

بررسی عملکرد گیاه وتیور در حذف مواد مغذی از فاضلاب

مرتی خالصی دوست^۴

شروین جمشیدی^۲

مریم وخشوری^۳

عباس اکبرزاده^۱

پذیرش ۹۲/۱۲/۴

(دریافت ۹۲/۷/۱)

چکیده

هدف از این پژوهش، امکان‌سنجی رشد گونه گیاهی وتیور به صورت هیدروپونیک در محیط پساب و ارزیابی میزان حذف و پالایش ترکیبات مغذی (نیترژن و فسفر) در این شرایط بود. به این منظور، پایلوتی با حجم مفید ۶۰ لیتر ساخته شد و به مدت سه ماه به‌طور هفتگی و ناپیوسته از پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک غرب تهران تغذیه شد. نتایج حاصل نشان داد که گیاه وتیور می‌تواند در این شرایط، رشد قابل ملاحظه‌ای (تا ۱۳۰ سانتی‌متر) داشته باشد. همچنین به‌طور متوسط کارآمدی حذف ترکیبات نیترژن کل، فسفر کل و میزان اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی در زمان ماند ۴ روزه به ترتیب ۹۱، ۹۷ و ۷۵ درصد بود. در صورت استفاده از وتیور به‌عنوان واحد تصفیه تکمیلی، زمان ماند باید حداقل ۴۸ ساعت باشد زیرا ترکیبات آمونیوم، نیتريت و فسفات که عوامل محدودکننده استانداردهای تخلیه پساب و استفاده مجدد از آنها هستند، در این مدت با کارایی بیش از ۹۵ درصد حذف می‌شوند. در این دوره مطالعاتی، میزان جذب نیترژن و فسفر کل در برگ‌ها به ترتیب ۱۷ و ۲/۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک و در ریشه‌های گیاه به ترتیب ۱۳ و ۱/۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک بود.

واژه‌های کلیدی: گیاه‌پالایی، فاضلاب، علف وتیور، مواد مغذی

Evaluation of the Performance of *Vetiveria zizanioides* in Removing Nutrients from Wastewater

A. Akbarzadeh¹

M. Vakhshouri²

Sh. Jamshidi³

M. Khalesidoost⁴

(Received Sep. 23, 2013 Accepted Feb. 23, 2014)

Abstract

The aim of this study was to evaluate the growth of *Vetiveria zizanioides* under hydroponic conditions and its efficiency in removing nitrogen and phosphorus compounds from wastewaters. For this purpose, a pilot plant was constructed with a net volume of 60 liters which was intermittently fed for three months with the effluent from a domestic wastewater treatment plant. It was found that Vetiver exhibited a significant capability for living in polluted waters under hydroponic condition as evidenced by the growth of its leaves to 130 cm. Moreover, the average values of total nitrogen, total phosphorus, and biochemical oxidation demand (BOD) removal efficiencies over four days of retention time were 91%, 97%, and 75%, respectively. If used as a tertiary treatment unit, the plant needs a minimum retention time of two days to allow adequate time for the removal of such vital compounds as Ammonia and Phosphate by 95%, which is the typical standard limit for wastewater reuse or free discharge. Finally, it was observed that the total values of nitrogen and phosphorus absorbed in the leaves were 17 and 2.3 (mg/gr dry weight) while the same elements absorbed in the roots were measured as 13 and 1.8 (mg/gr dry weight), respectively.

Keywords: Phytoremediation, Wastewater, Vetiver Grass, Nutrients.

1. Assist. Prof., Water Research Institute, Water and Wastewater Research Center, Tehran
2. MSc in Environmental Engineering, Azad Islamic University, Bushehr Science and Research Branch, Bushehr
3. PhD Student and Researcher at Water Research Institute, Water and Wastewater Research Center, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 7700919 sh.jamshidi@ut.ac.ir
4. Research Staff Member, Water Research Institute, Water and Wastewater Research Center, Tehran

- ۱- استادیار، عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات آب، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، تهران
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات بوشهر
- ۳- دانشجوی دکترا، کارشناس پژوهشی مؤسسه تحقیقات آب، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، تهران (نویسنده مسئول) ۷۷۰۰۹۱۹ (۰۲۱) sh.jamshidi@ut.ac.ir
- ۴- کارشناس پژوهشی مؤسسه تحقیقات آب، مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، تهران

گلخانه‌ای انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که علف وتیور به غلظت‌های بیش از ۵۹ میلی‌گرم در لیتر نیتروژن و ۳۶ میلی‌گرم در لیتر پتاسیم برای رشد نیازی ندارد. همچنین در شرایط مختلف شوری خاک، غلظت بهینه فسفر به‌عنوان کود شیمیایی در حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر عنوان شده است. در این شرایط، آستانه تحمل گیاه نسبت به شوری خاک در حدود ۳ تا ۶ دسی‌زیمنس بر متر عنوان شده است [۶]. در پژوهشی دیگر مشاهده شده است که گیاه نمی‌تواند بیش از ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر شوری را تحمل کند و عملکرد آن در حذف مواد مغذی متوقف می‌شود، درحالی‌که گیاه نی گونه تیفا آنگوستیفولیا^۲ در این محدوده قادر به فعالیت است [۷].

ترانگ و هارت در سال ۲۰۰۱ در یک گزارش، کلیه کاربردها و عملکردهای علف وتیور را در تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی در کشور تایلند و استرالیا مورد بررسی قرار دادند. به‌عنوان مثال، عنوان شده است که غلظت فسفر کل^۳ بین ۶۸ تا ۹۹ درصد و نیتروژن کل^۴ بین ۳۴ تا ۷۴ درصد می‌تواند از آب رودخانه حذف شود [۸]. همچنین گیاه قادر است علف‌کش‌ها را به دام انداخته و ترکیبات فسفر، نیتروژن کل، کلیفرم گوارشی^۵ و شرشیاکلی^۶ را به ترتیب به میزان ۹۰، ۹۴، ۴۴ و ۹۱ درصد از فاضلاب خام حذف نماید. به‌علاوه می‌توان انتظار داشت که مقدار اکسیژن محلول بیش از ۷ برابر شود. در این شرایط، میزان مصرف آب توسط گیاه در حدود ۱/۱ لیتر در روز گزارش شده است [۸]. همچنین در تصفیه فاضلاب صنعتی کشتارگاه دام، در مدت زمان ۴ روز، میزان حذف فسفر، آمونیاک و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی^۷ به ۲۰، ۱۸ و ۶۸ درصد می‌رسد [۸ و ۹]. به‌علاوه، در زمینه پالایش خاک و شیرابه محل‌های دفن زباله، مشاهده شده است که در مدت زمان حدود ۶۵ روز، غلظت فسفر کل، نیتروژن کل و اکسیژن خواهی شیمیایی^۸ به ترتیب تا ۷۰، ۷۰، ۸۰ و ۷۰ درصد کاهش می‌یابد [۸]. همچنین نتایج حاصل از این روش در تصفیه پساب خروجی از سپتیک تانک‌ها نشان می‌دهد که دو ردیف کاشت وتیور می‌تواند بالغ بر ۸۰ درصد از غلظت نیتروژن کل معادل ۳۷ تا ۴۰ کیلوگرم در هکتار در هفته از بار آلی ورودی بکاهد که در ۵ ردیف این میزان به ۹۹ درصد نیز می‌رسد. در این حالت میزان حذف فسفر کل محدودتر بوده و حداکثر به ۶۰ درصد معادل یک دهم تا یک سوم بار نیتروژن ورودی می‌رسد [۸]. در یک بررسی در کشور ویتنام نشان داده شده

یکی از راهکارهای کارآمد در پالایش آب‌های آلوده همچون پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی استفاده از فرایند گیاه‌پالایی است. گیاه‌پالایی یا تصفیه بیولوژیک توسط گیاهان به‌عنوان یک روش مفید برای بهبود وضعیت خاک و آب‌های آلوده به سرعت در حال گسترش است و این به‌دلیل کارایی بالقوه آن در کاهش هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری از واحدهای تصفیه، کاهش میزان اثرات نامطلوب محیط زیستی، کاهش مشکلات ناشی از مدیریت پسماندها و عدم نیاز به دانش بالا در زمینه راه‌اندازی و بهره‌برداری از آنها است [۱ و ۲].

در سال‌های اخیر، استفاده از علف وتیور به‌دلیل قابلیت‌های این گیاه در زمینه‌های مختلف افزایش یافته است. وتیور گیاه مناطق حاره و بومی هندوستان است که از سازگاری بالایی در شرایط مختلف محیطی برخوردار است [۲ و ۳]. گونه غالبی از آن که عموماً برای کاشت بر سایر موارد برتری دارد، وتیور زیزانیودز^۱ نامیده می‌شود که از سرعت رشد خوبی برخوردار است و بوته مترامکی را به‌وجود می‌آورد، به‌طوری‌که قطر پایه هر بوته گیاه حدود ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن به ۵۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. به‌طور کلی اهمیت و قابلیت علف وتیور در ریشه‌های مترامک و عمیق آن است که می‌تواند ذرات خاک را به‌طور پیوسته کنار یکدیگر نگه داشته و موجب افزایش مقاومت کششی آن شود [۳]. نتایج تحقیقات در دهه گذشته نشان می‌دهد که وتیور قادر است در تثبیت خاک سواحل رودخانه‌ها و مهار سیلاب‌ها مورد استفاده قرار گیرد [۴]. مطابق نتایج تجربی، میانگین مقاومت کششی آزمایش شده ریشه‌های گیاه وتیور برابر ۷۵ مگاپاسکال، معادل یک ششم مقاومت فولاد نرم است. بنابراین نشان داده شده است که کاشت وتیور در خاک می‌تواند در محدوده ۵۰ سانتی‌متری خود تا ۹۰ درصد بر مقاومت برشی آن بیفزاید [۳]. در همین زمینه، بنا به نتایج تجربی میکوفسکی و همکاران در سال ۲۰۰۵ مشخص شد که حداکثر نیروی کششی مورد نیاز به‌ازای ۱۰ سانتی‌متر جابجایی گیاه صورت می‌پذیرد و مقاومت کششی با ارتفاع گیاه و رشد برگ‌ها رابطه‌ای مستقیم دارد. به‌عنوان مثال، علف وتیور به طول ۱۲۰ سانتی‌متر نیازمند ۶۰۰ نیوتن نیرو است. با این وجود، تأکید شده است که شرایط آب و هوایی می‌تواند بر رشد اولیه گیاه و مقاومت نهایی آن تأثیر داشته باشد [۵].

به‌منظور شناسایی جنبه‌های کشت و پرورش گیاه در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک (غیر معتدل و مرطوب) و خاک‌های شور، ادلشتاین و همکاران در سال ۲۰۰۹ پژوهشی را در شرایط

^۱ Vetiveria Zizanioides

^۲ Typha Angustifolia

^۳ Total Phosphorus (TP)

^۴ Total Nitrogen (TN)

^۵ Fecal Coliforms

^۶ E. Coli

^۷ Biochemical Oxidation Demand (BOD)

^۸ Chemical Oxidation Demand (COD)

است که گیاه و تیور کاشته شده در خاک می تواند فلزاتی نظیر روی و مس را با کارایی بیش از ۹۵ درصد و آرسنیک و سرب را تا ۷۰ درصد حذف نماید. این در حالی است که در این بررسی میزان حذف نیتروژن و فسفر به ترتیب به ۷۵ و ۵۵ درصد رسیده است [۳].

همچنین در یک پژوهش، عملکرد میزان رشد علف و تیور در شرایط تغذیه از ترکیبات نیتروژنی غیر آلی در مقایسه با سه گونه گیاهی آبی پیرامون حذف مواد مغذی و قابلیت جذب مورد مقایسه قرار گرفته است. بر اساس مشاهدات تجربی و آزمایشگاهی چنین نتیجه می شود که میزان نرخ رشد نسبی در حدود ۰/۰۲ در واحد روز بوده و گیاه در خصوص جذب یون آمونیوم تمایل بیشتری نسبت به نیترات از خود نشان می دهد [۱۰]. به علاوه مطابق نتایج تحقیق انجام شده در کشور چین، پیشنهاد شده است از این گیاه در کنار سایر گونه ها در نزارهای مصنوعی به منظور پالایش پساب واحدهای پرورش ماهی استفاده شود [۱۱].

با این وجود، تحقیقات صورت گرفته پیرامون عملکرد گیاه و تیور به صورت آبی (هیدروپونیک) بسیار محدود است. در یک بررسی در محیط گلخانه ای و در مقیاس پایلوت پیرامون عملکرد گونه های بومی علف و تیور در کشور تایلند و در پالایش فاضلاب با غلظت پایین مواد آلی و به صورت سکوها های شناور نشان داده شده است که میزان حذف اکسیژن خواهی بیوشیمیایی، نیتروژن و فسفر کل به ترتیب در زمان ماند ۷ روز به طور متوسط به ۶۲، ۹۰ و ۲۷ درصد می رسد که البته در زمان های ماند کوتاه تر نظیر سه روز، به نصف کاهش می یابد [۱۲]. این در حالی است که پیش از این، فلاحی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مدت زمان ۲ روز به ۹۵ درصد حذف نیترات از محیط آبی در مقیاس گلدان برای گیاه نی دست یافته اند [۱۳].

در کشور سنگاپور، عملکرد علف و تیور به صورت آبی و به منظور ارزیابی میزان کارایی آن در حذف مواد مغذی در منابع آب سطحی مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق نتایج آزمایشگاهی و میدانی مشاهده می شود که میزان حذف نیتروژن و فسفر کل توسط گونه تیور به ترتیب ۴۱ درصد و ۱۹ درصد است که نسبت به گونه تیفا آنگوستیفولیا کمتر است (۶۸ و ۱۹ درصد). همچنین ضریب واکنش حذف ترکیبات نیتروژن و فسفر برای علف و تیور به ترتیب ۰/۶۴ و ۰/۶۶ در واحد روز تعیین شده است که این میزان برای گیاه نی به ترتیب ۰/۶۸ و ۰/۸۷ در واحد روز است. هر چند گونه تیور در مقایسه با نی از عملکرد کمتری در جذب مواد مغذی برخوردار است، اما نشان داده شده است که در زمینه رشد برگ و به ویژه ریشه نسبت به گیاه نی پیشتر بوده به طوری که در یک دوره سه ماهه، می تواند میزان وزن خشک

به ازای طول برگ ها را به کمتر از ۰/۳۸ گرم بر متر کاهش دهد در حالی که این رقم برای نی در حدود ۱/۳۳ است. به علاوه مشاهده شده است که میزان جذب نیتروژن در برگ ها به ۳/۲ درصد می رسد که نسبت به نی ۱/۱ درصد بیشتر است. اما میزان جذب فسفر در برگ ها ۰/۲ درصد گزارش شده که به میزان ۰/۱ درصد کمتر از نی است. بنابراین در کل از نظر عملکردی، گیاه نی مناسب تر گزارش شده و مساحت کمتری را برای ساخت سکوها های شناور به خود اختصاص می دهد. با این وجود، کارایی علف و تیور نقض نشده و حتی برای پالایش منابع آب سطحی نیز پیشنهاد شده است؛ زیرا وجود ریشه های متراکم و سرعت رشد نسبی بالای آن می تواند مصارف دیگر آن نظیر تأمین علوفه دام، مسائل زیباشناختی و افزایش اکسیژن محلول آب را به خوبی فراهم آورد [۱۴].

با توجه به نتایج مطالعات نظری می توان چنین بیان کرد که تصفیه انواع فاضلاب شهری و صنعتی توسط گیاه و تیور در دنیا انجام شده است اما اکثر آنها در محیط خاک و با جریان زیر سطحی بوده اند. مطالعات انجام گرفته به صورت آبی نیز در شرایط آب و هوایی استوایی و معتدل و مرطوب (مانند کشور سنگاپور) انجام شده است. لذا کاربری گیاه با هدف بهبود کیفی منابع آبی و پالایش پساب به عنوان واحد تکمیلی و یا شناور در دریاچه ها برای حذف مواد مغذی به ویژه در کشور از نوآوری برخوردار بوده و کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین هدف از این پژوهش، امکان سنجی رشد گیاه و تیور به صورت آبی در محیط پساب و ارزیابی کارایی آن در حذف و پالایش ترکیبات مغذی (نیتروژن و فسفر) در این شرایط در مقیاس پایلوت بود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- انتخاب گونه گیاهی

انتخاب گونه علف و تیور محدود به نتایج مطالعات نظری و گونه تحت کشت در ایران است. به منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی و پایلوتی، علف و تیور از نوع تیور زیزانیودز که مطابق مطالعات نظری، کار آمد، سازگار با محیط و بدون اثرات ثانویه محیط زیستی است به عنوان گونه مورد مطالعه استفاده شد. همچنین این گونه در ایران کشت شده و برای کنترل فرسایش سواحل رودخانه در منطقه خوزستان و البته ایجاد فضای سبز و حفاظت از تپه ها و جنگل ها در شهر تهران در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرد [۱ و ۲].

بنابراین گیاه مورد نیاز از مرکز آموزش گل و گیاه شهرداری تهران (منطقه ۴) به صورت جوان و بالغ برای انجام مطالعات در پاییز و زمستان ۱۳۹۱ تهیه شد. قابل ذکر است که نمونه های مذکور پس از تکثیر به مدت یک سال در محیط خاک باغبانی و در گلدان و

در فضای آزاد نگهداری شده‌اند. تصویر گیاهان مذکور در روزهای آغازین مطالعات آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه‌ای از گونه اخذ شده در زمستان ۱۳۹۱ پیش از انجام مطالعات

۲-۲- مشخصات پایلوت

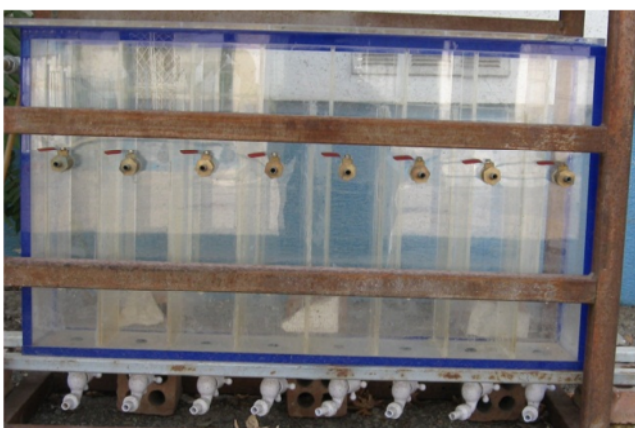
به منظور انجام مطالعات مورد نظر، گیاهان در پایلوت جایگذاری شده و با تغذیه به صورت جریان ناپیوسته راهبری شدند. پایلوت نیمه صنعتی به حجم کلی ۶۰ لیتر به صورت مکعب مستطیل و از جنس پلکسی گلاس در سال ۱۳۹۱ مطابق شکل ۲ ساخته و در محل مؤسسه تحقیقات آب تهران نصب و راه اندازی شد. با در نظر گرفتن ضخامت تیغه‌های قائم پلکسی گلاس جداکننده ۶ میلی متری و دیواره‌های ۱۰ میلی متری نگهدارنده سیستم، ابعاد کلی پایلوت شامل طول، عرض و ارتفاع به ترتیب برابر ۹۱، ۱۷ و ۵۲ سانتی متر بود. این پایلوت‌ها هر کدام شامل دیواره‌های داخلی بودند تا حجم مشخصی معادل ۱۲ لیتر را برای هر کدام از گیاهان (۵ مورد) فراهم نمایند و البته مانع از تماس ریشه‌های گیاهان به یکدیگر و کاهش دقت آزمایش‌ها شوند. ارتفاع دیواره‌ها ۴۰ سانتی متر و از جنس پلکسی گلاس بودند و ۱۰ سانتی متر از آن به صورت سرریز بود تا پساب، قابلیت انتقال به واحدهای مجاور را داشته باشد و تعادل نسبی تراز آب برقرار شود. همچنین در ارتفاع ۳۰ سانتی متری از بستر پایلوت، برای بررسی کیفیت پساب در دوره‌های مختلف، شیر نمونه‌گیری در نظر گرفته شد. به علاوه در بستر هر اتاقک، شیر تخلیه تعبیه شد تا تخلیه و شستشوی آن میسر شود.

۲-۳- مشخصات پساب

یکی دیگر از اهداف این پژوهش، ارزیابی میزان کارایی حذف نیتروژن و فسفر از آب با استفاده از علف و تیور در شرایط تغذیه از پساب واقعی بود. به این منظور، از خروجی واحد زلال‌ساز ثانویه و پیش از واحد کلرزنی تصفیه‌خانه شهرک غرب تهران برای تغذیه

پایلوت استفاده شد. علت اینکه از فاضلاب خام برای تغذیه گیاهان استفاده نشد، وجود بار کربنی آلی و COD بالاتر و دیگر ترکیبات مانند مواد معلق در فاضلاب ورودی بود، در حالی که تمرکز این پژوهش بر حذف ترکیبات مغذی نیتروژن و فسفر بود. به عنوان نمونه، مطابق جدول ۱، کیفیت فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه‌خانه شهرک غرب مورد مقایسه قرار گرفت. بر این اساس مشاهده می‌شود که ترکیبات از ته موجود در پساب خام بیشتر از نوع آلی بوده و با پارامتر نیتروژن کلدال کل^۱ نشان داده می‌شود، اما پساب خروجی به دلیل وجود فرایندهای متعارف لجن فعال، بیشتر از نوع ترکیبات نیترا ته بوده و به صورت معدنی است. از آنجایی که هدف اصلی این پژوهش نیز کاهش ترکیبات مواد مغذی از آب‌های آلوده (مانند آب‌های سطحی و پساب‌های خروجی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب) است، لذا انتخاب نمونه‌گیری از پساب تصفیه‌شده و کلرزنی نشده می‌تواند سایر عوامل مزاحم و تأثیرگذار را به طور نسبی از فرایند آزمایش و نتیجه‌گیری حذف نماید.

همچنین مطابق مطالعات نظری، گیاه تیور مشابه سایر گونه‌های گیاهی مورد استفاده در نزارهای مصنوعی، نیازمند زمان ماند بالا و جریان هیدرولیکی نسبتاً آرام است و انتظار می‌رود از قابلیت هوادهی و حذف مواد مغذی برخوردار باشد [۲]. لذا پیشنهاد شده است پیش از ورود به منابع آب پذیرنده و در خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به عنوان واحد تصفیه تکمیلی مورد استفاده قرار گیرد [۱۵]. بنابراین ارزیابی قابلیت کاهش بار نیتروژن و فسفر از پساب خروجی اهمیت و توجه بیشتری نسبت به فاضلاب خام دارد. شکل ۳ میزان نوسانات متوسط غلظت ماهانه پارامترهای نیتروژن کل، فسفات، BOD و دما را در پساب خروجی تصفیه‌خانه شهرک غرب نشان می‌دهد.



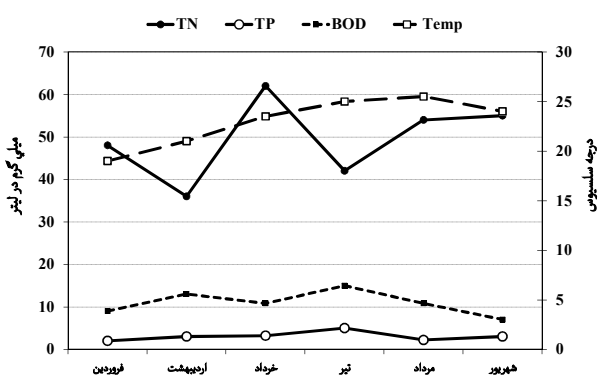
شکل ۲- نمایی از پایلوت جهت جانمایی گیاهان و تیور به صورت شناور

^۱ Total Kjeldal Nitrogen

جدول ۱- مشخصات متوسط فاضلاب خام، پساب خروجی از تصفیه‌خانه و پساب اولیه مورد آزمایش

پارامتر	مقدار		
	پساب اولیه مورد آزمایش	پساب تصفیه شده	فاضلاب خام
دمای فاضلاب (درجه سلسیوس)	۲۱	۲۰/۷	۲۲/۱
اکسیژن محلول (میلی‌گرم در لیتر)	< ۲	< ۲	< ۲
pH	۷/۷	۷/۷	۸
جامدات محلول (میلی‌گرم در لیتر)	۴۵۷	۴۶۲/۵	۵۰۲/۳
جامدات معلق (میلی‌گرم در لیتر)	۱۱	۱۰/۲	۲۱۹/۸
هدایت الکتریکی (میکروزیمنس در سانتی‌متر)	۷۳۶	۷۵۰	۸۰۴
اکسیژن خواهی بیوشیمیایی (میلی‌گرم در لیتر)	۱۲	۱۲/۱	۱۸۷/۵
اکسیژن خواهی شیمیایی (میلی‌گرم در لیتر)	-	۲۴/۵	۲۲۵/۸
نیترژن کلدال کل (میلی‌گرم در لیتر)	-	-	۳۲/۹
نیترژن آمونیاکی (میلی‌گرم در لیتر)	۰/۵۳	۰/۶	-
نیتريت (میلی‌گرم در لیتر)	۰/۹۸	۱	-
نیترات (میلی‌گرم در لیتر)	۴۶/۸	۴۶/۶	-
فسفات (میلی‌گرم در لیتر)	۲/۹	۲/۹	۷/۸

ترکیبات مواد مغذی نیترژنی در برگ و ریشه‌های گیاه مطابق روش استاندارد و پس از خشک کردن و توزین بخش‌های جدا شده صورت گرفت [۱۰].



شکل ۳- نوسانات کیفی پساب تصفیه شده تصفیه‌خانه شهرک غرب تهران در دوره مطالعه

۲-۵- مراحل انجام مطالعات

پیش از انجام مطالعات پایلوتی به صورت شناور در آب، در فروردین ماه، گیاهان مورد آزمایش پس از هرس کامل از محیط

۲-۴- نمونه برداری و انجام آزمایش‌ها

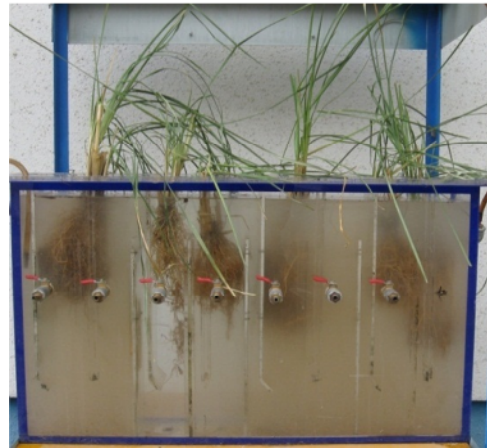
مطابق با رویکرد پژوهش، اندازه‌گیری غلظت ترکیبات نیترژن شامل نیترات، نیتريت و آمونیوم و ترکیبات فسفر (فسفات) در اولویت قرار داشت و به‌طور مداوم و هفتگی اندازه‌گیری می‌شد. نمونه‌گیری نیز به‌طور یکنواخت از تمامی شیرهای موجود صورت گرفت و مخلوط آنها آزمایش شد. سایر پارامترهای کیفی از جمله میزان BOD، میزان هدایت الکتریکی^۱، اکسیژن محلول در آب^۲، pH، کربنات و بی‌کربنات، غلظت یون‌های فلئوئوراید و سولفات نیز آزمایش شد. به‌علاوه، در ارزیابی پساب خروجی از تصفیه‌خانه شهرک غرب، مؤلفه‌های جامدات معلق کل^۳ و COD نیز اندازه‌گیری شد. همچنین در این پایلوت، تمامی بررسی‌های آزمایشگاهی در دمای محیط انجام شد و کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه معتمد محیط زیست مؤسسه تحقیقات آب و بلافاصله پس از نمونه‌گیری مطابق با روش استاندارد انجام شد [۱۶]. در کنار پارامترهای مذکور، اندازه‌گیری‌های طول ریشه و برگ گیاه برای ارزیابی میزان رشد به‌صورت دستی انجام شد. همچنین تعیین میزان غلظت جذب شده

¹ Electrical Conductivity (EC)

² Dissolved Oxygen (DO)

³ Total Suspended Solids (TSS)

خاک گلدان خارج و در ظرف حاوی آب قرار داده شدند تا به مرور با این محیط تطابق یافته و گل و لای محصور بین ریشه‌ها خارج شود. پس از سه هفته، جوانه‌های ساقه تمامی گیاهان رشد قابل ملاحظه‌ای نموده و ریشه‌های جدید گسترش یافتند. بنابراین بررسی‌های پایلوتی از اوایل اردیبهشت ۱۳۹۲ آغاز شد و تا مرداد برای دوره‌ای سه ماهه ادامه یافت. در این مرحله، هر هفته و پیش از افزودن فاضلاب، کل پایلوت تخلیه و شستشو شده و سپس فاضلاب به پایلوت اضافه شد. میانگین مشخصات کیفی فاضلاب ورودی در جدول ۱ و نتایج آزمایش‌ها و نمونه‌های حاصل از پایلوت در بخش نتایج آمده است. شایان ذکر است به‌طور موازی، تعدادی از گیاهان در محیط خاک ماسه و رس گلدان و در دمای اتاق به‌عنوان نمونه شاهد نگهداری شدند تا میزان رشد آنها در مقایسه با گونه‌های مورد استفاده در شرایط آبی قابل اندازه‌گیری و مقایسه باشد. این گیاهان نیز در این مدت، هفته‌ای یک مرتبه به‌طور مشابه از پساب تصفیه‌خانه آبیاری شدند (شکل ۴).



شکل ۴- وضعیت گیاهان پیش از تزریق پساب و انجام مطالعات آزمایشگاهی (اردیبهشت)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- میزان رشد گیاه

گیاهان به‌طور طبیعی در عمل فتوسنتز، نور خورشید را به‌وسیله اندام سبز خود که حاوی کلروفیل است جذب نموده و آب و مواد غذایی لازم را از طریق ریشه‌ها دریافت می‌کنند. به این ترتیب، می‌توانند مواد مورد نیاز را برای رشد در اندام‌های مربوطه مانند ریشه، برگ و یا ساقه ذخیره نمایند. استفاده از این ذخایر به مرور موجب افزایش طول ریشه‌ها و برگ‌ها شده و این اندام را متراکم‌تر و قطورتر می‌سازد. واضح است پس از یک دوره معین، رشد بیش از حد برگ‌ها که مصرف‌کنندگان اصلی این ذخایر غذایی هستند، باعث می‌شود نسبت مصرف به میزان جذب مواد و انرژی افزایش یافته و دیگر گیاه نتواند مقدار مورد نیاز را فراهم آورد. بنابراین

بخش‌هایی از گیاه رو به زردی می‌گیرند. هرس گیاهان در این دوره می‌تواند سرعت رشد گیاه را حفظ نماید [۱۷ و ۱۸]. از اهداف اصلی این پژوهش، امکان‌سنجی رشد گیاه و تیور در محیط آبی با تغذیه از فاضلاب بود. در همین راستا و در دوره مطالعه، ارتفاع برگ و ریشه گیاه پس از هرس کردن و از ابتدای مطالعات مورد اندازه‌گیری قرار گرفته و ثبت شد. این مقدار متوسط ارتفاع بلندترین برگ برای پنج گیاه و تیور مستقر در پایلوت است. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، این گیاه در شرایط استقرار در محیط آبی از رشد بالایی برخوردار است و می‌تواند به‌طور متوسط در طی دوره صد روزه تا ۱۳۰ سانتی‌متر از حداکثر ارتفاع برگ برخوردار باشد. به‌عبارت دیگر، در این دوره گیاه به‌طور متوسط در هر روز ۱/۱ سانتی‌متر رشد دارد. این در حالی است که علاوه بر افزایش طول برگ، تراکم ریشه (شامل طول ریشه، تعداد و قطر آنها) و برگ‌ها (شامل تعداد و قطر آنها) نیز افزایش یافته است (شکل ۶).

با بررسی دقیق‌تر نمودار شکل ۵ چنین نتیجه گرفته می‌شود که تغذیه از پساب روند با ثباتی را نشان می‌دهد. شیب نمودار در شرایط آبیاری با پساب در ۷۵ روز اول تقریباً ثابت و در حدود ۱/۳۷ 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 ریشه‌ها در بخش‌های مربوطه مانند برگ‌ها یا ریشه‌ها ذخیره شده و سپس برای رشد مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجایی که فاضلاب خروجی از تصفیه‌خانه دارای ترکیبات آلی و معدنی بوده و گیاه می‌تواند از تمامی ترکیبات (مانند آمونیوم، نیتريت و نترات) بهره‌مند شود، احتمالاً قادر خواهد بود روند ذخیره‌سازی و مصرف را به‌طور پیوسته حفظ نماید. همچنین، حداکثر طول ریشه گیاهان آبیاری شده با پساب در انتهای دوره مطالعه به‌طور متوسط برابر ۴۶/۷ سانتی‌متر بود. همین رشد مناسب ریشه و تراکم آن می‌تواند در روند رشد برگ‌ها اثرگذار باشد. به‌طور مشابه در تحقیقات انجام شده در کشور سنگاپور مشاهده شد که در یک دوره سه ماهه، میزان ارتفاع گیاه و تیور از حدود ۲۵ سانتی‌متر به ۲ متر افزایش یافته است که علت رشد بیشتر گیاه می‌تواند شرایط تغذیه به‌صورت پیوسته از منبع آبی و آب و هوای معتدل و استوایی منطقه باشد. شایان ذکر است در همین شرایط و حوضه آبریز، میزان رشد تیفا آنگوستیفولیا نیز از حدود ۳۰ سانتی‌متر تا ۲ متر در دوره کوتاه‌تر دو ماهه بوده است [۱۴].

همچنین نتایج مقایسه میزان رشد برگ‌های گیاه و تیور در این دوره با نمونه شاهد کاشته شده در محیط خاک نشان می‌دهد که میزان رشد گیاه در نمونه شاهد تفاوت بارزی با نمونه رشد کرده در شرایط



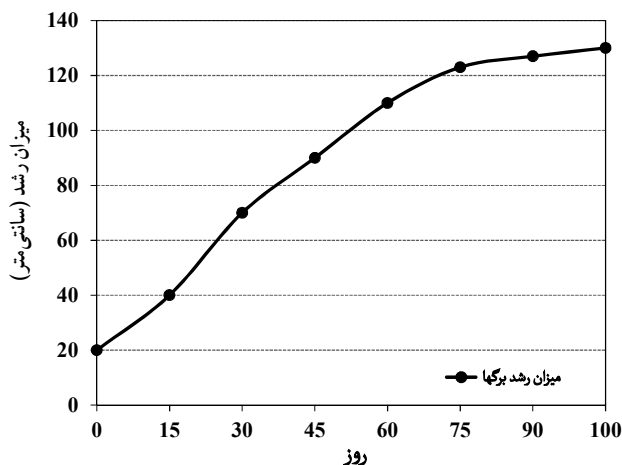
شکل ۷- نمایشی از میزان رشد برگ‌ها در نمونه شاهد در طول دوره مطالعه (از راست به چپ: هفته دوم خرداد، هفته سوم تیر و هفته پایانی مرداد)

۲-۳- میزان حذف ترکیبات از محیط پساب

از دیگر اهداف این پژوهش، ارزیابی میزان حذف ترکیبات مغذی (نیتروژن و فسفر) از محیط آبی در شرایط تغذیه از پساب به صورت ناپیوسته بود. در این زمینه، حذف مواد مغذی از آنجا اهمیت دارد که اولاً در اکثر تصفیه‌خانه‌های متعارف فاضلاب شهری، فرایند لجن فعال متعارف که بیش از تمامی واحدها مورد استفاده قرار می‌گیرد، نمی‌تواند ترکیبات نیتروژن و فسفر را به طور کارآمد حذف نماید و این مورد هزینه‌های زیادی را به منظور حفاظت از محیط زیست، رعایت ضوابط استاندارد و بالطبع ارتقای تصفیه‌خانه در پی خواهد داشت [۲]. به علاوه زهاب‌های زمین‌های کشاورزی و مراتع که بار آلی از ته بالایی دارند، می‌توانند به طور گسترده و غیرنقطه‌ای منابع آب پذیرنده (به ویژه منابع آب سطحی) را آلوده نمایند [۲]. همچنین منابع آب سطحی و زیرزمینی در کشور به ترتیب با مشکل تغذیه‌گرایی^۱ و تجمع نترات مواجه‌اند که هر دو از انتشار بار نیتروژن و فسفر ناشی می‌شوند [۲]. استفاده از فرایند گیاه‌پالایی به صورت آبی می‌تواند نه تنها از هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری واحدهای تصفیه بکاهد بلکه قادر است این ترکیبات را از محیط نیز حذف نماید. در این پژوهش میزان حذف از محیط آبی در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین هدف فرعی در این بخش، شناسایی میزان حذف ترکیبات در طول یک هفته (به صورت روزانه) بود تا روند فرایند، نحوه مصرف ترکیبات مختلف و از همه مهم‌تر تحلیل زمان ماند هیدرولیکی بهینه میسر باشد؛ زیرا تعیین زمان ماند می‌تواند به عنوان نتیجه فنی این پژوهش برای بخش صنعت به منظور استفاده از تیور به عنوان واحد فرایندی تکمیلی در تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد.

همانطور که در شکل ۸ قابل مشاهده است، در طی چهار شبانه‌روز (معادل ۹۶ ساعت)، میزان غلظت نیتروژن کل از مقدار متوسط ۴۷ میلی‌گرم در لیتر به کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر رسید. در زمان ماند ۴ روزه کارآمدی حذف مجموع ترکیبات نیتروژن به بیش از ۹۱

شناور در آب دارد (شکل ۷). در انتهای دوره مطالعه، برگ‌های نمونه شاهد حداکثر به ارتفاع ۱۵۰ تا ۱۶۰ سانتی‌متر رسید که در حدود ۱۶ درصد بیشتر از شرایط آبیاری با پساب در محیط آبی بود. این میزان تفاوت احتمالاً به دلیل توانایی بیشتر رشد گیاه جذب مواد مغذی و شرایط مناسب محیطی است.



شکل ۵- روند متوسط رشد برگ‌ها در دوره تغذیه از پساب



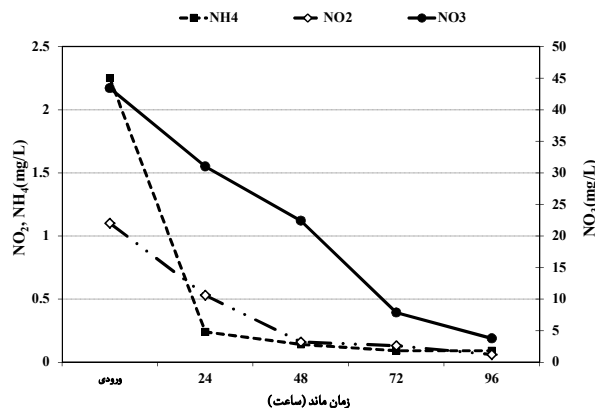
شکل ۶- نمایشی از میزان رشد برگ‌ها (بالا) و ریشه‌ها (پایین) در ماه‌های پایانی انجام مطالعات (مرداد) در محیط پایلوت

¹ Eutrophication

طرفی، می‌توان چنین برآورد نمود که هر گیاه بالغ در این مطالعه روزانه معادل ۰/۰۱۷ گرم از بار فسفر در محیط آبی کم نماید. همچنین در این نمودار، نشان داده شده است که گیاه پس از یک روز، به دلیل انجام عملیات فتوسنتز، با مصرف مواد مورد نیاز مانند آمونیم و فسفات و تولید اکسیژن، از هوادهی بالایی در محیط آبی حداقل تا سه برابر افزایش دهد. این قابلیت هوادهی برای منابع آب سطحی و استخرهای پرورش ماهی حیاتی بوده و می‌تواند خودپالایی رودخانه‌ها را به میزان چشمگیری افزایش دهد. همچنین این هوادهی از ایجاد لایه‌های بی‌هوازی در مخازن و انتشار بوی نامطبوع جلوگیری می‌کند.

به منظور انتخاب زمان ماند بهینه با هدف کاهش بار نیتروژن و فسفر در شرایط ناپیوسته و با هدف بهبود منابع آب پذیرنده، از استانداردهای تخلیه پساب استفاده شد. با توجه به اینکه محدوده تعیین کننده استانداردهای تخلیه پساب و استفاده مجدد از آن، به ویژه پیرامون فاضلاب‌های شهری، حداکثر غلظت مجاز آمونیم، نیتريت و فسفات بوده و محدوده نیترات نامعین است و از آنجایی که گیاه و تیور در شرایط کاشته شده در محیط آبی مطابق این مطالعه می‌تواند تنها در یک روز (۲۴ ساعت) پارامترهای مذکور را با کارایی بالا حذف نماید و اکسیژن محلول را افزایش دهد، چنین پیشنهاد می‌شود که از این گیاه با مدت زمان ماند معادل ۴۸ ساعت و به عنوان تصفیه تکمیلی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب استفاده شود. در این شرایط کارایی حذف ترکیبات نیتروژن کل و فسفات به ترتیب حداقل معادل ۵۱ و ۹۶ درصد قابل انتظار است. بررسی‌های دقیق تر نشان می‌دهد که در طی دو روز زمان ماند، نسبت غلظت آمونیم به نیترات محلول از ۰/۰۵ به ۰/۰۰۶ (تقریباً ۱۰ برابر) کاهش می‌یابد. این نکته می‌تواند تنها ناشی از قابلیت بالای گیاه و تیور در جذب آمونیم و یا پدیده نیترات زایی^۱ ناشی از هوادهی بالای گیاه باشد [۱۰]. این روند با ساختار حذف فسفات از محیط متفاوت بوده و مشاهده شده است که غلظت نیتروژن کل نسبت به فسفات محلول افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان انتظار داشت رشد جلبک‌ها به ویژه سیانوباکترها در محیط آبی کاهش یابد [۲].

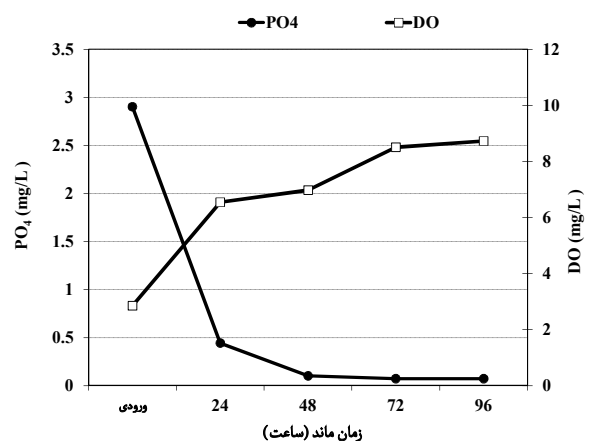
در کنار اندازه‌گیری غلظت ترکیبات مواد مغذی، در شرایط تغذیه از پساب تصفیه‌شده، پارامترهای دیگر نیز سنجش شد. بر این اساس و همان‌طور که نمودار شکل ۱۰ نشان می‌دهد، پس از چهار روز میزان کاهش BOD محلول به ۷۵ درصد می‌رسد که می‌تواند ناشی از جذب بخشی از مواد آلاینده، تجمع باکتری‌ها در ریشه‌های گیاه و هوادهی بالای آن باشد [۱۹]. شایان ذکر است که در مدت زمان



شکل ۸- غلظت ترکیبات نیتروژن محلول در زمان‌های ماند مختلف

درصد رسید. همچنین به صورت تخمینی می‌توان چنین برآورد نمود که هر گیاه بالغ در این مطالعه قادر است هر روز معادل ۰/۱۳ گرم از بار نیتروژن پساب بکاهد.

از روند موجود در نمودار شکل ۸ چنین نتیجه گرفته می‌شود که گیاه و تیور در اولین روز (زمان ماند معادل ۲۴ ساعت)، باعث می‌شود غلظت آمونیم موجود در پساب ناشی از جذب توسط گیاه و هوادهی نسبتاً به‌طور کامل (حدود ۹۶ درصد) کاهش یابد. در مدت ۴۸ ساعت، نیتريت نیز با راندمان بالایی (حدود ۹۵ درصد) حذف شد اما روند مصرف نیترات و شیب کاهش غلظت آن در محیط نسبتاً ثابت بوده و در طی چهار روز، غلظت محلول آن به صورت خطی به کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر رسید.



شکل ۹- غلظت فسفات و اکسیژن محلول در زمان‌های ماند مختلف

میزان حذف فسفات و افزایش اکسیژن محلول در آب در طی روزهای هفته در نمودار شکل ۹ نشان داده شده است. بر این اساس می‌توان عنوان نمود که غلظت فسفات پس از ۳ روز به زیر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد که معادل ۹۷ درصد کاهش است. البته روند نزولی غلظت فسفات بیشتر در روز اول قابل مشاهده است. از

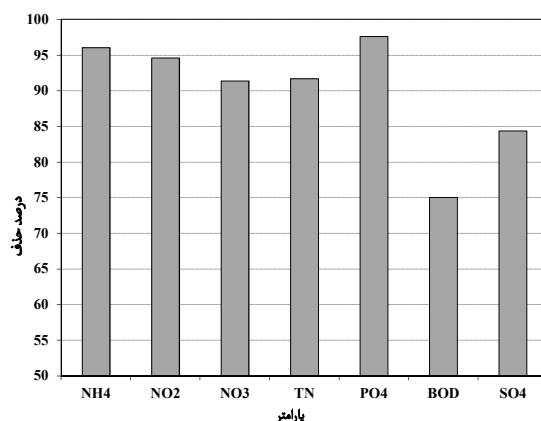
¹ Nitrification

جدول ۲- مقادیر متوسط اندازه‌گیری شده پارامترهای مختلف در محیط آبی

زمان ماند (روز)	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	DO	BOD	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	F ⁻	EC
ورودی	۲/۳ ± ۰/۵۱	۱/۱ ± ۰/۳۲	۴۳/۴ ± ۷/۴۲	۲/۹ ± ۰/۴۶	۱/۸ ± ۱/۲۵	۱۲ ± ۳/۲	۱۸۹/۷ ± ۱۵/۷	۴/۷ ± ۱/۳	۰/۲۵ ± ۰/۰۸	۷۳۶ ± ۱۴
روز اول	۰/۲۴ ± ۰/۰۶	۰/۵۳ ± ۰/۱۴	۳۱/۸ ± ۵/۵	۰/۴۴ ± ۰/۱۲	۵/۵ ± ۱/۵۸	-	۱۸۷/۴ ± ۱۱/۳	۳/۲ ± ۰/۹	۰/۲۴ ± ۰/۰۸	۹۱۵ ± ۲۳
روز دوم	۰/۱۴ ± ۰/۰۵	۰/۱۶ ± ۰/۰۹	۲۲/۷ ± ۴/۱۷	۰/۱ ± ۰/۰۳	۶ ± ۱/۱	-	۱۷۱/۲ ± ۱۳/۱	۲/۳ ± ۰/۶	۰/۲۱ ± ۰/۰۷	۸۲۲ ± ۱۷
روز سوم	۰/۰۹ ± ۰/۰۳	۰/۱۳ ± ۰/۰۵	۸/۱ ± ۱/۴۶	۰/۰۷ ± ۰/۰۲	۷/۵ ± ۱/۷	-	۶۹/۵ ± ۲۸/۴	۰/۸ ± ۰/۱	۰/۱۹ ± ۰/۰۷	۷۶۶ ± ۸
روز چهارم	۰/۰۹ ± ۰/۰۳	۰/۰۶ ± ۰/۰۲	۳/۹ ± ۰/۷۵	۰/۰۷ ± ۰/۰۲	۷/۷ ± ۰/۷	۳/۱ ± ۱/۵	۶۷/۹ ± ۸/۶	۰/۷ ± ۰/۰۸	۰/۱۷ ± ۰/۰۶	۷۶۰ ± ۱۱

به‌علاوه ارزیابی میزان جذب ترکیبات توسط اندام‌های گیاه پس از دوره مطالعه در محیط پایلوت نشان داده است که گیاه و تیور به ترتیب در برگ و ریشه خود به میزان ۱۷ و ۱۳ (میلی‌گرم در گرم وزن خشک) فسفر کل ذخیره نموده است. این بدان معنی است که خاصیت مورفولوژی گیاه به گونه‌ای است که مواد غذایی بیشتری را در برگ‌های خود ذخیره می‌کند. بنابراین هرس کردن آن و یا شرایط آب و هوایی سرد مانند فصل زمستان می‌تواند به ترتیب به افزایش و کاهش جذب مواد مغذی در گیاه بیانجامد. به همین علت است که وجود سایه در درازمدت باعث ضعف گیاه و کاهش کارآمدی آن می‌شود [۳]. همچنین مقدار ترکیبات نیتروژن و فسفر در اندام برگ نمونه شاهد کاشته شده در خاک از تفاوت اندکی برخوردار بوده و به ترتیب به ۱۸ و ۲/۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک می‌رسد. مقادیر محاسبه شده جذب نیتروژن و فسفر در برگ به ترتیب ۱/۷ و ۱۸/۰ درصد بود که در مقایسه با نتایج مطالعات کشور سنگاپور کمتر می‌باشد. جذب کمتر نیتروژن در برگ‌های تیور و پالایش بیشتر آب در مطالعات پایلوتی نسبت به شرایط آزمایش سنگاپور می‌تواند به این علت باشد که شرایط آزمایش به صورت ناپیوسته بوده و محیط پایلوت برای تغذیه پنج گیاه و تیور در طی چهار روز از فقر ماده مغذی نسبت به جریان پیوسته آب برخوردار بوده است. همچنین از آنجایی که جریان متلاطم مشابه شرایط رودخانه در محیط پایلوت وجود ندارد، کاهش غلظت نیتروژن و فسفر در شرایط پایلوت می‌تواند ناشی از رشد گونه‌های باکتریایی بیشتر در محیط اطراف ریشه و فعالیت‌های میکروبی باشد.

هرچند نتایج حاصل از حذف ترکیبات مواد مغذی از آب و جذب آنها در اندام‌های گیاه در این تحقیق، به دلیل وجود شرایط آب و هوایی مختلف، سن گیاه و تغذیه ناپیوسته، نسبت به مطالعات موجود تفاوت کمی دارد، اما روند تغییرات مشابهی داشته و می‌تواند مبنایی برای مطالعات بیشتر در زمینه گیاه‌پالایی به‌ویژه به صورت جریان پیوسته در کشور باشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که استفاده از گیاه و تیور به صورت سکوها‌های شناور در



شکل ۱۰- متوسط درصد حذف پارامترهای مختلف از محیط آبی پس از چهار روز

مانند ۴۸ ساعت، افزایش غلظت اکسیژن محلول تا بیش از ۷ میلی‌گرم در لیتر در سیستم مشاهده شده است و همین عامل می‌تواند موجب افزایش حذف ترکیبات نیتريت و آمونیوم از محیط باشد (جدول ۲). مقادیر متوسط و انحراف معیار اندازه‌گیری شده پارامترها در دوره مطالعه به صورت هفتگی در جدول ۲ آمده است. بر اساس مقادیر انحراف معیار مندرج در این جدول، چنین نتیجه گرفته می‌شود که کاهش این میزان در پارامترهای مختلف در مدت پالایش، می‌تواند نشانگر قابلیت این روش در تعدیل کیفی پساب و افزایش ظرفیت بهره‌برداری در کنترل نوسانات کیفی باشد. این نکته به‌ویژه از نظر رعایت ضوابط محیط زیستی و یا استفاده مجدد از پساب اهمیت دارد.

همچنین مشاهده شده است که ترکیبات دیگر موجود در محیط آبی همچون بیکربنات، سولفات و حتی فلئوراید نیز در طی چهار روز به‌طور متوسط به ترتیب به میزان ۶۴، ۸۵ و ۳۲ درصد کاهش یافته‌اند که احتمالاً به دلیل جذب توسط گیاه است. این نکته قابل توجه است که کاهش غلظت سولفات در شرایط هوایی از محیط آبی می‌تواند احتمال انتشار بو در مخازن سدها و برکه‌ها را کاهش دهد. همچنین میزان هدایت الکتریکی آب در این دوره به‌طور نسبی از نوسان برخوردار بوده است.

موجود را کاهش دهد. این توانایی، کاربری این گیاه را به عنوان واحد تصفیه تکمیلی تصفیه خانه های فاضلاب و یا واحدهای شناور در مخازن و دریاچه های سد در منابع آب سطحی ممکن می سازد. همچنین پیشنهاد می شود که گیاه تیور به منظور پالایش نهایی پساب تصفیه خانه های فاضلاب و با هدف حذف مواد مغذی پیش از ورود به منابع آب سطحی از حداقل زمان ماند معادل دو روز برخوردار باشد تا الزامات مربوط به تخلیه پساب به منابع آب پذیرنده و استفاده مجدد از آنها به ویژه در خصوص پارامترهای آمونیوم، نیتريت و فسفات رعایت شود. از طرفی انجام مطالعات پایلوتی نشان داد که استفاده از فرایند گیاه پالایی با گونه تیور با شرایط اقلیمی و آب و هوایی ایران سازگار است. به علاوه استفاده از این گیاه باعث کاهش هزینه های مربوط به ساخت، بهره برداری و نگهداری از واحدهای تصفیه می شود و به سادگی توسط کارکنان بومی مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین این روش، روشی کارآمد و مقرون به صرفه به منظور ارتقای تصفیه خانه ها با رویکرد حذف مواد مغذی به شمار می رود.

سدها و دریاچه ها و یا به عنوان واحد تکمیلی تصفیه خانه های فاضلاب در نزارهای مصنوعی و در چارچوب فرایند گیاه پالایی مطابق شرایط آب و هوایی تهران امکان پذیر است. در همین راستا، جمشیدی و همکاران در سال ۲۰۱۴ در یک ساختار مدیریتی پیشنهاد نمودند به منظور ارتقای تصفیه خانه های محلی موجود در شهر تهران، از سکوها های شناور حاوی گیاه تیور در مسیل های شهری استفاده شود تا موجب بهبود کیفیت منابع آب سطحی شود [۲۰].

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی از انجام این پژوهش، امکان سنجی رشد گیاه تیور در پساب به صورت هیدروپونیک و ارزیابی میزان رشد گیاه و حذف مواد مغذی از آن بود. بر اساس اهداف این مطالعه و نتایج حاصل از مطالعات می توان چنین نتیجه گرفت که گیاه تیور می تواند به صورت هیدروپونیک در محیط حاوی آب های آلوده به خوبی رشد نماید و با جذب مواد مغذی، ذخیره سازی آنها در ریشه و به ویژه برگ های خود و هوادهی محیط آبی، مقدار مواد مغذی

۵- مراجع

1. Akarzadeh, A., Vakhshouri, M., and Arbabi, M. (2013). "An introduction of *Vetiveria zizanioides* as a novel approach for sustainable development and efficient water resource management." *Proc. 2nd National Conference of Environmental Planning and Conservation*, Hamedan, Iran. (In Persian).
2. Vakhshouri, M. (2013). "Feasibility study of treating contaminated waters with excess nutrients using *Vetiveria* sp." MSc Thesis, Islamic Azad University of Science and Researches, Bushehr, Iran. (In Persian)
3. Troung, P., Van, T., and Pinners, E. (2008). *Vetiver system application: A technical reference manual*, 2nd Ed., Create Space Independent pub. Platform, UK.
4. Chomchalow, N. (2011). "Vetiver research, development and applications in Thailand." *AU Journal of Technology*, 14 (4), 268 - 274.
5. Mickovski, S. B., van Beek, L. P. H., and Salin, F. (2005). "Uprooting of vetiver uprooting resistance of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*)." *Plant and Soil*, 278, 33-41.
6. Edelstein, M., Plaut, Z., Dudai, N., and Ben-Hur, M. (2009). "Vetiver (*Vetiveria zizanioides*) responses to fertilization and salinity under irrigation conditions." *J. of Environmental Management*, 91, 215-221.
7. Klomjek, P., and Nitorisavut, S. (2005). "Constructed treatment wetland: A study of eight plant species under saline condition." *Chemosphere*, 58, 585-593.
8. Truong, P., and Hart, B. (2001). *Vetiver system for wastewater treatment*, Technical Bulletin No. 2001/2. Pacific Rim Vetiver Network, Office of the Royal Development Projects Board, Thailand.
9. Liao, X. (2000). "Studies on plant ecology and system mechanisms of constructed wetland for pig farm in south China." PhD Thesis, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong, China.
10. Jampeetong, A., Brix, H., and Kantawanichkul, S. (2012). "Effects of inorganic nitrogen forms on growth, morphology, nitrogen uptake capacity and nutrient allocation of four tropical aquatic macrophytes, *Salvinia culcullata*, *Ipomoea aquatica*, *Cyperus involucratus* and *Vetiveria zizanioides*." *Aquatic Botany*, 97, 10-16.

11. Minghui, L., Wen, Z., Yu, X., and Yongsheng, G. (2011). "Study on removal efficiencies of pollutant from constructed wetland in aquiculture wastewater around Poyang lake." *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2444-2448.
12. Boonsong, K., and Chansiri, M. (2008). "Domestic wastewater treatment using Vetiver grass cultivated with floating platform technique." *AU Journal of Technology*, 12 (2), 73-80.
13. Fallahi, F., Ayati, B., and Ganjidoust, H. (2012), "Lab scale study of nitrate removal by phytoremediation". *J. Water and Wastewater*, 81, 57-65. (In Persian).
14. Chua, L., Tan, S.B.K., Sim, C.H., and Kumar Goyal, M. (2012), "Treatment of baseflow from an urban catchment by a floating wetland system." *Ecological Engineering*, 49, 170-180.
15. Akbarzadeh, A., Jamshidi, S., and Vakhshouri, M. (2013). "Feasibility study of upgrading wastewater treatment plants using *Vetiveria* sp." *Proc. 3rd International Conference on Environmental Planning and Management*, Tehran, Iran. (In Persian).
16. APHA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 24th Ed., American Public Health Association, Washington D.C.
17. Landmeyer, J. E. (2012). *Introduction to phytoremediation of contaminated groundwater*, Springer Pub., New York.
18. Anderson, T. A., Gutherie, E. A., and Walton, B.T.(1993). "Bioremediation in the rhizosphere." *Environmental Science and Technology*, 27, 2630-2636.
19. Dushenkov, V., Nanda Kumar, P. B. A., Motto, H., and Raskin, I. (1995). "Rhizofiltration: The use of plants to remove heavy metals from aqueous streams." *Environmental Science and Technology*, 30, 1239-1245.
20. Jamshidi, S., Ardestani, M., and Niksokhan, M. H. (2014). "Upgrading wastewater treatment plants based on reuse demand, technical and environmental policies (a case study)." *Environmental Energy and Economics International Research*, (In Press).