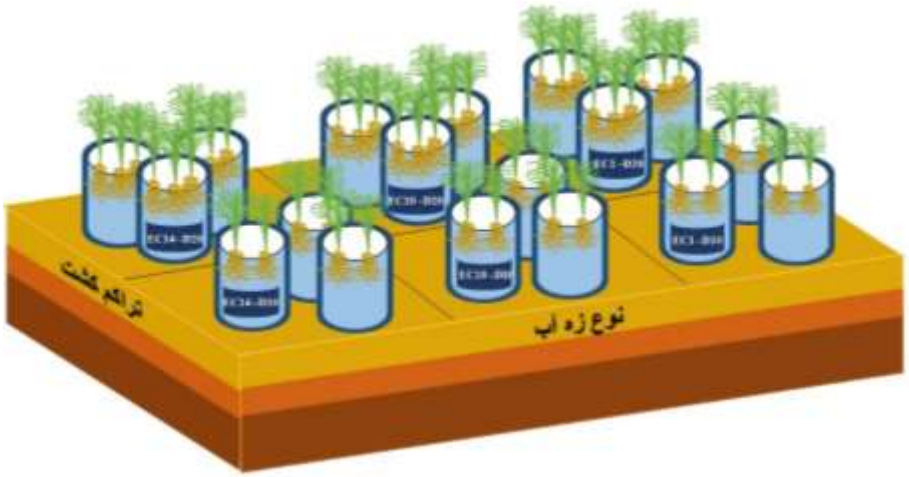
این پژوهش در قالب یک طرح آزمایش کاملاً تصادفی در سه سطح شوری (۱، ۱۰ و ۱۴ دسی زیمنس برمتر) و دو سطح تراکم کشت گیاه (۱۰ بوته و ۲۰ بوته وتیور) با ۳ تکرار انجام شد. مجموع ۶ تیمار (D10-EC1، D10-EC10، D10-EC14، D20-EC1، D20-EC10 و D20-EC14) در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین تیمارهای آب کم شور (EC1) به‌عنوان شاهد درنظر گرفته شده و مشاهدات بر پایه آن‌ها گزارش شدند.

جدول ۱- نوع زه‌آب (عابدی، ۱۳۸۱؛ نی‌ریزی، ۱۳۷۷)، نام‌گذاری و طبقه بندی تیمارهای آزمایشی

تیمـار		EC (dS/m)	کدهای نمونه
تراکم	طبقه‌بندی نوع زه‌آب		
۱۰ گیاه (D10)	آب کم شور	۱/۰۱	D10-EC1
	آب شوری متوسط	۱۰/۰۱	D10-EC10
	آب شور	۱۴/۳۳	D10-EC14
۲۰ گیاه (D20)	آب کم شور	۰/۹۹	D20-EC1
	آب شوری متوسط	۹/۶۷	D20-EC10
	آب شور	۱۴/۳۱	D20-EC14

برای انجام آزمایش تعداد ۱۸ مخزن ۲۲۰ لیتری فلزی با سطح مقطع ۰/۲۳ مترمربع از محل پالایشگاه اصفهان تهیه شد. به‌دلیل تماس سطح داخلی مخازن با زه‌آب و به‌منظور جلوگیری از زنگ‌زدگی و تأثیر مخرب ورود فلزات اکسید شده بر روی انجام پروژه، سطح داخلی مخازن با استفاده از ۲ لایه رنگ مناسب پوشش داده شد. برای بررسی اثر تراکم کشت گیاه بر میزان پالایندگی زه‌آب و با توجه به سطح مقطع مخازن (۰/۲۳ مترمربع) ۲ تراکم کشت ۲۰ بوته (۸۷ بوته به ازای ۱ مترمربع) و ۱۰ بوته (۴۴ بوته به ازای ۱ مترمربع) وتیور انتخاب شد. به‌منظور شناورسازی و استقرار گیاهان در سطح زه‌آب درون مخازن یونولیت‌هایی به قطر دهانه مخازن فراهم شد و گیاهان درون آن‌ها جایگذاری شد.

از ابتدای خرداد ماه ۱۳۹۴ به‌منظور استقرار گیاهان و انجام آزمایش، اقدام به پر کردن هر کدام از مخازن مطابق با طرح آزمایش مورد نظر توسط زه‌آب در سه سطح شوری شد. از ابتدای تیرماه به هر یک از تیمارها کود کامل ۲۰-۲۰-۲۰ (که حاوی عناصر پر مصرف مورد نیاز گیاهان، نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم، هر یک با غلظت ۲۰٪ بوده و هم‌چنین حاوی عناصر ریزمغذی نظیر بر، مس، آهن، منگنز، مولیبدن و روی است) به‌میزان ۲۰ گرم داده شد. گیاهان در شهریور ۱۳۹۴ به حداکثر رشد خود در طی فصل رشد رسیدند. لازم به ذکر است به‌صورت ماهیانه اقدام به نمونه‌برداری از زه‌آب شده و مجدداً اقدام به تعویض زه‌آب می‌شد. در نهایت، از ابتدای مهر ۱۳۹۴ با تعویض زه‌آب‌ها و پس از تعیین میزان آلایندگی اولیه با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز اقدام به نمونه‌برداری و ارسال به آزمایشگاه صورت‌گرفت. نحوه چیدمان مخازن حاوی گیاه وتیور در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱- نمای شماتیک از مخازن (پایلوت) حاوی گیاهان وتیور

پارامترهای کیفی زه‌آب نظیر هدایت الکتریکی، یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و هم‌چنین عناصر مغذی نیتروژن، فسفرو پتاسیم مطابق با استاندارد (APHA, 1998) در آزمایشگاه مهندسی آب دانشگاه صنعتی اصفهان اندازه‌گیری شدند. درصد حذف مقادیر با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شده است (Parnian and Furze, 2021):

$$R = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100 \qquad (۱)$$

که R: درصد حذف، پارامترهای C_0 و C_t: به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده پارامترهای کیفی زه‌آب در زمان صفر و در زمان ماندهای مختلف (۳، ۷ و ۱۴ روز) هستند. نتایج پژوهش با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد توسط نرم افزار SAS 9.4 آنالیز شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشخصات زه‌آب اولیه قبل از انجام گیاه‌پالایی

برای تعیین میزان حذف عوامل شوری از زه‌آب دو فاکتور میزان شوری زه‌آب و اثر تراکم، در طی زمان و اثرات متقابل آن‌ها سنجش شد. جدول ۲ آنالیز واریانس کلیه پارامترهای اندازه‌گیری شده را نمایش می‌دهد.

تجزیه و تحلیل پارامترهای اندازه‌گیری شده نشان داد که فاکتورهای نوع زه‌آب و زمان‌ماند، دارای اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد هستند که به‌دلیل وجود اختلاف چشمگیری که در خصوصیات کیفی زه‌آب‌ها است. هم‌چنین زمان ماند مختلف به‌دلیل مصرف گیاه از مواد مغذی و کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف، هدایت الکتریکی کاهش پیدا کرده و اثرات آن در سطح ۱ درصد معنی‌دار است، اما تراکم اثر معنی‌داری بر نتایج آزمایش نداشته است. نتایج حاصل بدین علت می‌تواند باشد که رشد سریع و انبوه گیاه وتیور موجب جبران اثر کم بودن تراکم آن شده در حالی‌که گیاهانی که با تراکم بیشتر کشت شده‌اند به‌دلیل رقابت، رشد کمتری داشته اند. از میان اثرات متقابل فاکتورها در موارد (نوع زه‌آب × تراکم) و (نوع زه‌آب × تراکم × زمان) معنادار نشده اند؛ در حالی‌که اثرات متقابل (نوع زه‌آب × زمان) به‌جز در آب با شوری کم (EC1) بقیه معنی‌دار شده است که می‌تواند به‌دلیل اثر زیاد تراکم کشت بر کاهش معنی‌داری آزمایش‌ها و بیانگر کاهش هدایت الکتریکی با گذشت زمان باشد.

جدول ۲- تجزیه واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

متغیرها	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		EC	K^+	NO_3^-	PO_4^{3-}	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
نوع زه‌آب	۲	۶۷۷/۰۸*	۵۱۵۲/۰۱**	۵۹۶۷۱/۹۷**	۷۰/۹۲ns	۲۵۴۱۲۷۴**	۳۱۱۳/۱۷**	۱۲۲۸۴/۹۹**
تراکم	۱	۰/۰۰۶ns	۲۴۳/۷۵ns	۱/۹۵ns	۱۱۳/۰۸ns	۱۳۰۴/۶۷ns	۴/۰۰۵ns	۹۷/۰۱ns
نوع زه‌آب × تراکم	۲	۰/۱۳ns	۳۹/۹۹ns	۵۳۱/۵۱ns	۹۲/۰۹ns	۱۰۹۰/۳۵ns	۱/۳۹ns	۲۳/۷۷ns
خطای آزمایش	۸	۰/۳۷	۳۵۹/۴۵	۳۱۱۹/۱۵	۲۸۹/۲۶	۵۰۶۹/۷۳	۸۵/۲۴	۵۲/۰۶
زمان	۳	۳/۵۱**	۲۷۶۵/۰۰۵**	۱۳۱۰۹/۹۴**	۱۲۷۴/۳۳**	۲۰۳۴/۳۴**	۷۸/۲۶**	۳۰۶/۴۱**
نوع زه‌آب × زمان	۶	۰/۷**	۹۷/۸۳**	۲۲۲/۸۵ns	۳/۴۱ns	۳۰۹/۳۵**	۲۶/۹**	۶۱/۸۴**
تراکم × زمان	۳	۰/۰۴ns	۴/۹۶ns	۱۰۵/۴۵ns	۰/۴۹ns	۲۳/۷ns	۰/۵ns	۰/۵۷ns
نوع زه‌آب × تراکم × زمان	۶	۰/۰۱ns	۵/۰۸ns	۵/۸۳ns	۱/۸۷ns	۱۶/۷۶ns	۰/۴۵ns	۲/۲۷ns
خطای نمونه‌گیری	۲۴	۰/۰۴	۱۳/۵۸	۱۷۱/۱۱	۶/۹۵	۱۷/۵۵	۲/۶۲	۱۷/۴۲
Cv (%)	-	۲/۵	۴/۵۲	۷/۲	۷/۲۷	۱/۰۸	۱۱/۱	۱۵/۰۲
R^2 (٪)	-	۹۹/۹۳	۹۸/۵۶	۹۷/۹	۹۷/۵۸	۹۹/۹۹	۹۹/۱۷	۹۸/۴۵

ns: معنی‌دار نیست. *: در سطح ۵٪ معنی‌دار است. **: در سطح ۱٪ معنی‌دار است.

۳-۲- بررسی میزان تغییرات زه‌آب بعد از انجام گیاه‌پالایی

۳-۲-۱- بررسی میزان تغییرات هدایت الکتریکی

جدول ۳ بیانگر روند تغییرات و میزان درصد کاهش هدایت الکتریکی توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز است. مطابق جدول ۳ ، با افزایش زمان ماند درصد کاهش شوری زه‌آب نیز افزایش می‌یابد و در غالب موارد در زمان‌ماندهای یکسان بین تیمارهای با آب ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دیده نمی‌شود. این موضوع می‌تواند به‌معنی عدم تأثیر شوری تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر بر عملکرد گیاه است. در تیمارهای با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر برخلاف سایر تیمارها تراکم بیشتر عملکرد کمتری در حذف شوری داشته است. این موضوع می‌تواند به مواد آزاد شده از ریشه گیاه مربوط باشد که با افزایش تراکم میزان آن نیز افزایش یافته است. هم‌چنین به‌دلیل کمتر بودن مقدار شوری آب از سایر تیمارها کاهش شوری چشمگیر نبوده است. نکته حائز اهمیت این است که گیاه وتیور توانایی زیادی در محیط‌های شور دارد، به‌طوری‌که بیشترین میزان رشد و کاهش شوری را در شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر داشته و در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به ۱ دسی‌زیمنس بر متر کاهش عملکرد داشته که در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. نتایج به‌دست آمده از میزان کاهش هدایت الکتریکی با نتایج Chua et al. (2012) که گزارش کرده‌اند گیاه وتیور مقاومت بسیار زیادی در محیط شور دارد، مطابقت دارد. هم‌چنین پژوهش‌های دیگری کاهش هدایت الکتریکی و مقاومت گیاه وتیور در محیط‌های شور را گزارش داده‌اند (Keshtkar et al., 2016; Davamani et al., 2021).

جدول ۳- روند تغییرات و درصد کاهش هدایت الکتریکی در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
D20-EC1 (dS/m)	۱	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۶	درصد کاهش	۴e	۸d	۱۴ab
D10-EC1 (dS/m)	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۲	۰/۸۴		۱/۰۱e	۷/۰۷de	۱۵/۱۵c
D20-EC10 (dS/m)	۱۰/۰۱	۹/۳۶	۸/۸۴	۸/۴۲		۶/۴۹d	۱۱/۶۹c	۱۵/۸۸b
D10-EC10 (dS/m)	۹/۶۷	۹/۱۵	۸/۶۶	۸/۳۹		۵/۳۸d	۱۰/۴۴bc	۱۳/۲۴a
D20-EC14 (dS/m)	۱۴/۳۳	۱۳/۴۷	۱۲/۸۴	۱۲/۱۳		۶d	۱۰/۴c	۱۵/۳۵b
D10-EC14 (dS/m)	۱۴/۳۱	۱۳/۵۱	۱۲/۹۱	۱۲/۵۷		۵/۵۹d	۹/۷۸c	۱۲/۱۶a

حروف یکسان در هر ردیف به‌معنی عدم اختلاف معنی‌دار بین میانگین گروه‌ها است ($P > 0.05$).

۳-۲-۲- بررسی غلظت عناصر سدیم ، کلسیم و منیزیم

جدول ۴ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت نیترات توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۴، با افزایش شوری درصد

کاهش غلظت سدیم بین تیمارهای مختلف تغییر معنی‌داری نداشته است. این موضوع نشان‌دهنده مقاومت گیاه وتیور در برابر ورود یون سدیم به داخل آن است. هم‌چنین در تمامی تیمارها به‌جز تیمار آب با شوری کم میزان کاهش سدیم در تیمار با تراکم بیشتر، زیادتر از تراکم کمتر است. البته بین تراکم‌های کم و زیاد در اکثر موارد اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود. بر طبق آزمایش‌های انجام شده و تراکم‌های ۴۴ بوته گیاه در ۱ مترمربع در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر گیاه وتیور در مدت ۱۴ روز به‌طور متوسط ۱۰ گرم نمک را در بافت‌های خود ذخیره می‌کند. این موضوع از آن‌جهت حائز اهمیت است که با توجه به سطح کشت شده این گیاه می‌تواند درصورت بارگذاری حدود ۸۰ گرم در لیتر سدیم کلرید میزان ۱۰ گرم از آن را در مدت ۱۴ روز حذف نماید.

جدول ۴- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت سدیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
D20-EC1 (mg/L)	۶۱/۶۵	۵۹/۵۹	۵۵/۰۲	۵۲/۸	درصد کاهش	۳/۳۴^{cd}	۱۰/۷۵^{b}	۱۴/۳۶^{a}
D10-EC1 (mg/L)	۶۰/۶۸	۵۸/۹۵	۵۵/۷۱	۵۳/۱۳		۲/۸۵^{cd}	۸/۱۹^{b}	۱۲/۴۴^{a}
D20-EC10 (mg/L)	۲۷۴/۲۵	۲۶۹/۶۴	۲۵۲/۸۱	۲۳۸/۹۹		۱/۶۸^{de}	۷/۸۲^{c}	۱۲/۸۶^{b}
D10-EC10 (mg/L)	۲۷۰/۹۱	۲۶۴/۷۴	۲۵۹/۹۸	۲۴۷/۱۲		۲/۲۸^{e}	۴/۰۳^{b}	۸/۷۸^{a}
D20-EC14 (mg/L)	۷۹۰/۴	۷۷۹/۱	۷۵۵/۸۴	۷۴۶/۲۵		۱/۴۳^{e}	۴/۳۷ ^{cd}	۵/۵۹^{c}
D10-EC14 (mg/L)	۸۱۶/۴۱	۸۰۷/۲۱	۷۸۴/۹۲	۷۷۲/۴۳		۱/۱۳^{e}	۳/۸۶^{c}	۵/۳۹^{c}

جدول ۵ بیانگر روند تغییرات و درصد کاهش غلظت کلسیم توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز است. همان‌طور که در جدول مشخص است، بیشترین میزان جذب کلسیم با مقدار ۱۲ میلی‌گرم بر لیتر در تیمار (D20-EC14) مشاهده شد. هم‌چنین با افزایش شوری تا ۱۰ دسی‌زیمینس بر متر جذب کلسیم افزایش داشته و در شوری بیشتر کاهش جذب و یا عدم معنی‌داری در تغییرات دیده شد. طبق جدول، کشت گیاه وتیور با تراکم ۴۴ بوته در مترمربع می‌تواند در مدت ۱۴ روز میزان ۴۴۸ میلی‌گرم کلسیم را در زه‌آبی با غلظت ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر جذب نماید.

جدول ۵- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت کلسیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
D20-EC1 (mg/L)	۱/۲	۱/۱۵	۱/۰۵	۰/۷	درصد کاهش	۴/۱۷^{e}	۱۲/۵^{e}	۴۱/۶۷^{d}
D10-EC1 (mg/L)	۱/۳	۱/۱۵	۱/۱	۱		۱۱/۵۴^{f}	۱۵/۳۸^{e}	۲۳/۰۸^{a}
D20-EC10 (mg/L)	۱۵/۳	۱۳/۴۶	۱۱/۶۶	۱۰/۲۶		۱۲/۰۳^{e}	۲۳/۷۹^{d}	۳۲/۹۴^{cd}
D10-EC10 (mg/L)	۱۴/۳	۱۲/۷۵	۱۰/۸۵	۱۰/۱۰		۱۰/۸۴^{e}	۲۴/۱۳^{d}	۲۹/۳۷^{bc}
D20-EC14 (mg/L)	۳۳/۶۶	۳۰/۳۳	۲۶	۲۱/۶۶		۹/۸۹^{e}	۲۲/۷۶^{de}	۳۵/۶۵^{ab}
D10-EC14 (mg/L)	۳۲	۲۸/۷۵	۲۶/۵	۲۰/۵		۱۰/۱۶^{e}	۱۷/۱۹^{d}	۳۵/۹۴^{ab}

باتوجه به نتایج به‌دست آمده از بررسی جذب منیزیم توسط گیاه وتیور، جدول ۶ بیانگر کاهش جذب منیزیم در شوری زیاد توسط گیاه است، به‌طوری‌که در زمان ماندهای مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. مطابق این جدول، گیاه وتیور با تراکم کشت ۴۴ گیاه در واحد سطح می‌تواند ۳۱۲ میلی‌گرم بر لیتر منیزیم را از زه‌آبی با غلظت ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر جذب نماید. بدیهی است با کاهش شوری میزان جذب منیزیم توسط گیاه می‌تواند تا ۳ برابر این مقدار افزایش یابد.

یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش Gholipour et al. (2020) در بررسی میزان حذف کاتیون‌ها از پساب در طی ۱۸ روز حاکی از آن است که گیاه وتیور توانسته است به‌ترتیب ۴۳، ۲۱ و ۱۴ درصد از غلظت کلسیم، منیزیم و سدیم بکاهد. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج به‌دست آمده توسط Gholipour et al., (2020) مطابقت نزدیکی دارد و ترتیب میزان حذف کاتیون‌ها از بیشتر به کمتر به این‌صورت است: Ca > Mg > Na .

۳-۲-۳- بررسی غلظت نیترات

جدول ۷ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت نیترات توسط

گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. بیشترین میزان حذف نیترات مربوط به زه‌آب با شوری کم بوده و با افزایش شوری از میزان آن کاسته می‌شود اما این کاهش معنی‌دار نیست.

جدول ۶- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت منیزیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
D20-EC1 (mg/L)	۱/۴	۰/۸۵	۰/۶	۰/۶	درصد کاهش	۳۹/۲۹^{d}	۵۷/۱۴^{bc}	۵۷/۱۴^{a}
D10-EC1 (mg/L)	۱/۴	۰/۹۵	۰/۷	۰/۳۵		۳۲/۱۴^{cd}	۵۰^{ab}	۷۵^{ab}
D20-EC10 (mg/L)	۳۰/۴۷	۲۵/۱۷	۲۰/۳۳	۱۴/۹۷		۱۷/۳۹^{e}	۳۳/۲۸^{de}	۵۰/۸۷^{bc}
D10-EC10 (mg/L)	۳۴/۷	۲۸/۹	۲۳/۶۵	۱۷/۲۵		۱۶/۷۱^{e}	۳۱/۸۴^{de}	۵۰/۲۹^{bc}
D20-EC14 (mg/L)	۶۱	۵۳	۴۷/۶۷	۴۳		۱۳/۱۱^{f}	۲۱/۸۵^{e}	۲۹/۵۱^{e}
D10-EC14 (mg/L)	۶۳	۵۸/۲۵	۵۲	۴۹/۵		۷/۵۴^{ef}	۱۷/۴۶^{e}	۲۱/۴۳^{de}

جدول ۷- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت نیترات در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
D20-EC1 (mg/L)	۱۴۶/۱۱	۱۱۲/۹۳	۹۶/۹۳	۸۱/۷۸	درصد کاهش	۲۲/۷۱^{e}	۳۳/۶۶^{cd}	۴۴/۰۳^{bc}
D10-EC1 (mg/L)	۱۳۵/۱۷	۱۱۳/۸۵	۹۸/۳۱	۸۵/۹۶		۱۵/۷۷^{d}	۲۷/۲۷^{bc}	۳۶/۴۱^{a}
D20-EC10 (mg/L)	۲۴۵/۷۹	۲۱۰/۷۷	۱۸۵/۳۹	۱۵۲/۴		۱۴/۲۵^{e}	۲۴/۵۷^{d}	۳۸^{bc}
D10-EC10 (mg/L)	۲۵۲/۴۲	۲۲۱/۷۸	۱۹۹/۴۴	۱۶۷/۰۲		۱۲/۱۴^{de}	۲۰/۹۹^{c}	۳۳/۸۳^{ab}
D20-EC14 (mg/L)	۲۶۳/۷۴	۲۳۳/۴۶	۲۰۸/۴۹	۱۸۱/۹۸		۱۱/۴۸^{e}	۲۰/۹۵^{d}	۳۱^{c}
D10-EC14 (mg/L)	۲۴۵/۹۶	۲۲۲/۲۸	۲۰۱/۹۸	۱۸۰/۱۸		۹/۶۳^{e}	۱۷/۸۸^{d}	۲۶/۷۴^{c}

طبق جدول ۷، گیاه وتیور با تراکم کشت ۴۴ بوته گیاه در ۱ مترمربع در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر قادر است میزان ۲۷ گرم نیترات را در زه‌آب طی مدت ۱۴ روز کاهش دهد. بدیهی است که با کاهش میزان شوری، جذب نیترات افزایش می‌یابد. Truong and Hart (2001) نیز در آزمایش‌های خود به کاهش ۸۰ درصدی این ترکیبات در محیط تالابی دست یافتند. هم‌چنین یافته‌های حاصل از پژوهش Parnian and Furze (2021) در سیستم عمودی وتیور حاکی از کاهش ۳۶/۴۱ درصدی از میزان نیترات برای بهبود کیفیت پساب با میزان جریان عبوری ۱۶۰ لیتر در روز است.

۳-۲-۴- میزان غلظت فسفات

جدول ۸ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت فسفات توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. طبق جدول، بیشترین میزان کاهش با ۵۱ درصد کاهش در زه‌آب لب‌شور انجام شده که البته نتایج تجزیه واریانس این تیمار (D20-EC10) بیانگر تفاوت عدم معنی‌داری آن با تیمارهای دیگر در همان مرحله نمونه برداری است.

طبق نتایج به‌دست آمده گیاه وتیور می‌تواند ۳۴ گرم فسفات را در واحد سطح در مدت ۱۴ روز با شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر حذف نماید که رقم قابل‌توجهی است. نتایج حاصل از آزمایش‌های Davamani et al. (2021) در بررسی روند حذف فسفات از پساب خام، مشابه این پژوهش بوده به‌طوری‌ه در طی دوره به‌صورت میانگین به‌میزان ۴۷/۷۸ درصدکاهش یافته است.

۳-۲-۵- میزان غلظت پتاسیم

جدول ۹ روند تغییرات و درصد کاهش غلظت پتاسیم توسط گیاه وتیور در تیمارهای مختلف با زمان ماندهای ۳، ۷ و ۱۴ روز را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، گیاه وتیور با روند خوبی توانسته پتاسیم را مصرف کند. به‌طوری‌که در زه‌آب شور در روز ۱۴ به‌طور میانگین ۵۰ درصد از پتاسیم محلول را مصرف کرده است. هم‌چنین این جدول بیانگر کاهش معنی‌دار جذب پتاسیم با افزایش شوری است. برطبق نتایج آزمایش‌ها گیاه وتیور با تراکم ۴۴ گیاه در مترمربع توانایی حذف حدود ۳۵ گرم پتاسیم را از زه‌آبی با شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر دارد. نتایج پژوهش‌های دیگر محققان نشان داد که گیاه وتیور قادر است مقدار زیادی از سه عنصر نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) را مصرف کند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Ghars et al., 2009; Gholipour et al., 2020; Davamani et al., 2021).

جدول ۸- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت فسفات در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
(mg/L) D20-EC1	۴۷/۸۹	۳۷/۱۶	۳۰/۱۲	۲۴/۹	درصد کاهش	^{f}۲۲/۴۱	^{cd}۳۷/۱۱	^{ab}۴۸/۰۱
(mg/L) D10-EC1	۴۹/۲۶	۴۰/۱۸	۳۱/۶۶	۲۶/۶۸		^{f}۱۸/۴۳	^{cd}۳۵/۷۳	^{a}۴۵/۸۴
(mg/L) D20-EC10	۴۳/۱۷	۳۳/۹۷	۲۶/۲۱	۲۰/۹۲		^{f}۲۱/۳۱	^{cde}۳۹/۲۹	^{ab}۵۱/۵۴
(mg/L) D10-EC10	۵۱/۸۲	۴۲/۱۲	۳۳/۰۸	۲۷/۸۸		^{f}۱۸/۷۲	^{bc}۳۶/۱۶	^{a}۴۶/۲
D20-EC14 (mg/L)	۵۰/۴۶	۴۲/۱۱	۳۴/۸۷	۲۸/۱۸		^{f}۱۶/۵۵	^{e}۳۰/۹	^{bc}۴۴/۱۵
D10-EC14 (mg/L)	۴۷/۶۴	۴۰/۶۶	۳۴/۶۶	۲۸/۸		^{f}۱۴/۶۵	^{de}۲۷/۲۵	^{ab}۳۹/۵۵

جدول ۹- روند تغییرات و درصد کاهش غلظت پتاسیم در طول آزمایش توسط گیاه وتیور

زمان ماند (روز)	۰	۳	۷	۱۴		۳	۷	۱۴
(mg/L) D20-EC1	۷۹/۶۴	۶۶/۴۱	۵۲/۴۷	۳۴/۷۹	درصد کاهش	^{f}۱۶/۶۱	^{d}۳۴/۱۲	^{b}۵۶/۳۲
(mg/L) D10-EC1	۸۲/۶۷	۷۰/۶۴	۵۹/۷۳	۴۴		^{ef}۱۴/۵۵	^{c}۲۷/۷۵	^{a}۴۶/۷۸
(mg/L) D20-EC10	۱۱۱/۶۲	۱۰۱/۴۱	۸۹/۳۳	۷۵/۳۳		^{g}۹/۱۵	^{e}۱۹/۹۷	^{c}۳۲/۵۱
(mg/L) D10-EC10	۱۱۳/۳۷	۱۰۱/۲۳	۹۲/۳۷	۷۴/۲۷		^{g}۱۰/۷۱	^{e}۱۸/۵۲	^{c}۳۴/۴۹
D20-EC14 (mg/L)	۹۲/۷۵	۸۶/۶۵	۷۹/۵۳	۷۰/۱۵		^{h}۶/۵۸	^{fg}۱۴/۲۵	^{e}۲۴/۳۷
D10-EC14 (mg/L)	۹۷/۱۷	۹۲/۷۸	۸۵/۱۶	۷۷/۹۳		^{gh}۴/۵۲	^{f}۱۲/۳۶	^{d}۱۹/۸

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش میزان کاهش شوری و عوامل مغذی زه‌آب‌های شور توسط گیاه وتیور بررسی شد. نتایج مشاهدات به‌خوبی گویای مقاومت زیاد گیاه وتیور در برابر شرایط بد محیطی و شوری زیاد است و جذب عناصر آلاینده نیز به‌خوبی توسط گیاه صورت‌گرفته است. هم‌چنین تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته گیاه ویتور به‌دلیل رشد زیاد گیاه با هم تفاوت معنی‌داری از نظر جذب آلاینده‌ها نشان ندادند. محدوده کاهش هدایت الکتریکی در مدت ۱۴ روز در زه‌آب‌های با سطوح شوری مختلف ۱۵/۸۸-۱۴ در تراکم‌های کشت ۲۰ بوته مشاهده شد. محدوده کاهش سدیم، کلسیم و منیزیم در مدت ۱۴ روز با سطوح شوری مختلف به‌ترتیب ۱۴/۳۶-۵/۵۹، ۴۱/۶۷- ۳۲/۹۴ و ۵۷/۱۴-۲۹/۵۱ درصد در تراکم‌های کشت ۲۰ بوته گزارش شد. طبق مشاهدات از میزان نیترات، فسفات و پتاسیم اولیه به‌ترتیب در محدوده ۴۴/۰۳-۳۱، ۵۱/۵۴-۴۴/۱۵ و ۵۶/۳۲-۲۴/۳۷ درصد در مدت ۱۴ روز با سطوح شوری مختلف کاسته شد. بنابراین، برطبق نتایج به‌دست آمده بیشترین میزان کاهش پارامترهای اندازه‌گیری شده در طی ۱۴ روز برای کشت ۲۰ بوته گیاه را می‌توان بدین‌صورت عنوان کرد که:

الف- هدایت الکتریکی در زه‌آب‌های با شوری ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۱۵ درصد کاهش یافت.

ب- سدیم شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۱۴ درصد کاهش یافت که با افزایش شوری تا ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از این میزان کاسته شد.

ج- کلسیم در زه‌آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر به‌میزان ۴۴ درصد کاهش یافت که به افزایش شوری به‌مقدار ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن نسبت به بقیه تیمارها حدود ۹ درصد کاهش یافت، اما تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف شوری مشاهده نشد.

د- منیزیم به‌میزان ۵۷ درصد در زه‌آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که با افزایش شوری به‌مقدار شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن کاهش یافت.

ه- یون نیترات به‌میزان ۴۴ درصد در زه‌آب با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که با افزایش شوری به‌مقدار شوری ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن کاسته شد، اما اختلاف جذب آن در شوری‌های مختلف معنی‌دار نشد.

و- فسفات به‌میزان ۵۱ درصد در زه‌آب با شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت که با افزایش شوری به‌مقدار ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن نسبت به بقیه تیمارها حدود ۱۰ درصد کاهش یافت.

ز- پتاسیم در زه‌آب‌های با شوری ۱ دسی‌زیمنس بر متر ۵۰ درصد کاهش یافت که با افزایش شوری به‌مقدار ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر از مقدار آن به‌میزان حدود ۵ درصد کاسته شد.

در نهایت با توجه به عملکرد خوب سیستم وتیور در این پژوهش پیشنهاد می‌شود از این گیاه به‌عنوان مرحله تکمیل‌کننده تصفیه‌خانه‌ها و یا به‌صورت ترکیبی با سایر روش‌های تصفیه و

بهسازی زه‌آب به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مدیریتی کارآمد و دوست‌دار محیط‌زیست برای کاهش تنش آبی استفاده شود.

۵- سپاسگزاری

از دانشگاه صنعتی اصفهان برای حمایت مالی و تدارکاتی از انجام این پژوهش تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

۶- مراجع

عابدی کوپایی، ج.، جمالیان، م.ع.، و درافشان، م.م.، (۱۳۹۹)، "بهبود کیفیت شیرابه محل دفن پسماند شهر اصفهان به‌روش گیاه‌پالایی با استفاده از گیاهان وتیور و نی به‌منظور استفاده در آبیاری فضای سبز"، *مجله آب و فاضلاب*، ۳۱(۳)، ۱۰۱-۱۱۱.

عابدی کوپایی، ج.، حکیمیان، م.ح.، معتمدی، ا.، و قدس مطهری ا.، (۱۴۰۰)، "عملکرد سیستم وتیور در تصفیه تکمیلی پساب شهری"، *نشریه مدیریت آب و آبیاری*، ۱۱(۲)، ۲۷۵-۲۹۰.

عابدی، ج.، نی‌ریزی، س.، ابراهیمی، ن.، ماهرانی، م.، مهردادی، ن.، خالدی، ه.، و چراغی، ع.، (۱۳۸۱)، "استفاده از آب‌شور در کشاورزی پایدار"، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۲۴.

نی‌ریزی، س.، (۱۳۷۷)، "نگرشی بر استفاده از آب‌های شور و لب شور در کشت آبی"، *مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران*.

APHA, (1998), *Standard methods for the examination of water and wastewater*, American Public Health Association. Washington DC.

Banerjee, R., Goswami, P., Pathak, K., and Mukherjee, A., (2016), "Vetiver grass: An environment clean-up tool for heavy metal contaminated iron ore mine-soil", *Ecological Engineering*, 90(1), 25-34.

Chua, L.H.C., Tan, S.B.K., Sim, C.H., and Goyal, M.K., (2012), "Treatment of baseflow from an urban catchment by a floating wetland system", *Ecological Engineering*, 49(1), 170-180.

Davamani, V., Indhu Parameshwari, C., Arulmani, S., Ezra John, J., and Poornima, R., (2021), "Hydroponic phytoremediation of paperboard mill wastewater by using vetiver (Chrysopogon zizanioides)", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), 1-8.

Ghars, M.A., Debez, A., and Abdelly, C., (2009), "Interaction between salinity and original habitat during germination of the annual seashore Halophyte Cakile Maritima", *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 40 (19-20), 3170-3180.

Gholipour, M., Mehrabanjoubani, P., Abdolzadeh, A., Raghimi, M., Seyedkhademi, S., Karimi, E., and Sadeghipour, H.R., (2020), "Facilitated decrease of anions and cations in influent and effluent of sewage treatment plant by vetiver grass (Chrysopogon zizanioides): The uptake of nitrate, nitrite, ammonium, and phosphate", *Environmental Science and Pollution Research*, 27(17), 21506-21516.

Goldberg, K., Peigney, A., Rahal, S., and Boinet, A., (2021), *Water against epidemics*, 7th Edition, Water, Hygiene and Sanitation Barometer, Solidarités International.

Jayashree, S., Rathinamala, J., and Lakshmanaperumalsamy, P., (2011), "Determination of heavy metal removal efficiency of Chrysopogon zizanioides (Vetiver) using textile wastewater contaminated soil", *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(5), 543-551.

Keshtkar, A.R., Ahmadi, M.R., Naseri, H.R., Atashi, H., Hamidifar, H., Razavi, S.M., Yazdanpanah, A., Karimpour Reihan, M., and Moazami, N., (2016), "Application of a vetiver system for unconventional water treatment", *Desalination and Water Treatment*, 57(53), 25474-25483.

Li, J., Fang, X., Yang, M., Tan, W., Zhang, H., Zhang, Y., Li, G., and Wang, H., (2021), "The adsorption properties of functionalization vetiver grass-based activated carbon: The simultaneous adsorption of phosphate and nitrate", *Environmental Science and Pollution Research*, 28(30), 40544-40554.

Madani, K., (2014), "Water management in Iran: What is causing the looming crisis?", *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315-328.

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", *Environmental Science and Pollution Research*, 27(28), 34951-34965.

Parnian, A., and Furze, J.N., (2021), "Vertical phytoremediation of wastewater using Vetiveria zizanioides L.", *Environmental Science and Pollution Research*, 28(45), 64150-64155.

Qu, X., Alvarez, P.J.J., and Li, Q., (2013), "Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment", *Water Research*, 47(12), 3931-3946.

Raman, J.K., and Gnansounou, E. (2018), "A review on bioremediation potential of vetiver grass", In: Varjani, S., Gnansounou, E., Gurunathan, B., Pant, D., Zakaria, Z. (eds), *Waste Bioremediation, Energy, Environment, and Sustainability*, Springer, Singapore, 127-140.

Salt, D.E., Smith, R.D., and Raskin, I., (1998), "Phytoremediation", *Annual review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 49(1), 643-668.

Seroja, R., Effendi, H., and Hariyadi, S., (2018), "Tofu wastewater treatment using vetiver grass (Vetiveria zizanioides) and zeliac", *Applied Water Science*, 8(1), 1-6.

Suelee, A.L., Hasan, S.N.M.S., Kusin, F.M., Yusuff, F.M., and Ibrahim, Z.Z., (2017), "Phytoremediation

ptential of Vetiver grass (Vetiveria zizanioides) for treatment of metal-contaminated water", *Water, Air, and Soil Pollution*, 228 (4), 1-15.

Truong, P., and Hart, B.H.M.E.C., (2001), "Vetiver system for wastewater treatment", Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok.

UN Water, (2019), *WHO and UNICEF launch updated estimates for water, sanitation and hygiene*, United Nations Water.

Valderrama, A., Tapia, J., Peñailillo, P., and Carvajal, D.E., (2013), "Water phytoremediation of cadmium and copper using Azolla filiculoides Lam. in a hydroponic system", *Water and Environment Journal*, 27(3), 293-300.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.