Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 45, No. 4, winter 2023, p. 87-100

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Effectiveness of Vetiver system in improving biological characteristics and electrical conductivity of wastewater

J. Abedi-Koupai[1*], M. H. Hakimian[2] and Armita Motamedi[3]

1- Corresponding Author, Professor, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (koupai@cc.iut.ac.ir).*
2- Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3- Former M.Sc. Student, Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 28 October 2021
Revised: 21 April 2022
Accepted: 24 April 2022

Keywords:
Hydroponic cultivation, Phytoremediation, Removal of pollutants, Vetiver Grass.

TO CITE THIS ARTICLE:

Abedi Koupai, J., Hakimian, M. H., Motamedi, A. (2023). 'Effectiveness of Vetiver system in improving biological characteristics and electrical conductivity of wastewater', Irrigation Sciences and Engineering, 45(4), pp. 87-100. doi: 10.22055/jise.2022.39021.1998.

Introduction

The increasing population and development of agricultural and industrial activities have put excessive pressure on freshwater resources. As a result, wastewater treatment has received growing attention in recent years. It seems more necessary in arid and semi-arid regions such as Iran, where we face climate change and a lack of rainfall (Mohammadi Moghadam et al., 2015; Nikmanesh et al., 2018). However, wastewater is one of the most critical environmental pollutants. If the microbial quality of the effluent and its hygienic aspects are not taken into account, its reuse poses a severe risk to human health and the environment (Abedi-Koupai et al., 2021). Therefore, the primary purpose of disinfection effluent from municipal wastewater treatment plants is to reduce the concentration of water-borne pathogens to less than the amount of infectious. Disinfection is done by physical and chemical methods. In most parts of the world, chlorine is the premier option for disinfecting effluents. That said, the adverse effects of chlorine effluent disinfection on humans and the environment have led to the possibility of using phytoremediation to improve the biological properties of water (Keddy, 2010). The Vetiver (VS) system for wastewater treatment is an innovative phytoremediation technology that has fantastic potential. This plant can grow in saline environments (Sanicola et al., 2019). Moreover, it can significantly improve the water quality parameters (Abedi-Koupai et al., 2021). Therefore, this study aims to investigate the possibility of using Vetiver in urban wastewater hydroponically to evaluate its efficiency in removing and refining pathogens, especially gastrointestinal coliforms. Our purpose is to use the treated water in the agriculture sector for irrigation.

Methodology

The project was carried out at the Isfahan University of Technology, and two types of treated and raw domestic wastewater were used. To conduct the study, plants were placed hydroponically in tanks with a total volume of 1000 liters (1 cubic meter) made of fiberglass. The treatments used two densities of 4 (16 vetiver plants) and eight densities (32 vetiver plants), aerated and non-aerated. The tanks were aerated by an air compressor. The experiment was performed in a

completely randomized design with three replications. Excel and SAS software were used to analyze the data. After determining the presence or absence of differences between the test groups (checking the significance of the test in the analysis of the variance table), we compared the mean between the groups using the least significant difference test (LSD) at a confidence level of 5%.

Results and Discussion

The leaf and root height of the plant were measured and recorded from the beginning of the study. This plant can have an average maximum leaf height of more than 130 cm during one hundred days. In addition to increasing the length of the leaves, the density of roots (including root length, number and diameter) and leaves (including number, and diameter) has also increased. In terms of electrical conductivity (EC), its values in both effluents were not significantly different at first. However, the EC decreased over time due to the consumption of various nutrients and cations and anions by plants. At the same time, control treatments (without plants) saw an increase in this parameter due to evaporation. Regarding the reduction of coliforms, in treatments containing plants up to the seventh day, the number of coliforms showed a decrease of a 99.8%. In raw wastewater, the number of coliforms decreased from 460000 MPN / 100mL to 193 MPN / 100mL on average, which means 99.95% reduction. It is if note that on the 14th day, the coliforms almost disappeared.

Conclusions

As it takes too long for plants to fully grow, time was considered a limiting factor. After examining the ability of Vetiver grass to treat municipal wastewater and analyzing the measured parameters, it is concluded that the application of the Vetiver (VS) system for wastewater treatment is an effective, natural, green, simple, cost-effective and practical solution. The use of this system in complementary treatment reduces the use of chlorine to eliminate pathogens. As a result, the destructive effects of chlorine on the environment and humans can be prevented. In this regard, Vetiver plants for hospital, industrial and pharmaceutical waste is recommended.

Acknowledgments

We thank the Isfahan University of Technology for the financial support to provide the required materials and equipment.

References

1- Abedi Koupai, J., Hakimian, M. H., Motamedi, A. and Ghods Motahari, A., 2021. Performance of Vetiver system in complementary municipal wastewater treatment. *Water and Irrigation Management*, 11(2), pp.275-290. (In Persian).

2- Keddy, P. A., 2010. *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge university press.

3- Mohammadi Moghadam, F., Mahdavi, M., Ebrahimi, A., Tashauoei, H. R. and Mahvi, A. H., 2015. Feasibility study of wastewater reuse for irrigation in Isfahan, Iran. In *5th International Conference of Sustainable Development & Urban Construction, Danesh Pajoohan Institute, Isfahan, Iran*. (In Persian)

4- Nikmanesh, M. S., Eslami, H., Momtaz, S. M., Biabani, R., Mohammadi, A., Shiravand, B. and Mahmoudabadi, T. Z., 2018. Performance evaluation of the extended aeration activated sludge system in the removal of physicochemical and microbial parameters of municipal wastewater: case study of Nowshahr. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 3(2), pp.509-5017. (In Persian)

5- Sanicola, O., Lucke, T., Stewart, M., Tondera, K. and Walker, C., 2019. Root and shoot biomass growth of constructed floating wetlands plants in saline environments. *International journal of environmental research and public health*, 16(2), pp.275-285.

© 2023 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٥، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠١، مقاله پژوهشی، ص. ١٠٠-٨٧

اثربخشی سیستم وتیور در بهبود ویژگیهای بیولوژیکی و هدایت الکتریکی فاضلاب

جهانگیر عابدی کوپایی[1*]، محمدحسین حکیمیان[2] و آرمیتا معتمدی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، koupai@cc.iut.ac.ir
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۶ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۰۱ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۴

چکیده

با توجه به شدت گرفتن بحران آب در کشور باید در مدیریت فاضلاب تحولی ایجاد شود، تا بتوان تقاضای آینده آب را تأمین نمود. اما فاضلاب‌ها یکی ازمهم‌ترین عوامل آلوده کننده زیست محیطی بوده و اگر به کیفیت میکروبی پساب و جنبه‌های بهداشتی آن توجه نشود، استفاده مجدد از آن خطر جدی برای بهداشت و سلامت انسان و محیط زیست به همراه دارد. با توجه به عوارض سوء گندزدایی پساب با استفاده از کلر بر انسان و محیط زیست در این پژوهش امکان استفاده از گیاه پالایی برای بهبود ویژگی‌های بیولوژیکی آب مورد بررسی قرار گفته است. در همین راستا و با هدف امکان سنجی رشد گیاه وتیور (*Vetiver zizanioides L. Nash*) در پساب، میزان کاهش EC آب و حذف کلیفرم گوار شی، این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار، انجام شد. مخازن تهیه و سپس از دو نوع فاضلاب خام و تصفیه شده به‌طور مجزا پر شد و گیاهان به‌صورت هیدروپونیک درون آن‌ها قرار گرفت. نتایج نشان داد که روند هوادهی و عدم هوادهی در اکثر تیمارها تأثیر معنی‌داری بر پارامترهای اندازه‌گیری شده ندارد. همچنین بهترین نوع فاضلاب نیز فاضلاب با غلظت کمتر یا فاضلاب تصفیه شده شناخته شد، چراکه در این فاضلاب اکثر آلاینده‌ها و عوامل تأثیرگذار برای مصارف کشاورزی و آبیاری تا حد قابل توجهی حذف شده است. در پارامترهای اندازه‌گیری شده مشاهده شد که زمان‌ماند هفت روزه با زمان‌ماند ١٤ روزه تفاوت معناداری ندارد، از همین رو بهترین زمان‌ماند نیز هفت روزه در نظر گرفته شد. بر طبق انجام آزمایش، کارآمدی حذف کلیفرم در فاضلاب تصفیه شده و در طی دوره ۹۹ درصد می‌باشد.

کلیدواژه: حذف آلاینده‌ها، کشت هیدروپونیک، گیاه‌پالایی، وتیورگراس.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صنعت ودرنتیجه فشار بیش از حد به منابع آب شیرین سبب شده است تا به پساب‌ها به‌عنوان یکی از منابع آب نامتعارف و جدید نگریسته شود و تلاش‌ها برای بازیافت و استفاده مجدد از آن‌ها در مصارف مختلف رو به افزایش باشد. این امر در مناطق خشک و نیمه‌خشکی مانند کشور ایران که با تغییرات اقلیمی و کمبود بارش‌های جوی مواجه هستند ضروری‌تر به‌نظر می‌رسد (Mohammadi Moghadam et al., 2015; Nikmanesh et al., 2018). فاضلاب‌ها به‌عنوان یکی از مهم-ترین عوامل آلوده کننده زیست محیطی شناخته شده است و اگر به کیفیت میکروبی پساب و جنبه‌های بهداشتی آن توجه نشود، استفاده مجدد از آن خطر جدی برای بهداشت و سلامت انسان و محیط زیست به همراه خواهد داشت (Abedi Koupai et al., 2018).

پس هدف اصلی از گندزدایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری، کاهش غلظت پاتوژن‌های منتقل شده از راه آب به کمتر از مقدار عفونت‌زا است. گندزدایی با روش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام می‌شود. در بیشتر نقاط دنیا، کلر به‌عنوان گزینه برتر برای گندزدایی پساب‌های خروجی استفاده می‌شود اما نگرانی‌هایی در خصوص ایمنی و سلامت کارگران و عموم، پتانسیل سمیت پساب کلرزنی شده برای گیاهان و آبزیان، نیاز به کلر زیاد با توجه به مواد آلی زیاد پساب وجود دارد که باعث شده استفاده از کلر در گندزدایی پساب سوال برانگیز باشد. عوارض سوء گندزدایی پساب با استفاده از کلر بر انسان و محیط زیست زمینه ساز پژوهش‌هایی شده است که با هدف جستجوی روش‌های کم مخاطره در حال انجامند. (Keddy, 2010).

سیستم‌های تصفیه طبیعی یکی از مناسب‌ترین تکنولوژی‌های تصفیه برای انواع فاضلاب هستند که در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. امروزه درک توانایی گیاهان برای کمک به تجزیه و تصفیه میکروارگانیزم‌های بیماری‌زا و همچنین حذف بسیاری از آلاینده‌ها، منجر به افزایش به‌کارگیری سیستم‌های

DOI: 10.22055/JISE.2022.39021.1998

گیاهی و دامنه وسیع‌تر تحقیقات در این خصوص شده است (Wei et al., 2021). کاربرد سیستم وتیور (VS) برای تیمار فاضلاب یک فن‌آوری گیاه‌پالایی مبتکرانه‌ای می‌باشد که دارای پتانسیل شگفت‌آوری است. در این زمینه سیستم وتیور یک راه حل طبیعی، سبز، ساده، کاربردی و مقرون به‌صرفه است. تأثیر مفید، سادگی و هزینه‌های کم استقرار، این سیستم را به‌عنوان راهکاری جدید در بسیاری از کشورهای گرمسیر و نیمه گرمسیر برای تصفیه فاضلاب-های خانگی، شهری و صنعتی و گیاه‌پالایی و احیای معادن و زمین-های ارزشمند با استقبال زیادی مواجه کرده است (Dhawan et al., 2021).

Islam et al. (2021)، با توجه به پدیده تغییر اقلیم و افزایش وقوع باران‌های سیلابی، تأثیر کاشت گیاه وتیور در کاهش فرسایش خاک در زمان وقوع بارش‌های شدید را بررسی کردند. آن‌ها دو مدل با شیب ۴۰ درصد را در نظر گرفته و میزان انتقال رسوب را در دو حالت زمین با و بدون پوشش گیاهی اندازه گرفتند. بارانی با شدت ۱۸۸ میلی‌متر بر ساعت برای این منظور در نظر گرفته شد. سطح با پوشش گیاه وتیور میزان رواناب را بین ۱۸ تا ۷۱ درصد کاهش داد. این امر تاثیر زیادی روی افزایش نفوذ و کاهش فرسایش خاک دارد.

Akbarzadeh et al (2015) پژوهشی را با هدف امکان سنجی رشد گونه وتیور به‌صورت هیدروپونیک در محیط پساب انجام دادند. پایلوتی را با حجم مفید ۶۰ لیتر تهیه کرده و به مدت سه ماه گیاه را با پساب خروجی از تصفیه خانه فاضلاب غرب تهران تغذیه کردند. در نهایت مشخص شد که این گیاه می‌تواند در این شرایط رشد قابل ملاحظه‌ای (تا ۱۳۰ سانتی‌متر) داشته باشد. همچنین مشاهده شد به‌صورت متوسط میزان کارآمدی حذف ترکیبات نیتروژن کل، فسفر کل و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در زمان ماند چهار روزه به‌ترتیب ۹۱، ۹۷ و ۷۵ درصد بوده است.

Abinaya et al. (2018) سه گیاه مختلف از جمله سنبل آبی، کاهو آبی و علف وتیور را در پساب پرورش داده و امکان رشد آنها در پساب را مقایسه کردند. مشاهده شد که پس از ۱۰ روز در حالی که سنبل آبی و کاهو آبی با کاهش تولید مقدار زیست توده مواجه شدند، طول ریشه‌های گیاه وتیور از ۲۷ به بیش از ۳۱ سانتی‌متر و همچنین تعداد برگ‌ها از ۲۱ به ۳۸، افزایش یافته است (Abinaya et al., 2018). به‌علاوه این گیاه قادر است در محیط‌های شور نیز رشد کند. Sanicola et al. (2019) پنج گیاه مختلف را به مدت ۱۲ هفته در آب شور با غلظت ۳۰ ppt بررسی کردند. در نتیجه این پژوهش، ساقه گیاه وتیور حدود ۱۴ سانتی‌متر و ریشه آن تا ۲۵ سانتی‌متر رشد کرد (Sanicola et al., 2019). همچنین کاهش EC آب تا ۳۷ درصد، زمانی که گیاه وتیور به-صورت هیدروپونیک روی آن قرار گرفته است نیز گزارش شده است.

Abedi Koupai et al. (2018)، با هدف بررسی رفتار گیاه وتیور به‌عنوان یک گیاه مقاوم به شوری، در شوری‌های مختلف و هم‌چنین بررسی میزان هدایت الکتریکی زه‌آب، مطالعه‌ای در قالب یک طرح آزمایش کاملاً تصادفی به شکل چند عاملی با مشاهدات تکراری طی زمان انجام شد. تیمارهای آزمایش در سه سطح شوری (یک، ۱۰ و ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر) و دو سطح تراکم کشت گیاه (۱۰ بوته و ۲۰ بوته وتیور) در نظر گرفته شدند. تغییرات پارامترهای هدایت الکتریکی و میزان رشد گیاه در زمان‌ماندهای سه، هفت و ۱۴ روز اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد گیاه وتیور به‌خوبی در شوری ۱۴ دسی‌زیمنس برمتر رشد نمود. تراکم‌های ۱۰ و ۲۰ بوته گیاه به‌دلیل رشد زیاد گیاه با هم تفاوت معناداری از نظر جذب آلاینده‌ها نشان ندادند. هم‌چنین گیاه وتیور قادر است در مدت ۱۴ روز هدایت الکتریکی زه‌آب را به میزان ۱۵ درصد کاهش دهد.

گیاه وتیور قادر است به مقدار قابل توجهی پارامترهای کیفی آب را نیز بهبود ببخشید، طی مطالعه‌ای Abedi Koupai et al. (2021)، عملکرد دو تراکم چهار و هشت تایی از گیاه وتیتور به‌صورت هیدروپونیک در دو نوع فاضلاب ثانویه و خام، باهوادهی و بدون هوادهی بررسی شد. در این پژوهش زمان‌های ماند سه، هفت و ۱۴ روزه بود. در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که بهترین تراکم در انجام پالایش فاضلاب شهری توسط گیاه وتیورگراس، تراکم چهار تایی بوده به‌علاوه روند هوادهی و عدم هوادهی تیمارها تأثیر زیادی بر پارامترهای اندازه‌گیری‌شده ندارد و بهترین زمان‌ماند نیز هفت‌روزه در نظر گرفته شد. کارآمدی حذف ترکیبات BOD_5، COD، آمونیوم، نیترات، فسفات و پتاسیم نیز در فاضلاب تصفیه شده و در طی دوره به‌ترتیب ۴۲، ۵۵، ۹۱، ۶۶، ۸۹، ۹۷ درصد بود.

Sijimol et al. (2021)، پژوهشی روی عملکرد سه گیاه علف فیل، دم اسبی و وتیور در تصفیه آب خاکستری انجام دادند. آنها با ایجاد تالاب های جعبه ای مانند که جریان آب در آن‌ها افقی ست به نتایج قابل توجهی دست یافتند. در این روش میزان بهبود پارامترهای کدورت، اسیدیته، BOD_5 و COD، برای علف وتیور به ترتیب ۸۲/۵، ۸۷/۹، ۸۱/۸ و ۹۲/۹ درصد بیان شد.

Hanh et al. (2017)، از سیستم وتیور به‌صورت هیدروپونیک استفاده نموده و میزان حذف BOD، COD، فزات سنگین، نیتروژن کل، فسفر کل، کلی‌فرم کل و گوارشی را اندازه گرفتند. در نهایت، پتانسیل مناسب این گیاه در بهبود پارامترهای کیفی آب و همچنین حذف پاتوژن‌ها در مقایسه با تیمار شاهد، مشخص شد. در طی چهار هفته انجام آزمایش، حدود ۳۵ درصد از کلیفرم کل و ۴۳ درصد از کلی‌فرم گوارشی کاهش یافت. همچنین، Ghosh et al. (2020)، خاصیت عصاره ریشه این گیاه را برای شش باکتری مختلف از جمله اشریشیا کلی مطالعه نمودند و ادعا نمودند که گیاه وتیور این گیاه خاصیت ضد باکتریایی نیز دارد.

با توجه به نتایج پژوهش‌ها و مطالعه‌ها صورت گرفته می‌توان چنین بیان کرد که از طرفی عمده نگرانی در مورد فاضلاب شهری، میزان زیاد کلیفرم گوارشی و اشریشیا کلی است، از طرف دیگر، در سال‌های اخیر، استفاده از گیاه وتیورگراس به دلیل

قابلیت‌های این گیاه در زمینه‌های مختلف افزایش یافته است و تصفیه انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی توسط این گیاه در بسیاری از کشورها انجام شده است، تحقیقات نیز ثابت نموده حذف بسیار زیاد این پاتوژن‌ها در تالاب‌های حاوی گیاه وتیور ممکن است. با این وجود، کاربری گیاه در پالایش پساب به‌عنوان واحد تکمیلی و یا شناور در دریاچه‌ها برای حذف پاتوژن‌ها در کشور ما، از نوآوری برخوردار بوده و کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

با توجه به مطالب بیان‌شده و عملکرد مناسب گیاه وتیور در تصفیه پساب شهری، این پژوهش در راستای بررسی امکان کشت گیاه وتیورگراس در محیط پساب شهری به‌صورت هیدروپونیک و هم‌چنین ارزیابی کارایی آن درکاهش EC آب، حذف و پالایش پاتوژن‌ها به خصوص کلیفرم گوارشی ، به منظور استفاده در مصارف کشاورزی و آبیاری، انجام شد.

مواد و روش ها

در این پژوهش امکان تصفیه پساب به شکل طبیعی و با استفاده از تکنولوژی گیاه‌پالایی بررسی شد. طرح در دانشگاه صنعتی اصفهان انجام پذیرفت و از دو نوع فاضلاب خانگی تصفیه شده و خام استفاده گردید. فاضلاب تصفیه شده از خروجی واحد تهنشینی و زلال ساز ثانویه، بعد از واحد هوادهی لاگون‌های محتوی فاضلاب دانشگاه صنعتی اصفهان برای تغذیه پایلوت انتخاب شد. وجود کلیفرم بیش‌تر در فاضلاب ورودی باعث شد تا از فاضلاب خام نیز استفاده گردد و کاربری گیاه در این نوع فاضلاب نیز سنجیده شود.

به‌منظور انجام تحقیقات، علف وتیور از نوع Vetiver zizanioides L. Nash که عملکرد اثبات‌شده‌ای در تصفیه پساب داشته و راندمان بالاتری نسبت به گونه‌های دیگر دارد، به‌عنوان گونه موردمطالعه استفاده شد (Darajeh et al., 2016). بنابراین گیاه مورد نیاز به تعداد ۸۰ گلدان (۳۲۰ بوته وتیور) از استان خوزستان تهیه و به دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شد. قابل ذکر است که گیاهان تهیه شده بعد از شسته شدن ریشه‌ها و جدایی آن‌ها از خاک به‌منظور مستقر کردن آن‌ها در محیط هیدروپونیک، به مدت دو ماه درون فاضلاب تهیه شده از واحد تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی اصفهان به سبب سازگاری با محیط و جدا شدن گل و لای محصور بین ریشه‌ها، نگه‌داری و پرورش داده شدند. تصویر گیاهان مذکور در روزهای آغازین تحقیقات در شکل (۱) نشان داده شده است.

به‌منظور استقرار گیاهان و انجام مطالعه‌های، گیاهان در مخازنی به‌صورت استوانه‌ای به حجم کلی ۱۰۰۰ لیتر (یک مترمکعب) از جنس فایبرگلاس مطابق شکل (۲) مستقر شدند. بدین منظور یونولیت‌هایی به قطر دهانه مخازن فراهم گردید و آن‌ها به تعداد تراکم‌های موجود در طرح سوراخ و گیاهان به‌منظور شناور بودن در پساب در آن‌ها جایگذاری شد. به دلیل تحکیم گیاهان در جای خود، محیط ریشه گیاهان نیز با توری‌هایی از جنس پلاستیک پیچیده و با قلاب به یونولیت آویزان شدند.

Fig 1- A sample of the plants prepared for research
شکل ۱- نمونه‌ای از گیاهان تهیه شده برای انجام تحقیقات

DOI: 10.22055/JISE.2022.39021.1998

Fig 2- View of reservoirs and location of vetiver plants
شکل ۲- نمایی از مخازن و جانمایی گیاهان وتیور

در این تحقیقات از سیستم بسته یا Bach استفاده گردید. بدین معنی که فاضلاب مورد استفاده در مخزن ریخته، گیاهان جای‌گذاری و نمونه‌ها تحت عمق خاص و یکسانی از مخازن برداشته شد (بدون خروجی). همچنین تیمارها از دو تراکم چهار (۱۶ گیاه وتیور) و هشت تایی (۳۲ گیاه وتیور)، هوادهی و بدون هوادهی استفاده شد. هوادهی مخازن توسط کمپرسور هوا و با استفاده از تایمر و شیر برقی انجام می‌گرفت که در هر ۱۰ دقیقه به مدت یک دقیقه مخازن را هوادهی می‌کرد.

برای ایجاد تکرار در آزمایش سه مخزن در نظر گرفته شد. شرایط در تمامی مخزن‌ها کاملا یکسان بود، بنابراین آزمایش در یک طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. با توجه به این‌که هدف اصلی از این پژوهش امکان‌سنجی رشد گیاه وتیور در فاضلاب به صورت هیدروپونیک، بهبود EC و حذف کلیفرم بود، لذا پس از رشد گیاهان در یک دوره رشد دو ماهه در فاضلاب تصفیه شده (به سبب سازگاری با محیط) مخازن خالی شده و مجدداً از پساب پُر گردید تا زمان‌ماندهای مختلف و تاثیر آن بر حذف کلیفرم مدفوعی مورد بررسی قرار گیرد. برای گرفتن خروجی از مخازن، هربار طی یک عمق خاص (۷۰ سانتی‌متری) انجام می‌شد و سپس آزمایش‌های لازم روی آن انجام گرفت.

کلیفرم اندازه گیری شده از گونه اشریشیاکلی (E.Coli) است که جزو شاخص‌ترین جنس باکتری‌ها در آلودگی‌های فاضلاب محسوب می‌شود. انجام آزمایش‌های میکروبی بر پایه شاخص‌های آلودگی آب به ویژه کلیفرم‌ها استوار است و یکی از روش‌های استاندارد برای شناسایی گروه کلیفرم بر اساس روش تخمیر چند لوله‌ای (مرحله احتمالی، تأییدی و تکمیلی) می‌باشد. برای اندازه‌گیری تعداد کلیفرم‌های گوارشی، نمونه‌ها به مرکز تحقیقات محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی اصفهان منتقل و اندازه‌گیری شد. نتایج آزمایش به‌صورت محتمل‌ترین تعداد ممکن (MPN) ارگانیسم‌های موجود به‌دست آمد.

اندازه‌گیری EC نیز با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج که دارای الکترودهای تصحیح دما و اندازه‌گیری EC بود، انجام شد. این پارامتر بلافاصله (حداکثر ۱۵ دقیقه) بعد از نمونه‌برداری تعیین گردید.

این تحقیق به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. دلیل استفاده از آزمایش فاکتوریل بررسی دو عامل جداگانه گیاه و فاضلاب بود. به منظور بررسی روند تغییرات صفت مورد ارزیابی تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی در زمان‌های سه، هفت و ۱۴ روز نمونه گیری تکرار شد. سطوح متغیرها در جدول (۱) ارائه شده است. همچنین در جدول (۲) طرح فاکتوریل تیمارها برای مطالعه حذف و پالایش آلاینده‌ها در محیط پساب به صورت هیدروپونیک، معرفی شده است. لازم به ذکر است که جدول (۲) برای هر دو نوع فاضلاب تصفیه شده و خام اجرا گردید.

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel و SAS استفاده شد. پس از تعیین وجود یا عدم وجود اختلاف بین گروه‌های آزمون (بررسی معنادار بودن آزمون در جدول آنالیز واریانس)، مقایسه میانگین بین گروه‌ها با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنادار (LSD)، در سطح اطمینان پنج درصد پرداخته شد.

نتایج و بحث

میزان رشد گیاه وتیور

از اهداف اصلی این پژوهش، امکان سنجی رشد گیاه وتیور و همچنین حذف کلیفرم گوارشی به‌منظور استفاده در مصارف کشاورزی و آبیاری در محیط آبی با تغذیه از فاضلاب بود. در همین راستا و در دوره مطالعه، ارتفاع برگ و ریشه گیاه از ابتدای مطالعه مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و ثبت شد. این مقدار متوسط

ارتفاع بلندترین برگ برای ۲۰ گیاه وتیور مستقر در پایلوت است. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، این گیاه در شرایط استقرار در محیط آبی از رشد زیادی برخوردار است و می‌تواند به‌طور متوسط در طی دوره یکصد روزه تا بیش از ۱۳۰ سانتی‌متر از حداکثر ارتفاع برگ برخوردار شود. به عبارت دیگر، در این دوره گیاه به‌طور متو سط ۱/۳ سانتی‌متر در روز ر شد دارد. این در حالی است که علاوه بر افزایش طول برگ‌ها، تراکم ریشه (شامل طول ریشه، تعداد و قطر آن‌ها) و برگ‌ها (شامل تعداد و قطر آن‌ها) نیز افزایش یافته ا ست. شکل (۴) گویای افزایش طول ریشه و برگ‌ها در طی انجام پژوهش می‌باشد.

جدول ۱- سطوح متغیرهای استفاده شده در این آزمایش

Table 1- Levels of variables used in this study

Variable	Level
Untreated wastewater	Raw
Treated wastewater	Purified (Pur)
Plant density (4)	Plant
Plant density (8)	Plant
Aerobic tanks	Aerobic (Ar)
Anaerobic tanks	Anaerobic (An)

جدول ۲- طرح فاکتوریل تیمارهای استفاده شده در این آزمایش

Table 2- Factorial design of variables used in this study

Number	Treatment	
1	An 0	Anaerobic control tank
2	Ar 0	Aerobic control tank
3	An 4	Anaerobic tank with density of 4 plants
4	Ar 4	Aerobic tank with density of 4 plants
5	An 8	Anaerobic tank with density of 8 plants
6	Ar 8	Aerobic tank with density of 8 plants

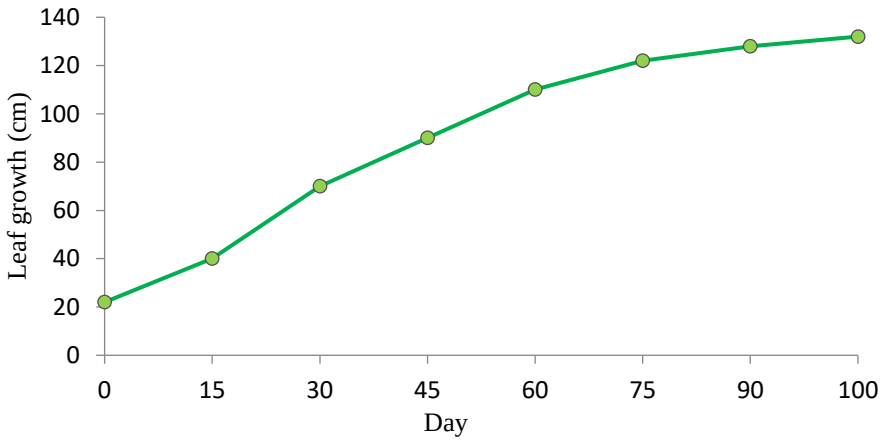

Fig. 3- Average leaf growth during the experiment

شکل ۳- متوسط رشد برگ‌ها در طی دوره انجام آزمایش

DOI: 10.22055/JISE.2022.39021.1998

Fig. 4- Root and leaf growth rate at the end of the experiments
شکل ٤- میزان رشد ریشه و برگ‌ها در انتهای انجام آزمایش‌ها

با بررسی دقیق‌تر نمودار شکل (۳) چنین نتیجه گرفته می‌شود که تغذیه از پساب روند با ثباتی را نشان می‌دهد. شیب نمودار در شرایط آبیاری با پساب در دو ماه ابتدایی تقریباً ثابت و در حدود ۱/۵ سانتی‌متر در روز بود و پس از این دوره کاهش یافت. علت این پدیده می‌تواند احتمالاً ناشی از این موضوع باشد که مطابق روند متعارف رشد گیاهان، مواد غذایی ابتدا از طریق رشد ریشه‌ها در بخش‌های مربوطه مانند برگ‌ها یا ریشه‌ها ذخیره شده و سپس برای رشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین ورود به فصل پاییز نیز در روند کاهشی رشد برگ‌ها و زرد شدن آن‌ها تأثیرگذار بوده است. از آن‌جایی که فاضلاب دارای ترکیبات آلی و معدنی بوده و گیاه می‌تواند از تمامی ترکیبات (مانند آمونیوم و نیترات) بهره‌مند شود، احتمالاً قادر خواهد بود روند ذخیره سازی و مصرف را به‌طور پیوسته حفظ نماید. همچنین حداکثر طول ریشه گیاهان مستقر در پساب در انتهای دوره مطالعه به‌طور متوسط برابر ۵۰ سانتی‌متر بود. همین رشد مناسب ریشه و تراکم زیاد آن می‌تواند در روند رشد برگ‌ها اثرگذار باشد.

پژوهش‌های دیگری نیز به نتایج مشابه این آزمایش دست یافتند. Worku et al. (2018)، میزان رشد گیاه وتیور در فاضلاب را به‌صورت ماهانه طی هفت ماه اندازه‌گیری کردند. در نهایت مشاهده شد، ۹۶ درصد از گیاهان توانستند در فاضلاب رشد کنند، در برخی تیمارها قسمت ساقه و برگ تا ۰/۹۵ سانتی‌متر و قسمت ریشه تا حدود ۰/۴۳ سانتی‌متر رشد کرده است. در یکی دیگر از جدیدترین تحقیقات Davamani et al. (2021)، با کشت وتیور در محیط هیدروپونیک، رشد این گیاه تا روز ۴۰ ام از شروع آزمایش مشاهده شد و در نهایت ساقه‌ها تا ۳۰ سانتی‌متر و ریشه‌ها ۲۰ سانتی‌متر رشد کردند که نشان دهنده امکان پرورش این گیاه در فاضلاب می‌باشد.

تحلیل و بررسی EC

میزان حذف آلاینده‌ها از محیط پساب در چهار فاکتور نوع فاضلاب، تراکم، تیمار هوادهی و زمان و اثرات متقابل آن‌ها سنجش شد. مقدار این پارامتر در ابتدای پژوهش برای فاضلاب خام و تصفیه شده به‌ترتیب ۱/۱۸ و ۱/۲ dS/m بوده است. جدول (۳) آنالیز واریانس پارامتر EC اندازه‌گیری‌شده را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل پارامتر اندازه‌گیری‌شده نشان داد که دو فاکتور تراکم و زمان، دارای اثر معناداری در سطح یک درصد می‌باشند. تراکم و حجم ریشه‌های بیش‌تر، سبب کاهش چشم‌گیر این پارامتر شده و کاربرد زمان‌ماند نیز به این مهم افزوده گشته است. هم‌چنین نتایج حاکی از آن بود که اثرات متقابل فاکتورها در برخی موارد معنادار نشده در حالی‌که خود فاکتور به تنهایی معنادار بوده است که می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که هرچند خود فاکتور به تنهایی معنادار است اما روند تغییرات آن با فاکتور دیگر معنادار نیست. به این معنی که شیب نمودارهای حاصله این فاکتورها با همان فاکتور به‌ویژه (که معنادار است) با اثر یا اثرات متقابل آن با فاکتور یا فاکتورهای دیگر متفاوت بوده، اما روند آن‌ها مشابه بوده است. این موضوع نشان‌دهنده کاربری این گیاه به‌عنوان واحد تصفیه تکمیلی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

جدول ۳- آنالیز واریانس پارامترهای اندازه‌گیری شده

Table 3- Analysis of variance of measured parameters

Variables	df	Mean squares
Wastewater	1	46908.34 ^{ns}
Density	2	108420.13**
Aerobic treatment	1	14661.17^{ns}
Wastewater × Density	2	171590.88*
Wastewater × Aerobic treatment	1	152295.06^{+}
Density × Aerobic treatment	2	6656.17 ^{ns}
Wastewater × Density × Aerobic	2	108161.9^{+}
Main error	24	41096.47
Time	3	52981.06**
Wastewater × Time	3	37344.78**
Density × Time	6	120625.96**
Aerobic treatment × Time	3	2737.43^{ns}
Wastewater × Density × Time	6	21877.49**
Wastewater × Aerobic treatment × Time	3	17321.69*
Density × Aerobic treatment * Time	6	2071.38 ^{ns}
Wastewater × Density × Aerobic × Time	6	12421.58^{+}
Total error	72	5829.16
(%) CV		6.35

ns: Not significant
+: Significant at 10 percent level
*: Significant at 5 percent level
**: Significant at 1 percent level

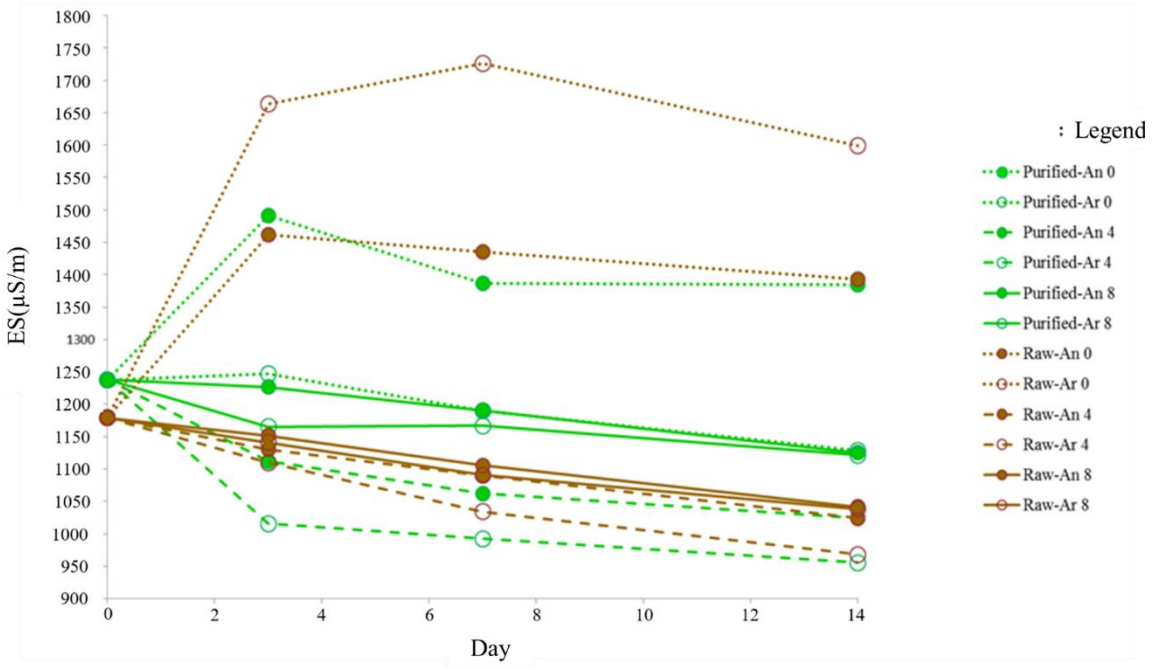

Fig 5- Changes of Electrical conductivity (EC) in different treatments through time

شکل ۵- نمودار تغییرات EC تحت تأثیر زمان در تیمارهای مختلف

با توجه به نمودار شکل (۵)، مقدار EC هر دو فاضلاب در ابتدا مقادیر مشابهی داشته‌اند ولی به مرور به دلیل مصرف گیاه از مواد مغذی و کاتیون‌ها و آنیون‌های مختلف، هدایت الکتریکی کاهش پیدا کرده است. مقادیر EC آب آلوده به‌طور مستقیم متناسب است

DOI: 10.22055/JISE.2022.39021.1998

با میزان مواد معدنی محلول آن (Girija et al., 2011). بدین سبب، پس از کشت وتیور، EC به مقدار بسیاری کاهش می‌یابد. در مقابل، تیمارهای بدون گیاه به دلیل تبخیر، EC آن‌ها روند افزایشی به خود گرفته است.

نکته حائز اهمیت این که گیاه وتیور توانایی زیادی در محیط‌های شور دارد، به‌طوری که بازه شوری بین فاضلاب تصفیه شده و خام، چه در روز اول و چه در روز چهاردهم بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا بین گروه شوری سه (زیاد)، قرار می‌گیرد.

یکی از اولین روش‌هایی که برای طبقه‌بندی آب آبیاری بر حسب شوری و نسبت جذبی سدیم صورت گرفت، روش آزمایشگاه شوری خاک آمریکاست که بر اساس آن نمودار ویل کاکس تهیه شده است. هرچند این روش بسیار محافظه‌کارانه بوده و در آن بسیاری از عوامل موثر دیگر در نظر گرفته نشده است و کاربرد آن در حال حاضر توصیه نمی‌شود، اما هنوز هم در طبقه‌بندی‌های اولیه از این نمودار استفاده می‌شود (Alizade, 2011). بر طبق این طبقه‌بندی، نمونه فاضلاب‌های خام و تصفیه شده در گروه شوری زیاد و سدیمی کم (C3-S1) قرار می‌گیرد. این امر که گیاه وتیور مقاومت بسیار زیادی در محیط شور دارد، مطابق با دستاورد پژوهشگران دیگر است. از جمله تحقیقات Sanicola et al., 2019 و همچنین Su et al. (2021) این موضوع را تایید کردند. به‌علاوه Abinaya et al. (2018)، حذف بیش از ۳۶ درصدی را در تیمار حاوی گیاه وتیور پس از ۱۰ روز را گزارش نمودند.

تحلیل و بررسی کُلیفرم اندازه‌گیری شده

مقدار این پارامتر در ابتدای پژوهش برای فاضلاب خام و تصفیه شده به‌ترتیب ۱۰۰۰×۴۶۰ و ۱۰۰۰×۲۱۰ MPN/100mL اندازه‌گیری شده است.

در جدول (۴) به دلیل حذف یکی از تراکم‌ها (تراکم چهار تایی) و زمان‌ماند سه روز، درجات آزادی متفاوت بوده و میزان حذف این پارامتر در تراکم هشت تایی و زمان‌ماندهای هفت و ۱۴ روز مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل این پارامتر نشان داد که فاکتور تیمار هوادهی به تنهایی و در اکثر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه این فاکتور با بقیه فاکتورها معنادار نیست. لازم به توضیح است که این جدول و تحلیل نموداری آن، به دلیل اختلاف بسیار زیاد بین داده‌ها، به صورت لگاریتمی آورده شده است.

جدول ٤- آنالیز واریانس کلیفرم اندازه‌گیری شده

Table 4- Analysis of variance of measured coliform

Variables	df	Mean squares
Wastewater	1	4.26 **
Density	1	5.87**
Aerobic treatment	1	0.005ns
Wastewater × Density	1	4.29**
Wastewater × Aerobic treatment	1	0.19ns
Density × Aerobic treatment	1	0.006 ns
Wastewater × Density × Aerobic	1	0.74**
Main error	16	0.09
Time	2	75.86**
Wastewater × Time	2	1.27**
Density × Time	2	3.63**
Aerobic treatment × Time	2	0.17*
Wastewater × Density × Time	2	2.62**
Wastewater × Aerobic treatment × Time	2	0.05 ns
Density × Aerobic treatment * Time	2	0.12+
Wastewater × Density × Aerobic × Time	2	0.37**
Total error	32	0.05
(%) CV		6.4

ns: Not significant
+: Significant at 10 percent level
*: Significant at 5 percent level
**: Significant at 1 percent level

حذف عوامل بیماری‌زا در محیط های آبی ممکن است از طریق عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و یا به‌صورت ترکیبی رخ دهد. عوامل فیزیکی عبارتند از تصفیه مکانیکی، رسوب و جذب به مواد آلی. عوامل شیمیایی شامل اکسیداسیون و قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌های دفع شده توسط گیاهان و عوامل بیولوژیکی شامل فعالیت‌های ضد میکروبی ناشی از ترشحات ریشه، شکار توسط نماتدها، فعالیت باکتری‌ها یا ویروس‌ها، نگهداری در بیوفیلم و کشته شدن طبیعی در اثر رقابت برای مواد مغذی محدود. عوامل مؤثر در حذف باکتری ها و میکروب ها در محیط های آبی تحت کشت گیاهان می‌تواند شامل پوشش گیاهی، هیدرولیک رژیم، زمان‌ماند، ترکیبات آب، تغییرات فصلی و pH باشد. انتشار ترشحات ضدمیکروبی ممکن است نه تنها برای میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا سمی باشد، بلکه محیط فیزیکی و شیمیایی ریزوسفر را دگرگون کرده و در نهایت منجربه نامناسب بودن فضا برای پاتوژن‌ها و مرگ آن‌ها نیز شود (Mayo, 2004). ریشه‌های گیاه وتیور حاوی مخلوطی از ترکیبات آلی فرّاری هستند که به احتمال زیاد با کلنی‌های قارچ و باکتری‌هایی که روی آن زندگی می‌کنند، در طی فرآیند سم‌زدایی و یا شکست ترکیبات، با منبع کربنی اصلاح می‌شوند (Peñuelas et al., 2014).

طیف گسترده‌ای از باکتری‌های زایشی و میکروب‌های گروه فیبروباکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها در داخل سلول‌های ویژه‌ای در اطراف لوله عروقی ریشه گیاه وتیور زندگی می‌کنند که بسیاری از آن‌ها قادر هستند با استفاده از ماده‌ای به نام‌ترپن ($C_{15}H_{24}$) به عنوان منبع کربن و سوخت و ساز و آزاد کردن آن در محیط، به رشد خود ادامه دهند (Malnoy and Maffei, 2015).

همان‌طور که در نمودار شکل (۶) مشاهده می شود، فاضلاب خام به دلیل عدم نوردهی و اشعه UV میزان کلیفرم بیشتری نسبت به فاضلاب تصفیه شده دارد، چراکه در لاگون‌های هوادهی و ته‌نشینی دانشگاه تابش نور خورشید تا حد کمی باعث حذف کلیفرم از فاضلاب شده است. این روند برای فاضلاب خام در پایلوت به دلیل ذکر شده، کاهشی است. اما در تیمارهای حاوی گیاه تا روز هفتم نمودار شیب کاهشی زیادی دارد، به‌طوری که تعداد کلیفرم‌ها از ۲۱۰۰۰۰ MPN/100mL در فاضلاب تصفیه شده به‌طور میانگین به ۳۹۸ MPN/100mL رسیده و کاهش ۹۹/۸ درصدی را نشان می‌دهد. همچنین در فاضلاب خام نیز تعداد کلیفرم ها از ۴۶۰۰۰۰ MPN/100mL به‌طور میانگین به ۱۹۳ MPN/100mL کاهش یافته که به میزان ۹۹/۹۵ درصد است. و در روز ۱۴ تقریباً کلیفرم‌ها از بین رفته و شیب نمودار ثابت می‌گردد.

نتایج پژوهش دیگر متخصصین نیز در راستای نتایج این آزمایش است، Xinjie et al. (2019)، از سیستم هیدروپونیک گیاه وتیور استفاده کرده و عملکرد آن در حذف کلیفرم گوارشی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که باکتری اشریشیا در همه تیمارها در روز نه و یا نهایتا ۱۵ام از شروع آزمایش به‌صورت کامل حذف شد. Darajeh et al. (2019)، نیز بیان کردند که این گیاه میزان این باکتری را تا ۱/۲ واحد کاهش می‌دهد که بسیار کمتر از میزان تعیین شده توسط سازمان بهداشت جهانی است.

Malavika و Shobana (2021)، بطری‌های حاوی آب آلوده را نخست در معرض نور مستقیم آفتاب قرار داده سپس ریشه‌های گیاه وتیور را در آن جای‌گذاری نمودند، در نهایت کاهش ۹۹ درصدی کلیفرم کل و حذف کامل کلیفرم گوارشی گزارش شد. در مجموع مشکلات زیادی در سرنوشت باکتری‌های شاخص و شبکه‌های تعاملی پیچیده غیرجانداران مربوط به عوامل زنده در محیط‌های آبی وجود دارد. برای مثال عوامل هیدرولیکی، پوشش گیاهی و تراکم بیشتر، زمان‌ماند هیدرولیکی، تغییر فصل و نور خورشید می‌تواند از جمله عوامل موثر در حذف کلی پاتوژن‌ها و باکتری‌های شاخص باشد (Avelar et al., 2014).

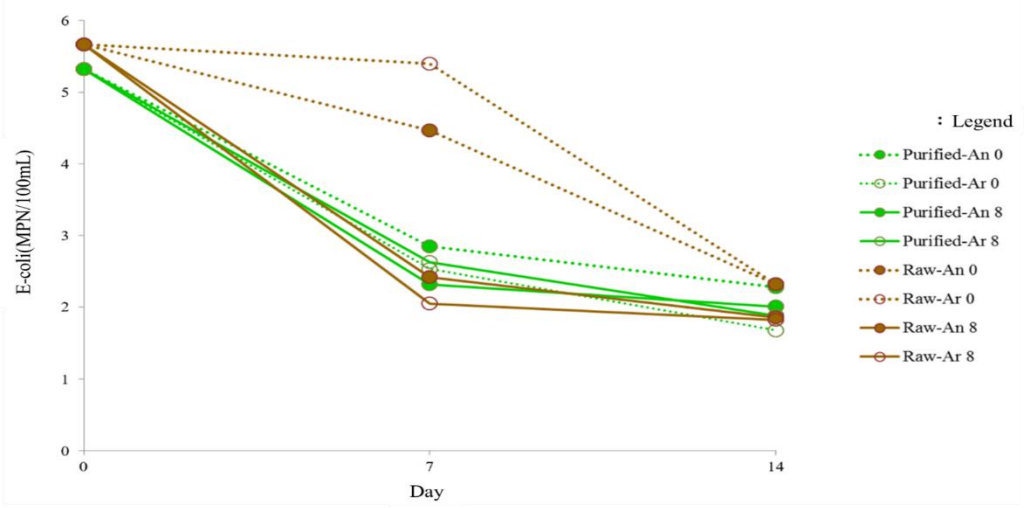

Fig 6- Changes of coliform (E-coli) in different treatments through time

شکل ٦- نمودار تغییرات کلیفرم تحت تأثیر زمان در تیمارهای مختلف

DOI: 10.22055/JISE.2022.39021.1998

نتیجه گیری

با وجود م حدود یت ز مان در این طرح، چرا که در چنین تحقیقاتی، زمانی طولانی برای رشـد کامل وتیورها و انجام هرچه بهتر تصفیه آلاینده‌ها نیاز است، نتایج مطلوبی به‌دست آمد. پس از بررسـی توانایی گیاه وتیورگراس در پالایش فاضـلاب شـهری و تجزیه و تحلیل پارامترهای اندازه‌گیری شده، نتیجه گرفته شد که کاربرد سـیسـتم وتیور (VS) برای تیمار فاضـلاب یک فن‌آوری گیاه‌پالایی مبتکرانه‌ای می‌باشـد که دارای پتانسـیل بسـیار خوبی اسـت. در این زمینه VS یک راه حل طبیعی، سـبز، سـاده، مقرون به‌صـرفه وکاربردی اسـت. این گیاه جزو گیاهان چهارکربنه (C_4) بوده و ویژگی‌های مختلف آناتومی مانند نوع روزنه و ماهیت‌های اپیدرمی و تنظیم سلولی آن با سایر گیاهان C_4 متمایز است. شاید به همین دلیل اسـت که این گیاه در شـرایط نامطلوب مختلف، می‌تواند زنده بماند. انجام مطالعه‌ها پایلوتی نشان داد که استفاده از فرآیند گیاه‌پالایی با گونه وتیورگراس با شـرایط اقلیمی و آب و هوایی ایران سـازگار اسـت. به‌علاوه اسـتفاده از این گیاه باعث کاهش هزینه‌های مربوط به سـاخت، بهره‌برداری و نگهداری از واحدهای تصفیه می شود و به سادگی توسط کارکنان بومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین این روش، روشی کارآمد و مقرون به صرفه به منظور ارتقای تصفیه‌خانه‌ها با رویکرد حذف ترکیبات فاضلاب و قابل استفاده برای مصارف کشاورزی و آبیاری به شمار می‌رود.

گیاه وتیورگراس قادر اسـت به‌صـورت هیدروپونیک در محیط حاوی آب‌های آلوده به خوبی رشـد کند، به‌طوری که در طی دوره سـه ماهه این تحقیق میزان ارتفاع آن از حدود ۵۰ سـانتی‌متر به ۱۸۰ سانتی متر افزایش یافت. همچنین، انجام این تحقیقات نشان داد که بهترین تراکم در انجام پالایش فاضلاب شهری توسط گیاه وتیور در محیط بسته، تراکم چهار تایی بوده و روند هوادهی و عدم هوادهی تیمارها تأثیر زیادی بر پارامترهای اندازه‌گیری شـده ندارد. همچنین بهترین نوع فاضـلاب نیز فاضـلاب با غلظت کمتر یا فاضلاب تصفیه شده شناخته شد، چراکه در این فاضلاب اکثر آلاینده‌ها و عوامل تأثیرگذار برای مصـارف کشـاورزی و آبیاری تا حدی حذف شـده اسـت. مشـاهده شـد که زمان‌ماند هفت روزه با زمان ماند ۱۴ روزه تفاوت معناداری ندارد، از همین رو بهترین زمان‌ماند نیز هفت روزه در نظر گرفته شد.

بر اسـاس طبقه‌بندی آزمایشـگاه شـوری خاک آمریکا، مقدار EC و SAR فاضلاب استفاده شده در این تحقیق به‌ترتیب برابر ۱/۲ dS/m و ۲/۸۲ در درجه‌بندی شـوری زیاد وسـدیمی کم قرار گرفت، که این نشان از مقاومت زیاد گیاه وتیورگراس در محیط‌های شور است. فاضلاب تصفیه شده به دلیل نوردهی و اشعه UV میزان کلیفرم کمتری نسـبت به فاضـلاب خام داشـت، و به مرور زمان کاهش میزان کلیفرم در هر دو نوع فاضـلاب کاملاً معنادار و محسـوس بوده، به‌طوری که میزان کاهش به صـورت میانگین حدود ۹۹ درصد می‌باشد. استفاده از این سیستم در تصفیه تکمیلی سبب کاهش استفاده از کلر به‌منظور حذف پاتوژن‌ها می شود. در نتیجه، می‌توان از آثار مخرب کلر بر محیط زیسـت و انسـان جلوگیری کرد. در این راستا، استفاده از گیاه وتیور و میزان عملکرد آن برای پسـاب‌های بیمارسـتانی، صـنعتی و شـرکت‌های دارویی، پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه صنعتی اصفهان جهت فراهم آوردن مواد و وسایل مورد نیاز قدردانی می‌شود.

References

1- Abedi-Koupai, J., Ghods-Motahari, A. and Najafi, N., 2018. The potential of vetiver grass to reduce salinity. In *the 2nd Iranian Congress of Water and Wastewater Science and Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.* (In Persian)

2- Abedi Koupai, J., Hakimian, M. H., Motamedi, A. and Ghods Motahari, A., 2021. Performance of Vetiver system in complementary municipal wastewater treatment. *Water and Irrigation Management*, 11(2), pp.275-290. (In Persian)

3- Abinaya, S., Saraswathi, R., Rajamohan, S. and Mohammed, S., 2018. Phyto-remediation of total dissolved solids (TDS) by Eichhornia Crassipes, Pistia Stratiotes and Chrysopogon Zizanioides from second stage RO-Brine solution. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 22(5), pp.36-41.

4- Akbarzadeh, A., Vakhshouri, M., Jamshidi, S. and Khalesidoost, M., 2015. Evaluation of the Performance of Vetiveria zizanioides in Removing Nutrients from Wastewater. *Journal of Water and Wastewater*, 57(1), pp.57-67. (In Persian)

5- Alizade, A., 2011. *Soil, Water, Plant Relationship*. Imamreza. (In Persian)

6- Avelar, F. F., De Matos, A. T., De Matos, M. P. and Borges, A. C., 2014. Coliform bacteria removal from sewage in constructed wetlands planted with Mentha aquatica. *Environmental Technology*, 35(16), pp.2095-2103.

7- Darajeh, N., Truong, P., Rezania, S., Alizadeh, H. and Leung, D., 2019. Effectiveness of Vetiver grass versus other plants for phytoremediation of contaminated water. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 7(3), pp.485-500.

8- Darajeh, N., Idris, A., Masoumi, H. R. F., Nourani, A., Truong, P. and Sairi, N. A., 2016. Modeling BOD and COD removal from Palm Oil Mill Secondary Effluent in floating wetland by Chrysopogon zizanioides (L.) using response surface methodology. *Journal of Environmental Management*, 181(1), pp.343-352.

9- Davamani, V., Parameshwari, C. I., Arulmani, S., John, J. E. and Poornima, R., 2021. Hydroponic phytoremediation of paperboard mill wastewater by using vetiver (Chrysopogon zizanioides). *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), pp.105528.

10- Dhawan, S. S., Gupta, P. and Lal, R. K., 2021. Cultivation and Breeding of Commercial Perfumery Grass Vetiver. In: *Medicinal Plants*. (Eds.). Springer. pp. 415-433.

11- Ghosh, T., Biswas, M. K., Maity, D. and Dutta, P., 2020. Study of Antibacterial Activity of Chrysopogon zizanioids (vetiver) and its Anti-venom Potential Aspect. *Research Journal of Agricultural Sciences*, 11(4), pp.889-894.

12- Girija, N., Pillai, S. and Koshy, M. 2011. Potential of vetiver for phytoremediation of waste in retting area. The Ecoscan. 1: 267-273.

13- Hanh, H. Q., My, V. T., Ton, V. D., Van Thang, N., Van, N. T. B. and Tuong, N. D., 2017. Removal efficiency of pollutants from biodigester effluent by an integrated physical and biological treatment plant. In *The International Conference of Animal Production in Southeast Asia: Current status and Future, Hanoi, Vietnam*.

14- Islam, M. A., Islam, M. S., Chowdhury, M. E. and Badhon, F. F. 2021. Influence of vetiver grass (Chrysopogon zizanioides) on infiltration and erosion control of hill slopes under simulated extreme rainfall condition in Bangladesh. *Arabian Journal of Geosciences*. 14: 1-14.

15- Keddy, P. A., 2010. *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge university press.

16- Malavika, J. and Shobana, C., 2021. Fabrication of potable and eco-friendly solar disinfection (sodis) unit and its performance analysis. *Kongunadu Research Journal*, 8(1), pp.41-50.

17- Malnoy, M. and Maffei, M. E., 2015. Chemical diversity of microbial volatiles and their potential for plant growth and productivity. *Frontiers in Plant Science*, 6, pp.151-174.

18- Mayo, A. W., 2004. Kinetics of bacterial mortality in granular bed wetlands. *Physics and Chemistry of the Earth*, 29(15), pp.1259-1264.

19- Mohammadi Moghadam, F., Mahdavi, M., Ebrahimi, A., Tashauoei, H. R. and Mahvi, A. H., 2015. Feasibility study of wastewater reuse for irrigation in Isfahan, Iran. In *5th International Conference of Sustainable Development & Urban Construction, Danesh Pajoohan Institute, Isfahan, Iran*. (In Persian)

20- Nikmanesh, M. S., Eslami, H., Momtaz, S. M., Biabani, R., Mohammadi, A., Shiravand, B. and Mahmoudabadi, T. Z., 2018. Performance evaluation of the extended aeration activated sludge system in the removal of physicochemical and microbial parameters of municipal wastewater: case study of Nowshahr. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*, 3(2), pp.509-5017. (In Persian)

21- Peñuelas, J., Asensio, D., Tholl, D., Wenke, K., Rosenkranz, M., Piechulla, B. and Schnitzler, J. P., 2014. Biogenic volatile emissions from the soil. *Plant, Cell & Environment*, 37(8), pp.1866-1891.

22- Sanicola, O., Lucke, T., Stewart, M., Tondera, K. and Walker, C., 2019. Root and shoot biomass growth of constructed floating wetlands plants in saline environments. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2), pp.275-285.

DOI: 10.22055/JISE.2022.39021.1998

23- Sijimol, Mr., Mansa, M. and Joseph, S. 2021. Analysis of potential of Napier grass, Vetiver and Equisetum plants for the treatment of domestic greywater using box-type constructed wetlands. *Water Science and Technology*, 84(10), pp.2913-2922.

24- Su, J., Qiu, Y., Yang, X., Li, S. and Hu, Z., 2021. Dose–effect relationship of water salinity levels on osmotic regulators, nutrient uptake, and growth of transplanting vetiver. *Plants*, 10(3), pp.562-573.

25- Wei, Z., Van Le, Q., Peng, W., Yang, Y., Yang, H., Gu, H., Lam, S.S. and Sonne, C., 2021. A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil. *Journal of hazardous materials*, *403*, p.123658.

26- Worku, A., Tefera, N., Kloos, H. and Benor, S., 2018. Bioremediation of brewery wastewater using hydroponics planted with vetiver grass in Addis Ababa, Ethiopia. *Bioresources and Bioprocessing*, 39(5), pp.1-12.

27- Xinjie, W., Xin, N., Qilu, C., Ligen, X., Yuhua, Z. and Qifa, Z., 2019. Vetiver and Dictyosphaerium sp. co-culture for the removal of nutrients and ecological inactivation of pathogens in swine wastewater. *Journal of Advanced Research*, 20, pp.71-78.