

Evaluation of the Efficiency of Vetiver and Reed Plants in Reducing Nitrate, Phosphate, BOD, and COD in Urban Wastewater Using Floating Island Systems

Saeid Soltani Margani, Jahangir Abedi Koupai^{*ID}, Manouchehr Heidarpour and Seyed Alireza Gohari¹

(Received: April 15-2025 ; Revised: July 24-2025 ; Accepted: November 29-2025)

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

^{*}Corresponding author, E-mail: koupai@iut.ac.ir

Abstract

This research focuses on evaluating the efficiency of constructed wetlands in treating municipal wastewater using two plants: vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) and common reed (*Phragmites australis*). Given the increasing pollution of water resources and water scarcity in Iran, the application of nature-based solutions (NBS), particularly constructed wetlands, is a crucial approach for effective wastewater management and treatment. This study concentrates on the wastewater from the treatment plant of Isfahan University of Technology and, over a period of six months, assesses the impact of four different treatments in a completely randomized design: 1) wetland planted with vetiver (V), 2) wetland planted with reed (N), 3) control wetland without plants (B), and 4) control wetland without plants but with a supporting substrate (P), on chemical parameters of wastewater and plants. The measured parameters include BOD₅, COD, nitrate, and phosphate. Results indicated the highest levels of BOD₅ and COD in the control treatments (without plants) and a significant reduction in these parameters in the treatments planted with vetiver and reed. The best removal performance for these two parameters was observed in the sixth month at a hydraulic retention time of 30 days, with reductions of 67% and 65% for BOD₅ and 85% and 84% for COD in the vetiver and reed treatments, respectively. In the sixth month, at a retention time of 15 days, nitrate levels decreased by 25% and 34% in the vetiver and reed treatments, respectively, and by 39% and 59% at 30 days retention time. These differences were statistically significant at the 5% level for both retention time and plant type. Phosphate reductions in the sixth month at 15-day retention were 65% and 81% in vetiver and reed treatments, respectively, and at 30 days, 82% and 87%, with these decreases being statistically significant for both retention times and plant types at the 5% level. Retention time results showed that the reduction of BOD₅ and COD is directly related to retention time, with longer retention times yielding higher removal percentages. Regarding nitrogen and phosphorus, the reed demonstrated the highest performance, effectively reducing these pollutants. The total nitrogen uptake in the shoots and roots of the reed after 30 days was 33.4 and 22.51 mg/kg dry plant matter, respectively, indicating the high capacity of the reed for nitrogen absorption from wastewater. This study demonstrates that planting vetiver and reed can serve as sustainable solutions for improving water quality and effective water resource management in Iran.

Keywords: Wastewater treatment, Constructed wetland, Phytoremediation, Environment

How to cite this article: Soltani Margani, S., Abedi Koupai, J., Heidarpour, M. and Gohari, S.A. 2026. Evaluation of the Efficiency of Vetiver and Reed Plants in Reducing Nitrate, Phosphate, BOD, and COD in Urban Wastewater Using Floating Island Systems. *J. Water and Soil Sci.* 30(1): 87-102. DOI: [10.47176/jwss.30.1.49838](https://doi.org/10.47176/jwss.30.1.49838)

Copyright © 2026 Soltani Margani et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

بررسی عملکرد دو گیاه وتیور و نی در کاهش نیترات، فسفات، BOD_5 و COD پساب شهری با استفاده از سیستم جزایر شناور

سعید سلطانی مارگانی، جهانگیر عابدی کوپایی*^{id}، منوچهر حیدرپور و سیدعلیرضا گوهری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۲۶؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۸)

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@iut.ac.ir

چکیده

این پژوهش به بررسی کارایی تالاب مصنوعی در تصفیه پساب‌های شهری با استفاده از دو گیاه وتیور (*Chrysopogon zizanioides*) و نی معمولی (*Phragmites australis*) اختصاص دارد. با توجه به افزایش آلودگی منابع آبی و همچنین کمبود آب در ایران، کاربرد راهکارهای طبیعت‌محور (Nature Based Solutions-NBS) به‌ویژه تالاب‌های مصنوعی به‌عنوان راهکاری مؤثر در مدیریت و تصفیه پساب‌ها اهمیت بسیار دارد. این پژوهش بر پساب تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی اصفهان متمرکز شده و در مدت ۶ ماه به ارزیابی تأثیر تیمارهای مختلف که شامل چهار تیمار: (۱) تالاب با کاشت گیاه وتیور (V)، (۲) تالاب با کاشت گیاه نی (N)، (۳) تالاب شاهد بدون گیاه (B) و (۴) تالاب شاهد بدون گیاه با پایه نگهدارنده (P) با طرح آماری کاملاً تصادفی، بر پارامترهای شیمیایی پساب و گیاه پرداخته است. از جمله این پارامترها می‌توان به BOD_5 ، COD، نیترات و فسفات اشاره کرد. نتایج نشان‌دهنده وجود بیشترین سطح BOD_5 و COD در تیمارهای شاهد (بدون گیاه) و کاهش معنادار آن در تیمارهای کاشت دو گیاه وتیور و نی بوده است. بهترین عملکرد حذف این دو پارامتر در ماه ششم در دو تیمار وتیور و نی در زمان ماند ۳۰ روز با کاهش ۶۷ و ۶۵ درصد برای BOD_5 و کاهش ۸۵ و ۸۴ درصد برای COD بوده است. در ماه ششم در زمان ماند ۱۵ روز مقدار نیترات در تیمار وتیور و نی به ترتیب ۲۵ و ۳۴ درصد کاهش و در زمان ماند ۳۰ روز ۳۹ و ۵۹ درصد کاهش داشت که این تفاوت هم در زمان ماند و هم در نوع گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است و مقدار کاهش فسفات پساب در ماه ششم در زمان ماند ۱۵ روز در دو تیمار وتیور و نی به ترتیب ۶۵ و ۸۱ درصد و در زمان ماند ۳۰ روز به ترتیب ۸۲ و ۸۷ درصد کاهش داشت که این کاهش در هر دو تیمار زمان ماند و نوع گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج زمان ماند نشان داد که کاهش دو پارامتر BOD_5 و COD ارتباط مستقیم با زمان ماند دارد و هرچه زمان ماند بیشتر شود، درصد حذف این دو پارامتر نیز بیشتر می‌شود. در خصوص نیتروژن و فسفر، گیاه نی بیشترین عملکرد را به نمایش گذاشت و توانست مقادیر این آلاینده‌ها را به طور مؤثری کاهش دهد. میزان جذب نیتروژن کل در شاخساره و ریشه گیاه نی در مدت زمان ۳۰ روز به ترتیب ۳۳/۴ و ۲۲/۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک گیاه بود که نشان‌دهنده عملکرد زیاد گیاه نی در جذب نیتروژن پساب دارد. این پژوهش نشان می‌دهد که کاشت گیاهان وتیور و نی می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای پایدار در بهبود کیفیت آب و مدیریت مؤثر منابع آبی در ایران مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تصفیه پساب، تالاب مصنوعی، گیاه‌پالایی، محیط‌زیست

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت

شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

فناوری‌های نوین در دو قرن اخیر به دلیل افزایش فعالیت‌های صنعتی و تغییرات اقلیمی، مشکلات زیادی برای محیط‌زیست به وجود آورده است. منابع آب شیرین، منابع شهری، روستایی، کشاورزی و صنعتی به‌ویژه در معرض آلودگی قرار دارند. در شرایط کنونی، با افزایش جمعیت و کمبود آب، تصفیه و استفاده مجدد از آب‌های آلوده به یک ضرورت بدل شده است (۱۳). در ایران، به‌عنوان کشوری با منابع آبی محدود، موضوع تصفیه آب آلوده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲). انتخاب فناوری‌های مناسب بسته به شرایط آب‌وهوایی، اقتصادی و اجتماعی هر منطقه می‌تواند به حل این معضل کمک کند.

روش‌های طبیعی برای تصفیه آب‌های آلوده، به‌ویژه تالاب‌های مصنوعی، به عنوان راهکارهای ساده و اقتصادی مورد توجه قرار گرفته‌اند. تالاب‌ها با ترکیب نسبتاً پیچیده‌ای از آب، بستر، گیاهان و میکروارگانیسم‌ها عمل می‌کنند و با ایجاد فرایندهای بیولوژیکی و بیوشیمیایی، می‌توانند پساب‌های مختلف را تصفیه کنند (۶). تالاب‌های مصنوعی می‌توانند به طور خاص برای تصفیه پساب‌های شهری، صنعتی و زهاب‌های کشاورزی به کار گرفته شوند.

از جمله فناوری‌های نوین، سیستم‌های جزایر شناور برای تصفیه آب‌های سطحی و فاضلاب‌ها هستند که به‌ویژه برای حذف نیتروژن و فسفر مؤثرند (۸). این سیستم‌ها از پایه‌های پلاستیکی برای نگهداری گیاهان استفاده می‌کنند که در داخل آب قرار می‌گیرند و با فرایندهای طبیعی به تصفیه کمک می‌کنند. گیاهانی مانند وتیور و نی به دلیل ویژگیهای خاص خود، شامل ریشه‌های عمیق و توانایی جذب فلزات سنگین و آلودگی‌های آلی، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پژوهش‌های اخیر نشان داده است که استفاده از دو گیاه وتیور و نی در جزایر شناور می‌تواند عملکرد تصفیه را به طرز قابل توجهی بهبود بخشد (۲ و ۱۵)؛ به‌ویژه در کاهش آلاینده‌ها. این‌گونه سیستم‌ها، به‌سوی بهبود کیفیت آب و افزایش تنوع زیستی در زیست‌بوم‌ها رفته و می‌توانند به‌عنوان یک راه‌حل

پایدار در مدیریت فاضلاب‌های شهری و صنعتی مد نظر قرار گیرند.

عابدی کوپایی و همکاران (۱) به بررسی عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی با بستر سنگ معدنی پامیس و گیاه وتیور در تصفیه پساب شهری پرداختند و هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر این سیستم در حذف آلاینده‌ها و بهبود کیفیت آب بود که در زمان ماند شش روز به‌طور متوسط در تالاب با جریان افقی BOD_5 ۲۹/۹ درصد و COD ۸۶/۸ درصد کاهش یافت. نتایج این پژوهش ترکیب پامیس به‌عنوان ماده‌ای متخلخل با قابلیت جذب عناصر و همچنین گیاه وتیور به‌عنوان یک گیاه توانا در گیاه‌پالایی عملکرد بسیار مناسبی را در زمان ماند کم نمایش داد. ژانیو و همکاران (۱۳) با استفاده از دو گیاه و تیور و نی در یک سیستم تالاب مصنوعی با جریان افقی به بررسی حذف نیترات و فسفات و آمونیم پرداختند که کارایی حذف نیترات و فسفات گیاه نی نسبت به وتیور بیشتر بوده و به ترتیب ۸۳/۸۵ درصد و ۲۶/۲۶ درصد کاهش داده است. بوچالا و همکاران (۵) اثر گیاه نی روی تصفیه پساب بیمارستان و زهاب کشاورزی را بررسی کردند که نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از گیاه نی باعث کاهش ۶۸ درصدی کلیفرم و ۴۰ درصدی فسفات شده است. همچنین نیکولای و همکاران (۱۶) با استفاده از سیستم تالاب مصنوعی با گیاه نی به حذف نیتروژن و فسفر پرداخت که در این پژوهش بیشترین مقدار جذب نیتروژن در برگ و سپس در ساقه گیاه و در کل ۳۰۲ گرم در مترمربع و بیشترین مقدار جذب فسفر نیز در برگ و سپس در ساقه گیاه و در کل ۱۱ گرم بر مترمربع بوده است. کی و همکاران (۱۴) نیز به بررسی استفاده از دو گیاه وتیور و نی در سیستم تالاب مصنوعی با جریان عمودی پرداختند که نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین گیاه نی و وتیور در حذف نیترات وجود ندارد؛ اما این تفاوت در تالاب‌های بدون گیاه و تالاب‌های با گیاه نی و وتیور در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار می‌باشد. بدجو و همکاران (۴) با استفاده از سیستم تالاب مصنوعی با جریان عمودی در تانک‌هایی با ظرفیت ۱۰۰۰ لیتر به بررسی کارایی

گیاه وتیور با پایه نگهدارنده (V)، ۲: تالاب به همراه کاشت گیاه نی با پایه نگهدارنده (N)، ۳: تالاب شاهد بدون گیاه و بدون پایه نگهدارنده (B) ۴: تالاب شاهد بدون گیاه به همراه پایه نگهدارنده (P) که در ادامه نحوه قرارگیری تالاب‌ها در کنار هم در شکل ۱ نشان داده شده است. در این پژوهش به دلیل اینکه از سیستم جزایر شناور استفاده شده است، برای شناور ماندن گیاهان در تالاب‌ها از پایه‌های کائوچو و سبک به ضخامت ۵ سانتی‌متر استفاده شد (شکل ۳)؛ از این رو به دلیل پوشاندن بخشی از سطح تالاب، به عنوان یک عامل محیطی، اثر پایه نگهدارنده نیز به عنوان یک پارامتر تاثیرگذار در تیمارهای پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.

زمان ماند و نوع جریان

نوع سیستم در نظر گرفته شده برای جریان ورودی تالاب‌ها به صورت منقطع و در دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز استفاده شد. علت استفاده از دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز این است که در سیستم‌های جزایر شناور به دلیل نبودن بستر کشت، گیاه و ریشه گیاه به مدت زمان بیشتری برای جذب عناصر نیاز دارد. در مقایسه با کارهای انجام شده در دانشگاه صنعتی اصفهان بر دو گیاه وتیور و نی، بیشتر زمان ماندها کمتر از ۱۵ روز بود که در این پژوهش با توجه به نوع سیستم شناور، دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز در نظر گرفته شد.

مدت زمان آزمایش و زمان و نحوه نمونه‌برداری

مدت انجام آزمایش‌ها و نمونه‌برداری ۶ ماه بود به این صورت که تالاب در روز اول از پساب با استفاده از تانکر موجود در دانشگاه صنعتی پر و در ابتدا، در روز ۱۵ ام و در روز ۳۰ ام نمونه‌برداری شد. پس از نمونه‌برداری در روز ۳۰ ام تالاب‌ها تخلیه و با پساب جدید پر و این روند برای ۶ ماه تکرار شد. برای نمونه‌برداری سعی شد که تمام نمونه‌ها از عمق ۱۵ سانتی‌متری سطح تالاب برداشت شود. با توجه به لزوم اندازه‌گیری پارامترهای مختلف در گیاه برای مقایسه عملکرد

حذف نیترات توسط گیاه وتیور پرداختند که نتایج این پژوهش درصد حذف ۸۰ درصد برای نیترات بود.

با توجه به شرایط خشک و نیمه‌خشک ایران، استفاده مجدد از پساب در کشاورزی بسیار ضروری و کاهش آلاینده‌های نیتروژن و فسفر یکی از چالش‌های اصلی در این زمینه است. راهکارهای طبیعت - محور و مقرون به صرفه، مانند تالاب‌های مصنوعی، می‌توانند به حذف آلاینده‌ها با راندمان زیاد کمک کنند؛ بنابراین با در نظر گرفتن نتایج پژوهش‌های دیگران و این موضوع که در این پژوهش‌ها، سیستم تالاب مصنوعی و با وجود بستر کشت و جریان‌های عمودی و افقی صورت گرفته است، هدف از پژوهش حاضر، بررسی کارایی تالاب‌های مصنوعی در تصفیه پساب‌های شهری با استفاده از سیستم جزایر شناور و بدون بستر کشت است. در این سیستم عملکرد این دو گیاه وتیور و نی در حذف نیترات و فسفات پساب شهری بررسی می‌شود.

مواد و روش‌ها

پساب مورد استفاده

پساب مورد استفاده در این پژوهش، پساب تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی اصفهان است که پس از ته‌نشینی و آشغال‌گیر اولیه به وسیله تانکر به مجموعه سوله بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی انتقال و به وسیله لوله‌های پلی‌اتیلن وارد سیستم تالاب‌ها شد. مشخصات پساب مورد استفاده به صورت میانگین سالانه در جدول ۱ به صورت خلاصه مشخص شده است. همچنین پارامترهای هواشناسی در طول دوره آزمایش‌ها در جدول ۲ به صورت میانگین ماهانه مشخص شده است.

تیمارهای پژوهش

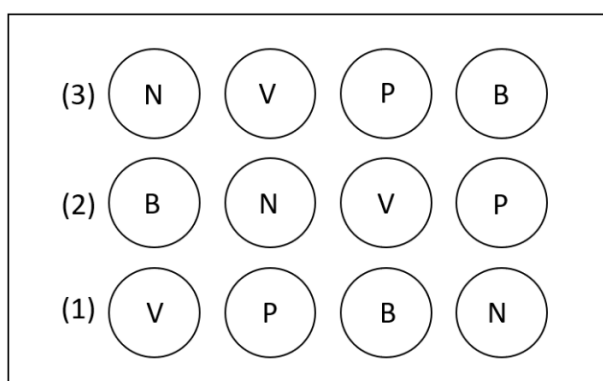
تیمارهای در نظر گرفته شده برای این پژوهش شامل ۴ تیمار و ۳ تکرار بود که برای قرار دادن تالاب‌ها در کنار هم از طرح آماری کاملاً تصادفی استفاده شد. در کل تیمارها شامل ۴ تالاب مصنوعی با جریان منقطع به صورت ۱: تالاب به همراه کاشت

جدول ۱. مشخصات پساب تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی اصفهان به صورت میانگین

پارامتر	واحد	مقدار
درجه اسیدی (pH)		۷/۲۵
هدایت الکتریکی (EC)	dS/m	۱/۱۵
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)	mg/L	۱۱۰
اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD)	mg/L	۱۳۵
مواد جامد معلق (TSS)	mg/L	۷۵۰
شاخص میکروبی (Ecoli)	MPN	۳۷۰۰۰
نیترات (NO ₃)	mg/L	۱۲۰
فسفات (PO ₄)	mg/L	۲/۵

جدول ۲. پارامترهای هواشناسی در دوره آزمایش به صورت میانگین ماهانه

پارامتر	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
دمای بیشینه (درجه سلسیوس)	۳۰/۲	۳۷/۴	۳۹/۲	۳۶/۱	۳۴/۳	۲۸/۷	۱۸/۲
دمای کمینه (درجه سلسیوس)	۱۳/۴	۱۹/۹	۲۲/۴	۱۹/۲	۱۷/۷	۱۲/۳	۵/۶
رطوبت بیشینه (درصد)	۱۰۰	۲۶	۶۸	۷۰	۳۹	۴۵	۱۰۰
رطوبت کمینه (درصد)	۲	۳	۳	۵	۵	۵	۱۵
بارش (میلی‌متر)	۰	۰	۰	۰	۰	۳	۵



شکل ۱. طرح آماری و نحوه قرارگیری تالاب‌ها

ابعاد و محل قرارگیری تالاب‌های مصنوعی

تالاب‌های افقی به صورت استوانه‌های از پیش ساخته شده پلاستیکی از جنس پلیمر با قطر داخلی یک متر و ارتفاع یک متر و بیست سانتی‌متر انتخاب شد. فاصله تالاب‌ها از یکدیگر در حدود یک متر در نظر گرفته شد. با توجه به طرح آماری کامل تصادفی و در نظر گرفتن زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز و جریان مقطع و همچنین دو گیاه متفاوت نی و وتیور و همچنین در نظر گرفتن

جذب آلاینده‌ها، بعد از هر زمان ماند، یک گیاه کامل از تالاب برداشت شد و بعد از جدا کردن ریشه و شاخساره به آزمایشگاه منتقل و پارامترهای مد نظر در شاخساره و ریشه اندازه‌گیری شد؛ از این رو برای جلوگیری از تغییر ترکیب و تعداد بوته‌ها در تالاب‌ها، چند تالاب با شرایط یکسان در کنار دیگر تالاب‌های آزمایش قرار داده شد و نمونه‌های برداشت شده گیاه از تالاب‌های دیگر جایگزین شد.

زمان اعمال تیمار پساب

گیاهان به صورت جزیره‌هایی شناور در حوضچه‌های پلیمری با تراکم یکسان (۷ بوته در هر حوضچه) در سطح تالاب قرار داده شد. کشت گیاهان به صورت هیدروپونیک در آب به مدت تقریبی ۴۰ روز از ۲۰ فروردین تا ۳۱ اردیبهشت ۱۴۰۱ انجام شد. گفتنی است گیاهان پس از انتقال به محیط جدید و کاشت در محیط آبی به مدت چند روز وارد شوک شد و برخی از گیاهان رو به زردی و خشک شدن رفتند که بعد از گذشت یک ماه تمام گیاهان با شرایط محیطی سازگار و احیا شد (شکل ۴). جنس پایه‌ها از کائوچو بود تا بتوان گیاهان را روی سطح آب به صورت شناور نگه داشت. در تاریخ ۱ خرداد ۱۴۰۱، پساب از خروجی تصفیه‌خانه دانشگاه صنعتی اصفهان به وسیله تانکر حمل و در تالاب‌های در نظر گرفته شده تخلیه شد و از ورودی پساب به حوضچه نمونه‌برداری شد. اعمال پساب پس از سازگار شدن گیاهان با محیط صورت گرفت. پژوهش به مدت ۶ ماه تا تاریخ ۳۰ آبان ۱۴۰۰ ادامه یافت و در هر ماه سه بار به ترتیب در روز اول و در روز ۱۵ ام و در روز ۳۰ ام از پساب برای انجام آزمایش‌ها نمونه‌برداری شد.

پارامترهای مورد بررسی و روش اندازه‌گیری

پس از استقرار پوشش گیاهی و کاشت گیاهان، نمونه‌برداری از هر کدام از تالاب‌ها ۲ بار در ماه و به مدت ۶ ماه ادامه یافت. از مهم‌ترین پارامترهای پساب که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند، شامل BOD، COD، نیترات و فسفات پساب بود که همه این مقادیر با توجه به زمان مانده‌های در نظر گرفته شده ۱۵ و ۳۰ روز به مدت ۶ ماه در ابتدا و انتها هر زمان ماند به روش استاندارد رقیق‌سازی برای BOD و COD و نیترات و فسفات با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد و مقادیر به دست آمده مورد بحث و تحلیل قرار گرفت تا اثرهای تیمارهای مختلف را نشان دهد. همچنین برای بررسی عملکرد حذف آلاینده‌ها توسط دو

تیمارهای شاهد و ۳ تکرار، ۱۲ تالاب پلیمری موجود را به محل سوله بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی انتقال داده و سپس طبق شکل ۱ تالاب‌ها نام‌گذاری و در تاریخ ۱۵ فروردین ۱۴۰۱ در محل خود قرار داده شد. همچنین برای سیستم آبرسانی از لوله‌های پلی‌اتیلن استفاده شد. گفتنی است پساب مورد استفاده در این پژوهش به وسیله تانکر از محل تصفیه‌خانه به سوله بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی منتقل و به وسیله لوله به حوضچه‌ها منتقل شدند (شکل ۲).

نحوه کاشت گیاهان و تاریخ کاشت

گیاه نی معمولی (*Phragmites australis*) و علف وتیور (*Chrysopogon zizanioides*) در پژوهش حاضر به دلیل توانایی زیاد آنها در حذف آلاینده‌ها (۹)، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۸). نی معمولی گیاهی چندساله با ریشه‌های عمیق (بیش از ۶۰ سانتی‌متر) است و در اطراف آبراهه‌ها و دریاچه‌ها در تمامی قاره‌ها رشد می‌کند. این گیاه به‌عنوان یک گونه مهاجم شناخته می‌شود و می‌تواند گونه‌های دیگر را در تالاب‌ها تحت تأثیر قرار دهد.

به‌منظور مطالعه توانایی این گیاه در حذف آلاینده‌ها، نی معمولی از نزارهای بوشهر برداشت و به دانشگاه صنعتی اصفهان منتقل شد. در ابتدا به علت تغییر مکان، گیاه به مدت یک ماه در شرایط هیدروپونیک در آب کشت شد تا با محیط جدید سازگار شود و در هر تالاب، ۷ بوته از آن قرار داده شد. علف وتیور نیز در شرایط مشابه کشت شد و به لحاظ اقلیمی و خاکی، قابلیت رشد در شرایط مختلفی را دارد. این گیاه از جنوب هند منشأ گرفته و در بسیاری از کشورهای دنیا برای مصارف گوناگون استفاده می‌شود (۲). گیاه وتیور نیز به‌منظور جلوگیری از شوک، به مدت یک ماه در شرایط هیدروپونیک در آب قرار گرفت. همچنین در هر تالاب ۷ بوته آن کشت شد. در نهایت، نحوه کاشت این دو گیاه در پژوهش در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲. نحوه قرارگیری حوضچه‌ها در کنار هم در دانشگاه صنعتی اصفهان



شکل ۳. مراحل کاشت گیاهان روی پایه‌ها



شکل ۴. سازگار شدن گیاهان با محیط دانشگاه بعد از زرد شدن کامل گیاهان

بود. این نتیجه با نتایج عابدی کوپایی و همکاران (۳) و پاندی ۲۰۲۳ (۱۷) در رابطه با تاثیر زمان ماند بر کاهش مقدار BOD_s تطابق دارد. یکی از نکات حائز اهمیت در این پژوهش اثر پایه نگهدارنده گیاه به تنهایی است که در مقایسه تیمارها در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز، با اینکه هر دو تیمار باعث افزایش مقدار BOD_s شده‌اند، اما وجود پایه نگهدارنده باعث افزایش کمتر BOD_s نسبت به تیمار شاهد بدون پایه شده است و این اختلاف در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار می‌باشد که این تفاوت به دلیل شناور بودن پایه نگهدارنده روی سطح تالاب و حرکت آن روی سطح تالاب در طول دوره آزمایش و ایجاد شرایط هوادهی در تالاب و جلوگیری از شرایط بی‌هوایی در عمق تالاب مصنوعی است. همچنین با مقایسه تیمار شاهد با پایه و تیمار کاشت گیاه و تیور به همراه پایه، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد بین این دو تیمار وجود دارد که اهمیت استفاده از گیاهان برای کاهش آلاینده‌ها را نشان می‌دهد که در پژوهش درافشان و همکاران ۲۰۲۳ (۹) نیز استفاده از گیاه و تیور را برای کاهش آلاینده‌ها توصیه کرده است که با نتایج این پژوهش تطابق دارد.

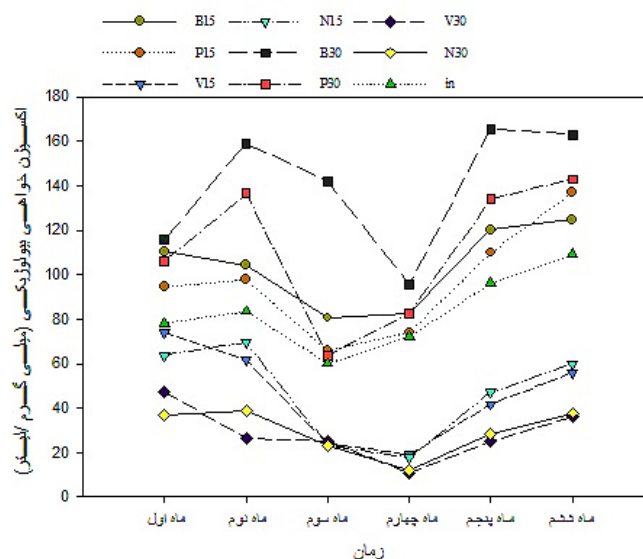
عملکرد حذف تیمارهای مختلف روی مقدار COD

در شکل ۶ و جدول ۴ مقادیر COD پساب در کل زمان پژوهش روی تمام تیمارها نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل و جدول آماری مشخص است، مانند BOD_s در تمام ماه‌ها بیشترین مقادیر مربوط به تیمارهای شاهد بدون پایه و با پایه و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای با زمان ماند ۳۰ روز و کاشت دو گیاه و تیور و نی است. با توجه به شکل کاملاً مشخص است گیاهان به مرور زمان با توجه به رشد، سیستم ریشه گیاهان وسیع‌تر شده و در نتیجه عملکرد بهتری در کاهش مقدار COD پساب دارد. در تمام ماه‌ها عملکرد کاهش COD پساب به صورت معنی‌دار در زمان ماند ۳۰ روز بهتر از زمان ماند ۱۵ روز بوده که این نتیجه با پژوهش‌های (۱۰) و (۳) و (۱۸) تطابق دارد. با توجه به جدول ۴ در ماه‌های اول عملکرد کاهش COD پساب توسط گیاه نی در مدت زمان ماند ۱۵ روز بهتر از گیاه

گیاه و تیور و نی در طول آزمایش بعد از هر زمان ماند از هر کدام از تالاب‌ها یک گیاه به عنوان نمونه برداشت و بعد از جداسازی ریشه از گیاه، مقادیر نیتروژن و فسفات در شاخساره و ریشه بعد از عصاره گرفتن با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

عملکرد حذف تیمارهای مختلف روی مقدار BOD_s پساب در شکل ۵ و جدول ۳ مقادیر BOD_s پساب در کل زمان پژوهش روی تمام تیمارها نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل و نتایج آماری در جدول مشخص است، در تمام ماه‌ها بیشترین مقادیر مربوط به تیمارهای شاهد بدون پایه و با پایه و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای با زمان ماند ۳۰ روز و کاشت دو گیاه و تیور و نی است. نکته دیگر که در شکل کاملاً مشخص است، عملکرد بهتر گیاهان به مرور زمان است که همین امر نشان‌دهنده این است هرچه گیاه رشد بیشتری داشته باشد، با توجه به اینکه سیستم ریشه گیاهان وسیع‌تر شده، عملکرد بهتری در کاهش مقدار BOD_s پساب دارد. با توجه به شکل ۷ با گذشت زمان و بزرگ‌تر شدن گیاهان عملکرد گیاه و تیور به دلیل داشتن سیستم ریشه افشان و گسترده و تبادل اکسیژن در تالاب نسبت به نی بهتر است که این نتیجه با پژوهش‌های (۲۱) و (۴) تطابق دارد. در تیمارهای شاهد شامل تیمارهای با پایه و بدون پایه به دلیل اینکه در طول دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز هیچ‌گونه فرایند هوایی در تالاب‌ها صورت نگرفته است، باعث افزایش معنی‌دار مقدار BOD_s پساب نسبت به مقدار BOD_s ورودی پساب شده است. در نقطه مقابل تالاب‌های با دو تیمار و تیور و نی برای نمونه در ماه ششم، باعث کاهش ۴۸ و ۴۵ درصدی در زمان ماند ۱۵ روز و کاهش ۶۷ و ۶۵ درصدی در زمان ماند ۳۰ روز شده است؛ هرچند که این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده است. اثر تیمار زمان ماند در میزان کاهش BOD_s در طول تمام ماه‌ها در دو تیمار و تیور و نی، در زمان ماند ۱۵ روز و ۳۰ روز در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار



شکل ۵. مقدار BOD_5 پساب اندازه‌گیری شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز در کل ۶ ماه

جدول ۳. مقدار BOD_5 پساب اندازه‌گیری شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز

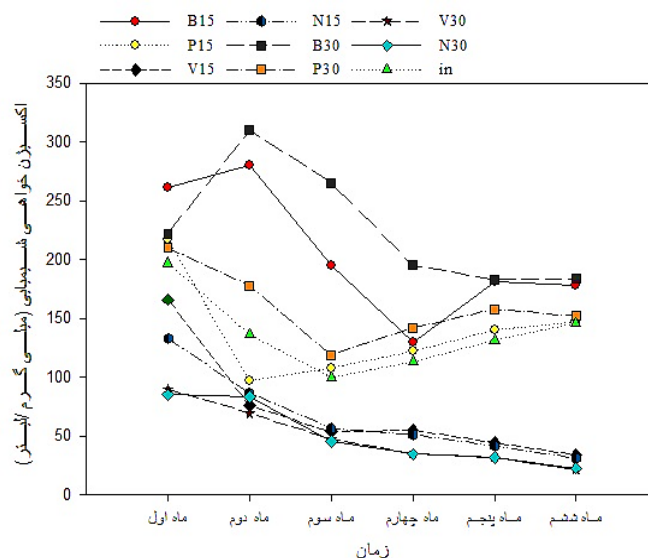
پارامتر (میلی گرم/لیتر)	زمان ماند (روز)	نوع گیاه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
مقادیر ورودی			۷۸/۱۵	۸۳/۴۰	۶۰/۰۰	۷۲/۰۰	۹۶/۱۲	۱۰۹/۲۰
خروجی	۱۵	وتیور	۷۳/۷۵ c	۶۱/۴۵ de	۲۳/۹۵ e	۱۹/۱۱ d	۴۱/۷۰ e	۵۵/۹۰ e
		نی	۶۳/۸۵ d	۶۹/۴۰ d	۲۳/۱۰ e	۱۷/۷۱ de	۴۷/۱۰ e	۵۹/۸۸ e
		شاهد با پایه	۹۴/۶۴ b	۹۷/۷۵ c	۶۵/۸۰ c	۷۴/۰۰ c	۱۰۹/۹۰ d	۱۳۷/۰۰ c
	۳۰	شاهد بدون پایه	۱۱۰/۳۳ a	۱۰۴/۲۶ c	۸۰/۴۷ b	۸۲/۳۷ b	۱۲۰/۱۷ c	۱۲۴/۷۵ d
		وتیور	۴۷/۳۵ ef	۲۶/۴۰ g	۲۵/۰۵ e	۱۰/۸۹ h	۲۴/۹۰ fg	۳۵/۸۸ f
		نی	۳۶/۷۷ g	۳۸/۷۶ f	۲۳/۳۵ e	۱۲/۳۰ hg	۲۸/۳ g	۳۷/۸۰ f
		شاهد با پایه	۱۰۵/۹۰ a	۱۳۶/۵۰ b	۶۳/۷۵ c	۸۲/۳۰ b	۱۳۴/۰۰ b	۱۴۲/۹۷ b
		شاهد بدون پایه	۱۱۵/۷۵ a	۱۵۹/۰۰ a	۱۴۱/۹۵ a	۹۵/۸۰ a	۱۶۵/۵۰ a	۱۶۳/۰۵ a

* میانگین‌هایی که برای هر تیمار آزمایشی و هر جزء دارای حروف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از لحاظ

آماري اختلاف معنی‌داری ندارند.

بدون پایه باعث افزایش کمتر مقدار COD پساب در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز شد و این اختلاف در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار بود. دلیل این تفاوت این است که چون پایه نگهدارنده روی سطح تالاب شناور است، باعث حرکت و تلاطم تالاب می‌شود و همین حرکت پایه باعث فرایند هوا دهی و جلوگیری از فرایند بی‌هوازی در زیر سطح تالاب می‌شود.

وتیور بود که این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبوده است. بهترین عملکرد کاهش COD در ماه ششم در زمان مان ۱۵ روز برای گیاه وتیور و نی ۷۶ و ۷۸ درصد و در زمان ماند ۳۰ روز ۸۵ و ۸۴ درصد بود که این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. همچنین گفتنی است اثر پایه نگهدارنده بر پارامتر COD همانند BOD_5 بود و پایه نگهدارنده در مقایسه با تیمار شاهد



شکل ۶. مقدار COD پساب اندازه‌گیری شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز در ۶ ماه

جدول ۴. مقدار COD پساب اندازه‌گیری شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز

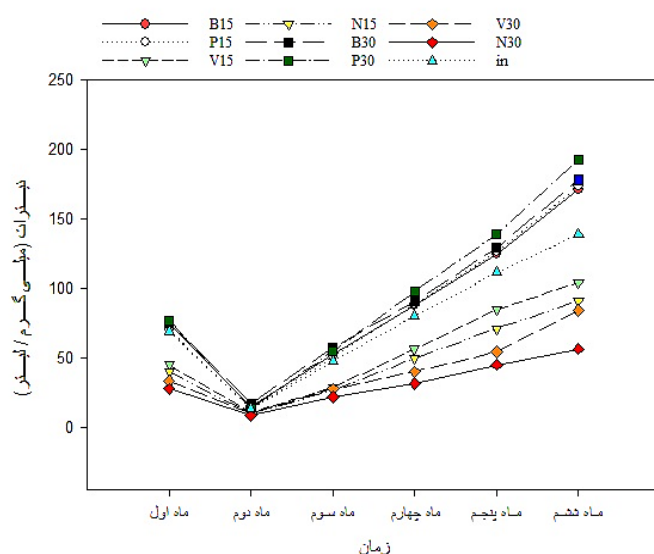
پارامتر (میلی گرم/لیتر)	زمان ماند (روز)	نوع گیاه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
مقادیر ورودی								
		وتیور	۱۶۶/۰۰ c	۷۶/۰۵ cd	۵۳/۶۷ d	۵۵/۱۷ d	۴۴/۸۳ d	۳۴/۱۳ e
		نی	۱۳۲/۶۷ cd	۸۶/۹۵ cd	۵۶/۶۰ d	۵۱/۳۸ d	۴۱/۸۳ d	۳۱/۴۰ e
خروجی	۱۵	شاهد با پایه	۲۱۶/۹۹ ab	۹۷/۰۵ c	۱۰۸/۰۸ c	۱۲۲/۰۰ b	۱۴۰/۳۰ c	۱۴۷/۱۱ d
		شاهد بدون پایه	۲۶۱/۰۰ a	۲۸۰/۵۰ a	۱۹۵/۱۶ b	۱۲۹/۵۰ b	۱۸۱/۶۶ a	۱۷۸/۰۱ b
		وتیور	۹۰/۰۰ ed	۶۹/۵۰ cd	۴۷/۶۲ ef	۳۵/۲۶ f	۳۱/۹۲ f	۲۱/۳۷ f
	۳۰	نی	۸۵/۳۳ e	۸۳/۳۳ cd	۴۵/۵۶ e	۳۴/۸۳ f	۳۲/۱۶ f	۲۳/۰۰ f
		شاهد با پایه	۲۱۰/۳۰ b	۱۷۸/۰۰ b	۱۱۸/۸۲ c	۱۴۲/۰۰ c	۱۵۸/۰۵ b	۱۵۲/۰۱ c
		شاهد بدون پایه	۲۲۲/۳۰ ab	۳۱۰/۰۰ a	۲۶۵/۵۰ a	۱۹۵/۳۳ a	۱۸۲/۸۰ a	۱۸۴/۰۰ a

* میانگین‌هایی که برای هر تیمار آزمایشی و هر جزء دارای حروف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

عملکرد حذف تیمارهای مختلف روی نیتрат (NO_3)

در شکل ۷ و جدول ۵ مقادیر NO_3 پساب در کل زمان پژوهش روی تمام تیمارها نشان داده شده است. همانطور که در شکل و جدول آماری مشخص است، در تمام ماه‌ها بیشترین مقادیر مربوط به تیمارهای شاهد بدون پایه و با پایه و کمترین مقدار

با مقایسه بین دو تیمار کاشت گیاه وتیور و نی و تیمار شاهد به همراه پایه که نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار استفاده از گیاه در کاهش مقدار COD و BOD_5 دارد، این نتایج نشان می‌دهد استفاده از گیاه برای کاهش مقدار COD و BOD_5 می‌تواند کاملاً موثر و مفید باشد (۲۰) (۹) و (۱۲).



شکل ۷. مقدار نیترات پساب اندازه‌گیری‌شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز در ۶ ماه

جدول ۵. مقدار نیترات پساب اندازه‌گیری‌شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز

پارامتر (میلی‌گرم/لیتر)	زمان ماند (روز)	نوع گیاه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
مقادیر ورودی			۶۸/۸۸	۱۲/۹۰	۴۷/۲۸	۸۰/۰۵	۱۱۱/۳۵	۱۳۸/۹۰
خروجی	۱۵	وتیور	۴۴/۸۵ d	۱۰/۴۵ d	۲۸/۶۶ d	۵۶/۱۵ d	۸۴/۵۳ c	۱۰۴/۰۵ c
		نی	۳۹/۸۵ e	۹/۷۰ d	۲۶/۴۱ d	۴۹/۷۴ e	۷۰/۸۷ d	۹۱/۰۴ d
		شاهد با پایه	۶۹/۹۰ bc	۱۳/۰۵ bc	۵۰/۴۶ c	۸۸/۵۲ bc	۱۲۶/۲۶ b	۱۷۳/۶۱ b
		شاهد بدون پایه	۷۴/۸۵ b	۱۴/۸۵ b	۵۲/۶۶ cb	۸۷/۴۰ c	۱۲۴/۷۱ b	۱۷۱/۳۲ b
	۳۰	وتیور	۳۳/۲۰ f	۱۰/۰۸ d	۲۷/۵۶ d	۳۹/۸۳ g	۵۴/۰۹ f	۸۴/۳۶ d
		نی	۲۷/۵۰ g	۸/۱۴ e	۲۱/۷۵ e	۳۱/۲ h	۴۵/۰۱ g	۵۶/۲۶ e
		شاهد با پایه	۷۶/۹۰ a	۱۳/۷۱ c	۵۴/۴۶ ab	۹۷/۷۸ ab	۱۳۹/۰۰ ab	۱۹۲/۵۷ ab
		شاهد بدون پایه	۷۴/۸۵ ab	۱۷/۲۰ a	۵۷/۲۶ a	۹۰/۷۰ b	۱۲۹/۳۰ b	۱۷۸/۰۸ b

* میانگین‌هایی که برای هر تیمار آزمایشی و هر جزء دارای حروف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.

نی به دلیل رشد طولی سریع‌تر نسبت به گیاه وتیور و رشد سریع ساقه، باعث جذب بیشتر عناصری که برای رشد مورد نیاز است، از قبیل نیتروژن می‌شود. اثر تیمار زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز در تمام ۶ ماه بررسی شد که در دو گیاه وتیور و نی این تفاوت در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار بود. این نتیجه در پژوهش درافشان و همکاران (۲) و (۱۹) نیز نشان داده شد؛ به

مربوط به تیمارهای با زمان ماند ۳۰ روز و کاشت دو گیاه وتیور و نی است. در تمام شش ماه در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز عملکرد گیاه نی نسبت به وتیور در کاهش مقدار NO_3 پساب بهتر بوده که با سایر پژوهش‌های انجام‌شده همخوانی دارد که گیاه نی عملکرد بهتری نسبت به وتیور در جذب نیترات پساب دارد (۱۱) و (۱۴). یکی از دلایل این تفاوت این است که گیاه

سطح ۵ درصد در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز نسبت به تیمار شاهد بدون پایه شد.

اثر تیمارهای مختلف روی مقدار نیتروژن کل (TN) در شاخساره (برگ و ساقه) و ریشه

مقدار TN اندازه‌گیری شده در شاخساره و ریشه گیاه در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز در طول دوره در جدول ۷ ارائه و اثرات تیمارهای متفاوت و برهمکنش میان آنها با استفاده از تجزیه واریانس در سطح ۵ درصد بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس مربوط به TN شاخساره و ریشه نشان داد، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز در سطح ۵ درصد وجود دارد که با پژوهش (۱۰) همخوانی دارد. همچنین مطابق با نتایج جدول ۲ در زمان ماند ۱۵ روز بین تیمارهای گیاه تفاوت معنی‌داری بین کاشت و تیور و نی وجود دارد. بیشترین مقدار جذب نیتروژن کل توسط شاخساره و ریشه در تیمار زمان ماند ۳۰ روز و کاشت گیاه نی رخ داده است. بیشترین مقدار جذب TN توسط شاخساره و ریشه در تیمار کاشت گیاه نی در مدت زمان ۳۰ روز با مقادیر به ترتیب شاخساره و ریشه، ۳۳/۰۴ و ۲۲/۵۱ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار کاشت گیاه و تیور در زمان ماند ۱۵ روز بود با مقادیر به ترتیب شاخساره و ریشه ۲۸/۰۲ و ۱۹/۱۶ میلی گرم در کیلوگرم ماده خشک که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با سایر تیمارهای کشت دارند. نکته قابل توجه در خصوص جذب نیتروژن کل توسط شاخساره دو گیاه و تیور و نی، عملکرد بهتر گیاه نی در جذب بیشتر نیتروژن در شاخساره گیاه به دلیل رشد طولی گیاه نی و خاصیت جذب و تجمع نیتروژن در برگ و ساقه نی در طول فصل رشد است که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با گیاه و تیور در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز دارد. مطابق نتایج براون و همکاران (۶) عملکرد گیاه و تیور نسبت به نی در جذب نیترات کمتر است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. یکی از اهداف اندازه‌گیری مقدار نیتروژن در شاخساره و ریشه گیاه

این ترتیب که هرچه زمان ماند طولانی‌تر باشد، عملکرد گیاهان در کاهش نیترات پساب بهتر است. در ماه ششم در زمان ماند ۱۵ روز مقدار NO_3 در تیمار و تیور و نی به ترتیب ۲۵ و ۳۴ درصد کاهش و در زمان ماند ۳۰ روز ۳۹ و ۵۹ درصد کاهش داشت که این تفاوت هم در زمان ماند و هم در نوع گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. با توجه به نتایج جدول ۵، در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز مقایسه بین تیمار شاهد به همراه پایه و تیمار شاهد بدون پایه در طول مدت زمان آزمایش تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند.

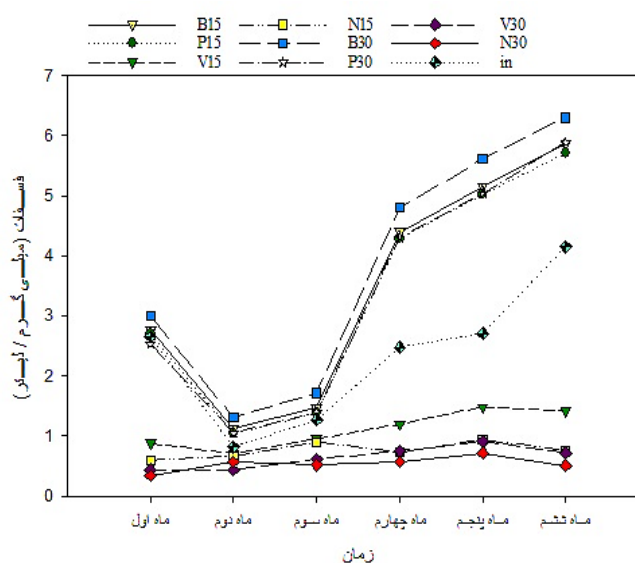
عملکرد حذف تیمارهای مختلف روی مقدار فسفات (PO_4)

در جدول ۶ مقادیر PO_4 پساب در کل زمان پژوهش روی تمام تیمارها نشان داده شده است. با توجه به شکل مشخص است در تمام ماه‌ها بیشترین مقادیر مربوط به تیمارهای شاهد بدون پایه و با پایه و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای با زمان ماند ۳۰ روز و کاشت دو گیاه و تیور و نی است. مانند پارامتر NO_3 در تمام ماه‌ها و در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز عملکرد گیاه نی نسبت به گیاه و تیور در کاهش مقدار PO_4 پساب بهتر است. مطابق با نتایج سایر پژوهش‌های انجام شده، عملکرد گیاه نی در حذف فسفات پساب به مراتب بهتر از گیاه و تیور است که در این پژوهش و در شکل ۹ و نتایج جدول ۶ کاملاً مشخص است (۱۴) و (۱۱) و (۱۹). مقدار کاهش PO_4 پساب در ماه ششم در زمان ماند ۱۵ روز در دو تیمار و تیور و نی به ترتیب ۶۵ و ۸۱ درصد و در زمان ماند ۳۰ روز به ترتیب ۸۲ و ۸۷ درصد کاهش داشت که این کاهش در هر دو تیمار زمان ماند و نوع گیاه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. مطابق با نتایج (۷) و (۱۹) استفاده از گیاه نی باعث کاهش مقدار فسفات و نیترات پساب می‌شوند. با توجه به مقادیر جدول ۶ و مقایسه دو تیمار شاهد با پایه و بدون پایه در هر دو زمان ماند، تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد دیده نشد که نشان‌دهنده بی‌اثر بودن اثر پایه به تنهایی بر مقدار فسفات پساب است؛ هرچند که اثر پایه نگهدارنده به تنهایی در دو تیمار COD و BOD_5 باعث کاهش معنی‌دار در

جدول ۶. مقدار فسفات پساب اندازه‌گیری شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز

پارامتر (میلی گرم/لیتر)	زمان ماند (روز)	نوع گیاه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
مقادیر ورودی			۲/۶۵	۰/۸۲	۱/۲۷	۲/۴۸	۲/۷۱	۴/۱۵
خروجی	۱۵	وتیور	۰/۸۸ d	۰/۷۱ d	۰/۹۵ d	۱/۲۰ c	۱/۴۸ c	۱/۴۲ d
		نی	۰/۶۰ e	۰/۶۶ d	۰/۹۰ e	۰/۷۳ de	۰/۹۴ d	۰/۷۶ e
		شاهد با پایه	۲/۷۰ b	۱/۰۴ c	۱/۳۸ c	۴/۲۹ b	۵/۰۲ b	۵/۷۱ c
		شاهد بدون پایه	۲/۷۶ b	۱/۱۲ bc	۱/۴۸ bc	۴/۴۰ b	۵/۱۵ b	۵/۸۶ bc
	۳۰	وتیور	۰/۴۴ g	۰/۴۳ f	۰/۶۲ g	۰/۷۵ d	۰/۹۱ de	۰/۷۲ ef
		نی	۰/۳۴ h	۰/۵۷ e	۰/۵۲ h	۰/۵۷ f	۰/۷۲ f	۰/۵۱ g
	۳۰	شاهد با پایه	۲/۵۳ c	۱/۰۵ c	۱/۳۹ c	۴/۳۰ b	۵/۰۴ b	۵/۸۹ b
		شاهد بدون پایه	۳/۰۰ ac	۱/۳۱ ac	۱/۷۲ ac	۴/۸۰ ab	۵/۶۱ ab	۶/۳۰ ab

* میانگین‌هایی که برای هر تیمار آزمایشی و هر جزء دارای حروف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ۹. مقدار فسفات پساب اندازه‌گیری شده در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز در ۶ ماه

اثر تیمارهای مختلف روی مقدار فسفر کل (TP) در شاخساره و ریشه گیاه

مقدار TP اندازه‌گیری شده در شاخساره و ریشه گیاه در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز در طول دوره در جدول ۸ ارائه شد و اثرات تیمارهای متفاوت و برهمکنش میان آنها با استفاده از تجزیه

مقایسه میزان جذب نیتروژن در شاخساره و ریشه گیاه بود که در جدول ۷ کاملاً مشخص است میزان جذب نیتروژن در شاخساره گیاه به مراتب بیشتر از جذب نیتروژن توسط ریشه گیاه است که این نتیجه نشان‌دهنده تجمع بیشتر نیتروژن در برگ و ساقه گیاهان است.

جدول ۷. مقدار نیتروژن کل اندازه گیری شده در شاخساره و ریشه گیاه در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز (میلی گرم بر گرم ماده خشک)

شاخساره / ریشه	زمان ماند (روز)	نوع گیاه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
شاخساره	۱۵	وتیور	۱۶/۱۳ d	۲۱/۲۹ e	۲۱/۱۴ e	۲۳/۵۹ f	۲۵/۹۳ f	۲۸/۰۲ f
		نی	۱۸/۵۳ c	۲۴/۷۳ c	۲۴/۳۶ c	۲۷/۳۸ d	۲۹/۷۵ d	۳۲/۰۵ d
		وتیور	۱۸/۱۳ c	۲۲/۳۸ d	۲۲/۴۲ d	۲۴/۸۲ e	۲۷/۰۷ e	۲۸/۹۵ e
	۳۰	نی	۲۱/۱۳ b	۲۶/۴۰ b	۲۶/۱۴ b	۲۸/۶۴ c	۳۰/۹ c	۳۳/۰۴ c
		وتیور	۱۰/۴۵ e	۱۳/۱۹ d	۱۴/۴۵ e	۱۶/۱۷ f	۱۸/۰۰ f	۱۹/۱۶ f
		نی	۱۱/۷۵ d	۱۴/۲۸ c	۱۶/۵۵ c	۱۸/۸۱ d	۲۰/۱۷ d	۲۱/۹۷ d
ریشه	۳۰	وتیور	۱۲/۴۳ c	۱۴/۲۱ c	۱۵/۱۹ d	۱۷/۱۲ e	۱۸/۶۶ e	۱۹/۸۳ e
		نی	۱۳/۵۱ b	۱۵/۵۴ b	۱۸/۴۷ b	۱۹/۳۷ c	۲۱/۳۰ c	۲۲/۵۱ c

* میانگین هایی که برای هر تیمار آزمایشی و هر جزء دارای حروف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۸. مقدار فسفر کل اندازه گیری شده در شاخساره و ریشه گیاه در دو مدت زمان ۱۵ و ۳۰ روز (میلی گرم بر گرم ماده خشک)

شاخساره / ریشه	زمان ماند (روز)	نوع گیاه	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم	ماه ششم
شاخساره	۱۵	وتیور	۱/۴۰ d	۲/۴۷ f	۴/۲۴ f	۶/۲۲ f	۸/۳۲ d	۱۰/۲۶ e
		نی	۱/۶۰ c	۲/۷۸ e	۴/۶۷ e	۶/۷۰ e	۸/۸۷ c	۱۰/۷۷ d
		وتیور	۱/۶۳ c	۳/۲۵ c	۵/۱۸ c	۷/۳۱ c	۹/۳۸ b	۱۱/۰۷ c
	۳۰	نی	۱/۶۹ b	۳/۷۵ b	۵/۶۳ b	۷/۸۰ b	۹/۸۷ a	۱۱/۵۵ b
		وتیور	۰/۹۴ d	۱/۷۷ e	۲/۹۶ e	۴/۲۸ f	۵/۶۷ f	۷/۰۰ e
		نی	۱/۰۹ c	۱/۹۱ d	۳/۲۳ d	۴/۶۷ e	۵/۹۹ e	۷/۴۹ d
ریشه	۳۰	وتیور	۱/۱۱ c	۲/۲۵ c	۳/۸۲ b	۵/۰۸ c	۶/۵۹ c	۷/۹۳ b
		نی	۱/۲۳ b	۲/۵۹ b	۳/۸۴ b	۵/۵۰ b	۶/۹۱ b	۷/۷۵ bc

* میانگین هایی که برای هر تیمار آزمایشی و هر جزء دارای حروف مشترک هستند، طبق آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی داری ندارند.

واریانس در سطح ۵ درصد بررسی شد. نتایج تجزیه واریانس مربوط به TP شاخساره و ریشه نشان داد، تفاوت معنی داری بین تیمارهای زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز در سطح ۵ درصد وجود دارد. همچنین مطابق با نتایج جدول ۳ در زمان ماند ۱۵ روز بین تیمارهای گیاه تفاوت معنی داری بین کاشت وتیور و نی

وجود دارد که بیشترین مقدار جذب فسفر کل توسط شاخساره در تیمار کاشت گیاه نی رخ داده است. مانند زمان ماند ۱۵ روز در زمان ماند ۳۰ روز نیز در تمام مدت آزمایش در هر شش ماه بهترین عملکرد جذب فسفر کل توسط شاخساره در تیمار کاشت گیاه نی رخ داده که تفاوت معنی داری با سایر تیمارهای

پژوهش در سطح ۵ درصد دارد. از دلایل جذب زیاد نیتروژن و فسفر توسط گیاه نی می‌توان به رشد سریع شاخساره گیاه نی و سیستم جذب و تجمع نیتروژن و فسفر در برگ و ساقه گیاه نی اشاره کرد. بیشترین مقدار جذب TP توسط شاخساره و ریشه در تیمار کاشت گیاه نی در مدت زمان ۳۰ روز در ماه ششم با مقادیر به ترتیب شاخساره و ریشه ۱۱/۵۵ و ۷/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و کمترین مقدار نیز مربوط به تیمار کاشت گیاه وتیور در زمان ماند ۱۵ در ماه ششم با مقادیر به ترتیب شاخساره و ریشه ۱۰/۲۶ و ۷/۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با سایر تیمارهای کشت دارند. نکته قابل توجه در خصوص جذب فسفر کل مانند نیتروژن کل توسط شاخساره و ریشه دو گیاه و تیور و نی عملکرد بهتر گیاه نی در جذب بیشتر فسفر کل در شاخساره گیاه است که تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد با گیاه وتیور در هر دو زمان ماند ۱۵ و ۳۰ روز دارد. عملکرد بهتر گیاه نی نسبت به وتیور در پژوهش براون و همکاران (۶) و دیلوکا و همکاران (۸) نیز گزارش شده است. مقادیر اندازه‌گیری‌شده در ماه ششم نشان‌دهنده مقادیر تجمعی در طول ۶ ماه است که با مقایسه بین شاخساره و ریشه گیاه مشخص است که جذب و تجمع فسفر در شاخساره بیشتر از ریشه در هر دو گیاه است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه تأثیر تیمارهای مختلف از جمله نوع گیاه و زمان ماند بر پارامترهای شیمیایی پساب را در طول ۶ ماه مورد

بررسی قرارداد. BODs در تمام ماه‌ها، تیمارهای شاهد (بدون گیاه) بیشترین سطح را داشتند و تیمار کاشت گیاه وتیور و نی در زمان ماند ۳۰ روز با کاهش ۶۷ و ۶۵ درصد بیشترین مقدار را در ماه ششم کاهش دادند؛ به‌طوری که هرچه رشد گیاهان بیشتر می‌شد، عملکرد آنها در کاهش BODs بهتر بود. نتایج COD نشان داد که تیمارها با زمان ماند ۳۰ روز عملکرد بهتری در کاهش COD نسبت به ۱۵ روز داشتند. دو گیاه وتیور و نی در ماه ششم باعث کاهش ۸۵ و ۸۴ درصدی مقدار COD شدند؛ هرچند که این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود. در تمام ماه‌ها گیاه نی عملکرد بهتری نسبت به وتیور در جذب نیتروژن و فسفر کل از خود نشان داد که این تفاوت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. گفتنی است گیاه وتیور به دلیل داشتن سیستم ریشه گسترده و افشان و تبادل بیشتر اکسیژن از عمق به سطح عملکرد قابل قبولی در کاهش BODs و COD نسبت به نی داشته و گیاه نی نیز به دلیل رشد سریع و نیاز بیشتر به مواد مغذی برای رشد ساقه و برگ در زمان کوتاه، عملکرد بهتری در جذب نیترات و فسفات پساب نسبت به وتیور داشته است. همچنین در هر دو تیمار وتیور و نی عملکرد جذب نیتروژن و فسفر توسط شاخساره بیشتر از ریشه بوده و این تفاوت نیز در سطح ۵ درصد کاملاً معنی‌دار می‌باشد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از سیستم جزایر شناور و کشت دو گیاه وتیور و نی به صورت هیدروپونیک برای کاهش نیترات و فسفات پساب و جذب نیتروژن و فسفر، عملکرد بسیار خوبی دارد و استفاده از این دو گیاه برای تصفیه پساب شهری با سیستم جزایر شناور توصیه می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abedi Koupai, J., V. Arab-Nasrabadi and A. Sheykhan. 2022. Study the performance of hybrid constructed wetland with pumice substrate and vetiver plants in urban wastewater treatment. *Journal of Water and Soil Science* 26(1): 1-12.
2. Abedi Koupai, J., M. A. Jamalain and M. M. Dorafshan. 2020. Improving Isfahan landfill leachate quality by phytoremediation using vetiver and phragmites plants in green space irrigation. *Journal of Water and Wastewater Ab va Fazilab* 31(3): 101-111 (in Farsi).

3. Abedi Koupai, J., S. Sagheian-Nejad, S. Mostafazadeh-Fard, and K. Behfarnia. 2016. Reduction of urban storm-runoff pollution using porous concrete containing iron slag adsorbent. *Journal of Environmental Engineering* 142(2): 04015072
4. Badejo, A. A., D. O. Omole and J. M. Ndambuki. 2018. Municipal wastewater management using *Vetiveria zizanioides* planted in vertical flow constructed wetland. *Applied Water Science* 8: 1-6.
5. Bouchaala, L., N. Charchar, N. Grara, I. B. Amor, S. Zeghoud, H. Hemmami ... and S. Bellucci. 2025. Assessing the Efficiency of *Phragmites australis* in Wastewater Treatment as a Natural Approach to Water Quality Improvement. *Sustainability* 17(3): 1102.
6. Brown, M. T., T. Boyer, R. J. Sindelar, S. Arden, A. Persaud and S. Brandt-Williams. 2018. A floating island treatment system for the removal of phosphorus from surface waters. *Engineering* 4(5): 597-609.
7. Coundoul, F., A. K. Ndiaye, A. Deme and A. T. Armegnol. 2023. A Comparative Analysis of Vetiver and Typha in Ecological Wastewater Treatment Using a Horizontal Flow Constructed Wetlands in Rural Setting. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment* 13(1): 67-82.
8. Di Luca, G. A., M. M. Mufarrege, H. R. Hadad and M. A. Maine. 2019. Nitrogen and phosphorus removal and Typha domingensis tolerance in a floating treatment wetland. *Science of the Total Environment* 650: 233-240.
9. Dorafshan, M. M., J. Abedi-Koupai, S. Eslamian and M.J. Amiri. 2023. Vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.): A hyper-accumulator crop for bioremediation of unconventional water. *Sustainability* 15(4): 3529.
10. Galanopoulos, C., E. Sazakli, M. Leotsinidis and G. Lyberatos. 2013. A pilot-scale study for modeling a free water surface constructed wetlands wastewater treatment system. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 1(4): 642-651.
11. Halverson, N. 2004. Review of constructed subsurface flow vs. surface flow wetlands (No. WSRC-TR-2004-00509). Savannah River Site (SRS), Aiken, SC (United States).
12. Hemalatha, G., S. G. Uma and S. Muthulakshmi. 2021. Sewage water treatment using vetiver grass. *Materials Today: Proceedings* 46: 3795-3798.
13. Junio, C. J., P. A. Ontar, V. J. Rutaquio, J. M. Manlapaz, E. B. Braga, C. Tugade and C. J. Pescos. 2024. Horizontal-flow constructed wetlands by phytoremediation using vetiver grass, common reed, and canna lily as tertiary wastewater treatment for the reduction of pollutant concentrations of ammonia, phosphates, and nitrates. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
14. Ky, N. M., N. T. Q. Hung, N. C. Manh, B. Q. Lap, H. T. T. Dang and A. Ozaki. 2020. Assessment of nutrients removal by constructed wetlands using Reed Grass (*Phragmites australis* L.) and Vetiver Grass (*Vetiveria Zizanioides* L.). *Journal of the Faculty of Agriculture Kyushu University* 65(1): 149-156.
15. Mahmoudpour, M., S. Gholami, M. Ehteshami and M. Salari. 2021. Evaluation of phytoremediation potential of vetiver grass (*chrysopogon zizanioides* (L.) robertry) for wastewater treatment. *Advances in Materials Science and Engineering* 2021(1): 3059983.
16. Nikolić, L., I. Maksimović, D. Džigurski, M. Putnik-Delić B Ljevnaić-Mašić. 2023. Removal of nitrogen and phosphorus by aboveground biomass of *Phragmites australis* in Constructed Wetland System under the conditions of temperate continental climate. *International Journal of Phytoremediation* 25(4): 483-492.
17. Panday, V. and K. Ananda Babu. 2023. The Potential of Phytoremediation to Treat Different Types of Wastewater-A Review. *Nature Environment and Pollution Technology* 22(2): 969-975
18. Pavlineri, N., N. T. Skoulidakis and V.A. Tsihrintzis. 2017. Constructed floating wetlands: a review of research, design, operation and management aspects, and data meta-analysis. *Chemical Engineering Journal* 308: 1120-1132.
19. Sellal, A., R. Belattar, H. Khither, S. Boucheffa, N. Touati, N. Boussoulalim and A. Diafat. 2024. Total Nitrogen, Nitrate and Ortho-Phosphate Elimination Effect in Common Reed and Typha angustifolia from Wastewater. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 21(6): 31-37.
20. Sharma, R and P. Malaviya. 2024. Enhanced textile wastewater remediation in *Phragmites karka*-based vertical flow constructed wetlands using *Phragmites*-derived biochar. *Chemosphere* 366: 143529.
21. Xian, Q., L. Hu, H. Chen, Z. Chang and H. Zou. 2010. Removal of nutrients and veterinary antibiotics from swine wastewater by a constructed macrophyte floating bed system. *Journal of Environmental Management* 91(12): 2657-2661.