Archive of SID
Original Paper
doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160

Journal of Water and Wastewater, Vol. 33, No. 1, pp: 54-64

Investigation of Nitrate Removal from Zarjoub River Water of Rasht Using a Hybrid Wetland System

M. Ranjbari-Kohi[1], S. E. Hashemi Garmdareh[2], M. Varavipour[3], M. Navabian[4]

1. Former Graduate Student in Irrigation and Drainage, Dept. of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Dept. of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
(Corresponding Author) Sehashemi@ut.ac.ir
3. Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran
4. Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran

(Received June 28, 2021 Accepted Oct. 27, 2021)

To cite this article:
Ranjbari-Kohi, M., Hashemi Garmdareh, S. E., Varavipour, M., Navabian. M. 2022. "Investigation of nitrate removal from Zarjoub river water of Rasht using a hybrid wetland system" Journal of Water and Wastewater, 33(1), 54-64. Doi: 10.22093/wwj.2021.289491.3160. (In Persian)

Abstract

With the influx of agricultural, industrial and hospital pollutants into surface and groundwater, human health and other living organisms are facing a serious threat. Zarjoub River is one of the most polluted rivers in the country, which passes through the center of Rasht and all kinds of dangerous pollutants such as nitrate, phosphate and dangerous heavy metals flow into it. Artificial wetlands are one of the low-cost and environmentally friendly wastewater treatment methods that have received a lot of attention today. In this study, the use of artificial wetlands in sequential using three different plant species of phragmites, lemna and vetiver with two different arrangements to remove nitrate in autumn of 2019 and summer of 2020 has been investigated. The results showed that the average percentage of nitrate reduction by two plant treatments was 73% and 68%, and for the control treatment it was 35%, which indicates the effect of plants in wetlands. Also, the result showed that the amount of nitrate reduction from the effluent was directly related to temperature changes and growth status of plants. The results showed that the use of hybrid wetlands can have a good removal efficiency for pollutants compared to their individual use, but the difference in plant arrangement in wetlands, although statistically significant at a probability level of 1%, had little effect on the nitrate removal process on effluent.

Keywords: Pollution, Wastewater, Hybrid Wetlands, Removal Efficiency, Plant Specie.

www.SID.ir

Archive of SID

doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۱، صفحه: ۶۴-۵۴

بررسی میزان حذف نیترات از آب رودخانه زرجوب رشت با استفاده از یک سیستم تالاب هیبریدی

مرتضی رنجبری کوهی[۱]، سید ابراهیم هاشمی گرم‌دره[۲]، مریم وراوی‌پور[۳]، مریم نوابیان[۴]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران
Sehashemi@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(دریافت ۱۴۰۰/۴/۷ پذیرش ۱۴۰۰/۸/۵)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:
زنجبری کوهی، م.، هاشمی گرم‌دره، س. ا.، وراوی‌پور، م.، نوابیان، م.، ۱۴۰۱، "بررسی میزان حذف نیترات از آب رودخانه زرجوب رشت با استفاده از یک سیستم تالاب هیبریدی" مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۱)، ۶۴-۵۴. **Doi: 10.22093/wwj.2021.289491.3160**

چکیده

با سرازیر شدن آلودگی‌های کشاورزی، صنعتی و بیمارستانی به آبهای سطحی و زیرزمینی، سلامت انسان و دیگر موجودات زنده با تهدید جدی روبه‌رو شده است. رودخانه زرجوب یکی از آلوده‌ترین رودخانه‌های کشور بوده که از مرکز شهر رشت عبور کرده و انواع آلاینده‌های خطرناک مانند نیترات، فسفات و فلزات سنگین خطرناک به داخل آن سرازیر می‌شود. یکی از روش‌های کم‌هزینه تصفیه پساب و سازگار با طبیعت که امروزه توجه بسیاری به آن شده است تالاب‌های مصنوعی هستند. در این پژوهش کاربرد تالاب‌های مصنوعی به‌صورت متوالی با استفاده از سه گونه گیاهی متفاوت نی، لمنا و وتیور با دو چینش مختلف به‌منظور حذف نیترات طی دو فصل پاییز سال ۱۳۹۸ و تابستان سال ۱۳۹۹ بررسی شد. نتایج نشان داد که میانگین درصد کاهش نیترات توسط دو تیمار دارای گیاه برابر ۷۳ و ۶۸ درصد و برای تیمار شاهد ۳۵ درصد بود که نشان‌دهنده تأثیر گیاهان در تالاب‌ها است. همچنین نتایج نشان داد مقدار کاهش نیترات از پساب ارتباط مستقیم با تغییرات دمایی و وضعیت رشد و نمو گیاهان دارد. نتایج نشان داد کاربرد تالاب‌های هیبریدی می‌تواند کارایی حذف مناسبی برای آلاینده‌ها نسبت به کاربرد منفرد آنها داشته باشد، اما تفاوت در چینش گیاهان در تالاب‌ها اگرچه از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنادار بوده اما این تفاوت تأثیر ناچیزی در فرایند حذف نیترات از پساب داشته است.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، پساب، تالاب‌های هیبریدی، کارایی حذف، گونه گیاهی

۱- مقدمه

طی دهه‌های گذشته، با افزایش روزافزون فعالیت‌های انسانی و جمعیت در سراسر جهان، تولید فاضلاب حاوی مواد خطرناک مختلف مانند فلزات سنگین و ترکیبات آلی افزایش یافته است (Schweitzer and Noblet, 2018).

از سال ۱۹۵۰ بیش از ۱۴۰،۰۰۰ نوع ماده شیمیایی جدید و سموم دفع آفات سنتز شده‌اند که بیش از ۵۰۰۰ محصول در مقدار زیادی در محیط به‌طور گسترده‌ای پراکنده شده‌اند و جامعه جهانی را در معرض خطر قرار داده‌اند (Landrigan et al., 2018).

www.SID.ir

Archive of SID
doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160

یکی از مهمترین این آلاینده‌ها که مقدار آنها امروزه به‌طورگسترده‌ای در منابع آب و خاک در حال افزایش می‌باشد. ترکیبات نیتروژن است. ترکیبات نیتروژنه از راه‌های مختلف مانند تخلیه و دفع فاضلاب‌ها، زباله‌های شهری و فضولات حیوانی و مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار در بخش کشاورزی به منابع آب وارد می‌شوند (Hammer, 1986).

سیستم های صنعتی تصفیه پساب علی‌رغم مزیت هایی که دارند، هزینه اولیه و جانبی زیادی داشته و همچنین به نیروی متخصص برای بهره‌برداری نیاز دارند، بنابراین استفاده از ظرفیت‌های سیستم‌های طبیعی مانند تالاب‌های طبیعی و مصنوعی یکی از کم‌هزینه‌ترین راه‌های تصفیه و حذف آلاینده‌ها به‌خصوص آلاینده‌های نیتراتی از منابع آبی است(Landrigan et al., 2018).

در سال‌های اخیر، استفاده از تالاب‌های مصنوعی به‌عنوان یک سیستم تصفیه برای از بین بردن آلاینده‌های موجود در پساب‌های شهری که به‌شدت برای اکوسیستم‌های آبی مضر هستند، به‌طور فزاینده‌ای گسترش یافته است (Walaszek et al., 2017).

فرایند نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون مکانیسم اصلی چرخه نیتروژن در بیشتر تالاب‌های مصنوعی هستند که در طی این فرایندها آمونیاک در ناحیه هوازی توسط باکتری‌های نیتریفایر به نیترات اکسید تبدیل می‌شود و در نواحی بی‌هوازی و آنوکسیک توسط باکتری‌های دنیتریفایر، نیترات به گاز نیتروژن تبدیل می‌شود (Landrigan et al., 2018).

استفاده از روش‌های تصفیه طبیعی فاضلاب از جمله تالاب‌های مصنوعی، یکی از روش‌های بازیافت آب و فاضلاب به‌خصوص در مناطق گرمسیری بوده و از آنها با اهداف گوناگون تصفیه فاضلاب‌های نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای و نیز با هدف توسعه چشم‌اندازهای اکولوژیکی مناسب استفاده می‌شود (Moazed et al., 2008).

تالاب‌های مصنوعی تقلیدی از فرایندهای پالایش در تالاب های طبیعی هستند که به صورت مهندسی شده برای استفاده از فرایندهای طبیعی درگیر با خاک‌ها و گیاهان تالابی و اجتماعات میکربی چسبیده به آنها برای کمک به تصفیه فاضلاب طراحی و ساخته می‌شوند. همچنین تمام فرایندهای انجام شده در این نوع تالاب‌ها به‌صورت کنترل شده هستند (Vymazal, 2011).

تالاب‌های مصنوعی با جریان عمودی از یک سطح صاف و هموار که در بالای آن بستر و پوشش گیاهی قرار دارد تشکیل شده است و فاضلاب از بالا تغذیه می‌شود و به‌تدریج از میان بستر به‌سمت پایین نفوذ پیدا می‌کند تا اینکه به‌وسیله شبکه زهکش واقع در کف، جمع‌آوری و تخلیه شوند (شکل ۱). تالاب‌های مصنوعی با جریان عمودی را می‌توان به‌صورت دائمی و یا متناوب تغذیه کرد. خارج شدن جریان فاضلاب به‌وسیله شبکه زهکش واقع در کف باعث ایجاد فضای آزاد در کف می‌شود که می‌تواند با هوا پر شود. تغذیه سریع بستر از فاضلاب باعث گیر افتادن هوا و انتقال مناسب اکسیژن و به‌دنبال آن افزایش توانایی عمل نیتریفیکاسیون را موجب می‌شود. انتشار اکسیژن که از هوا به‌دلیل تغذیه متناوب سیستم انجام می‌شود در اکسیژنه کردن بستر فیلتر در مقایسه با انتقال اکسیژن از میان پوشش گیاهی نقش مؤثرتری را ایفا می‌کند (Landrigan et al., 2018).

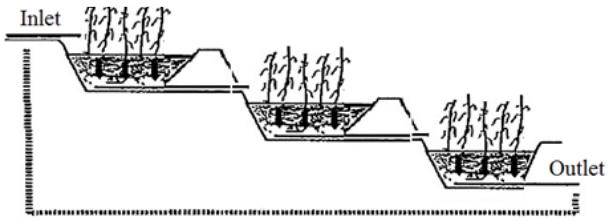

Fig. 1. Schematic of the hybrid wetland systems

شکل ۱- شماتیک سیستم تالاب هیبریدی

در پژوهشی حذف نیترات و فسفات از فاضلاب شهری با استفاده از گیاهان آبزی نی و لویی ارزیابی شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که در کانال‌های حاوی گیاهان نی و لویی مقدار حذف عناصر مغذی نسبت به شاهد بیشتر بوده است (Salehzadeh and Rezaie, 2017).

در پژوهشی دیگر مشخص شد که کاربرد ترکیبی از سه گونه گیاه عدسک آبی (*Lemna minor*، *Landolt Punctate* و *Spirodela polyrhiza*) درحذف نیترات و فسفات از پساب نسبت به یک گیاه منفرد لمنا کارایی بیشتری داشته است (Zhao et al., 2014).

همچنین برکتی و همکاران در پژوهشی نشان دادند که درصد حذف گیاه وتیور در تالاب‌های مصنوعی برای نیترات، BOD_5 و COD به‌ترتیب ۴۴، ۶۵ و ۸۴ درصد بود، درحالی که درصد حذف

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160
Archive of SID

توسط گیاه نی به‌ترتیب برابر با ۷/۷۵، ۵۰ و ۷۲ درصد بود و دلیل حذف بیشتر در تالاب دارای گیاه وتیور مربوط به ریشه‌های عمیق‌تر آن نسبت به گیاه نی است (Barakati et al., 2011).

رودخانه زرجوب شهر رشت به‌دلیل سرازیر شدن مستقیم پساب‌های صنعتی، شهری، کشاورزی، بیمارستانی و مغازه‌ها و بازارچه‌های احداث شده در اطراف آن یکی از آلوده‌ترین رودخانه‌های کشور است (Ghodrati et al., 2007).

این رودخانه یکی از دو رود شهر رشت است و از کوه‌های کم ارتفاع هزارمرز، نیزه‌سر، جوکلبندان و کچا در حدود ۲۵ کیلومتری جنوب شهر رشت سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از منطقه بهدان و چوماچا و پیوستن به رودخانه گوهررود، رودخانه پیربازاررود را تشکیل می‌دهد و سرانجام به بخش شرقی تالاب انزلی وارد می‌شود. این رودخانه با متوسط حجم سالانه ۱۷۳/۴ میلیون مترمکعب یکی از منابع اصلی و مهم تأمین‌کننده آب تالاب انزلی به‌شمار می‌رود. نتایج پژوهش قدرتی و همکاران نشان داده است که غلظت بیشتر آلاینده‌های این رودخانه بسیار بیشتر از حد مجاز است و امکان هیچ‌گونه خودپالایی در این رودخانه وجود ندارد (Ghodrati et al., 2007). به‌دلیل تهدیدات ناشی از آلودگی‌های بسیار زیاد این رودخانه برای سلامت انسان و سایر موجودات این منطقه به‌خصوص برای زیست‌بوم تالاب بین‌المللی انزلی این پژوهش با هدف امکان کاهش آلاینده‌های نیتراته از آب رودخانه زرجوب با استفاده از یک سیستم تالاب مصنوعی متوالی با جریان عمودی و با ترکیب گیاهان مختلف که از نظر فیزیولوژیکی با یکدیگر متفاوت هستند انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محل انجام طرح

این پژوهش طی دو فصل پاییز سال ۱۳۹۸ و تابستان سال ۱۳۹۹ در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان واقع در کیلومتر ۵ آزادراه رشت-قزوین انجام شد.

۲-۲-آماده‌سازی بستر تالاب مصنوعی هیبریدی

سیستم استفاده شده در این پژوهش یک سیستم تالاب متوالی هیبریدی با جریان عمودی بود. با توجه به پژوهش‌های انجام شده و همچنین با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیولوژیک گیاهان (حجم و نوع ریشه) و استحکام کافی مخازن در مقابل سرما و یخبندان و ضربه‌های احتمالی، مخازن استوانه‌ای شکل پلاستیکی با ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و حجم ۶۰ لیتر به‌عنوان مخازن تالاب‌های مصنوعی در نظر گرفته شد. مطابق شکل ۱ جریان ورودی پس از ورود به مخزن اول به‌صورت عمودی از آن عبور می‌کند و پس از زهکش از کف مخزن اولی وارد قسمت بالای سیستم وتلند بعدی می‌شود و در نهایت از کف مخزن آخری تخلیه می‌شود. به‌این منظور سوراخ‌هایی به قطر ۰/۵ سانتی‌متر در بالا و پایین مخازن ایجاد شد و با استفاده از قطعات پنوماتیک و مهره و واشر به‌خوبی آب‌بندی شدند. همچنین در قسمت خروجی هر مخزن با توجه به پیش‌بینی مشکل گرفتگی خروجی‌ها با ذرات خاک از یک صافی فلزی و چسب آکواریوم استفاده شد. برای انتقال آب از هر مخزن به مخزن دیگر از لوله‌های پلاستیکی شفاف با انعطاف‌پذیری قابل‌قبول و قطر یک سانتی‌متر استفاده شد. پس از نصب قطعات برای تست آب‌بندی داخل هر یک از مخازن آب ریخته شد و آب‌بندی آنها بررسی شد تا در صورت وجود نشتی ایرادات برطرف شود.

خاک موردنیاز برای مخازن با توجه به هدف پروژه از خاک اطراف زهکش دانشکده کشاورزی که خاکی با بافت لومی-رسی بود انتخاب و پس از انتقال به محل انجام طرح، ابتدا بر روی زمین پخش و کوبیده شد تا از حالت کلوخه‌ای خارج شود. قبل از پر کردن مخازن، کف هر مخزن به ارتفاع ۵ سانتی‌متر شن درشت که از الک ۱۶ عبور داده شده بود ریخته شد تا جریان آب به سمت خروجی تسهیل یابد و دچار گرفتگی نشود و پس از آن مخزن با خاک آماده شده پر و کوبیده شد.

برای ایجاد گرادیان هیدرولیکی و حرکت آب بین مخزن‌ها از سکوهایی که اختلاف ارتفاع موردنیاز را تأمین می‌کردند استفاده شد. اختلاف ارتفاع مخزن‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شد که خروجی هر مخزن مقابل ورودی مخزن بعدی قرار بگیرد تا جریان آب تسهیل شود (شکل ۱).

۲-۳-کشت گیاهان در بستر تالاب مصنوعی هیبریدی

در این پژوهش از دو گیاه برآمده از آب که یکی دارای سیستم ریشه‌ای افشان (وتیور) و دیگری سیستم ریشه‌ای غده‌ای (نی) و یک گیاه شناور (لمنا) در داخل تالاب‌های مصنوعی ایجاد شده، استفاده شد. پس از تهیه گیاهان در هر مخزن به‌صورت جداگانه

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22092/wwj.2021.289491.3160

به‌ازای هر یک گیاه وتیور ۵ گیاه نی کاشته شد. گیاه لمنا هم که گیاهی شناور بود، طوری روی آب پخش شد که یک سوم سطح مخزن را در بر گیرد و پتانسیل رشد داشته باشد. در این طرح از دو تیمار، با تفاوت در ترتیب قرارگیری گیاهان در وتلندها و با دو تکرار استفاده شد. ترتیب قرارگیری گیاهان در وتلندهای مصنوعی در تیمار اول شامل گیاه نی، لمنا و وتیور و در تیمار دوم گیاه وتیور، لمنا و نی بود. همچنین از یک تیمار شاهد و بدون گیاه برای بررسی تأثیر عدم‌وجود گیاه بر حذف آلاینده‌ها استفاده شد که با اضافه شدن آن، در مجموع تالاب‌ها ۱۵عدد شد (شکل ۲).

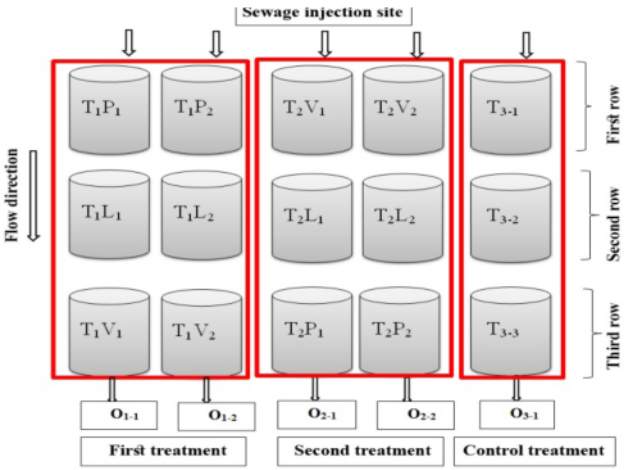

Fig. 2. Schematic of the implemented plan (T_i: i_{th} treatment, P_r: wetlands with straw r repeated plant, L_r: wetlands with lemna plant repeated r, V_r: wetlands with vetiver plant r repeated, $O_{i\text{-}r}$ output, i treatments 1, 2 and 3 , R repeating numbers 1, 2 and 3)

شکل ۲- شماتیک طرح اجرا شده (T_i: تیمار iام، P_r: تالابهای دارای گیاه نی تکرار rام، L_r: وتلندهای دارای گیاه لمنا تکرار rام، V_r: وتلندهای دارای گیاه وتیور تکرار rام، $O_{i\text{-}r}$ خروجی، i تیمار شماره ۱، ۲ و ۳، r شماره تکرار ۱، ۲ و ۳)

۲-۴- آبیاری و نمونه‌برداری از تالاب‌های مصنوعی

پساب موردنیاز برای انجام این پژوهش از رودخانه زرجوب و از یکی از آلوده‌ترین نقاط آن (پل لب‌آب رشت) به‌صورت دستی تهیه و به محل پژوهش انتقال داده شد. در این پژوهش ۶ دوره نمونه‌برداری در فصل پاییز و ۷ دوره نمونه‌برداری در فصل بهار و تابستان انجام شد تا تأثیر درجه حرارت و رشد و نمو گیاهان نیز بر روی حذف نیترات بررسی شود. اولین آبیاری با پساب در پاییز و در تاریخ ۱۳۹۸/۰۸/۰۶ انجام شد و اولین آبیاری در بهار و در تاریخ ۱۳۹۹/۰۳/۲۲ انجام شد. در این پژوهش زمان ماند هیدرولیکی ۷ روز در نظر گرفته شد و بنابراین نمونه‌برداری‌ها به‌صورت ۷ روز یک‌بار انجام شد و در هر بار نمونه‌برداری تالاب های ردیف اول مجدداً آبیاری شدند. نمونه‌برداری ها با استفاده از بطری‌های نمونه‌برداری ۲۵۰ میلی‌لیتری در محل خروجی مخازن انجام شد. پس از تهیه نمونه‌ها بر روی هرکدام نام تیمار و تاریخ نمونه‌برداری یادداشت و نمونه‌ها به آزمایشگاه کیفیت آب دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انتقال داده شدند. نمونه‌ها در آزمایشگاه ابتدا با کاغذ صافی فیلتر و سپس غلظت نیترات موجود درنمونه‌ها با استفاده از روش بروسین سولفانیلیک اسید با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری LANGE مدل DR 3900 اندازه‌گیری شد.

۲-۵- آنالیزهای آماری

برای انجام محاسبات درصد کاهش و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2010 از مقدار اندازه‌گیری شده برای دو تکرار میانگین گرفته شد و تمام محاسبات بر مبنای میانگین اندازه‌گیری شده انجام شد. برای محاسبه درصد کاهش پارامترهای موردنظر از معادله زیر استفاده شد

$$RE = \frac{C_{in}-C_{out}}{C_{in}} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن

C_{in} غلظت ورودی، C_{out} غلظت خروجی و RE کارایی حذف (درصد کاهش) هستند.

علاوه بر این داده‌های اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه‌وتحلیل آماری شدند.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-تغییرات نیترات در تیمار اول

ترتیب قرارگیری گیاهان در تیمار سیستم وتلندهای اول شامل نی، وتیور و لمنا بودند. شکل ۳ مقدار اولیه نیترات و مقدار تقلیل‌یافته آن توسط هر یک از تالاب‌های مصنوعی طی ۱۳ دوره نمونه‌برداری در تیمار اول را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل، مقدار نیترات پساب ورودی بین ۴/۵ تا ۱۵ میلی‌گرم در لیتر در نوسان

www.SID.ir

dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160
Archive of SID

بود که این امر به‌دلیل تهیه چند مرحله‌ای پساب از رودخانه و یکسان نبودن مقدار نیترات طی این مراحل است و به‌همین دلیل در هر آبیاری یک نمونه از ورودی برای اندازه‌گیری پارامترها برداشت شد. مطابق شکل ۳ در دوره‌هایی که مقدار اولیه نیترات زیاد است، مقدار خروجی‌های آن نیز در سطح بالاتری نسبت به سایر دوره‌ها قرار دارند و در دوره‌هایی مانند دوره ۵ و ۱۱ که مقدار نیترات ورودی آنها در سطح پایین‌تری نسبت به سایر دوره‌ها قرار دارد، مقدار خروجی آنها نیز در سطح پایین‌تری قرار دارد. در شکل ۳ متوسط غلظت نیترات خروجی از تالاب‌های نی، لمنا و وتیور برای هر ۱۳ دوره نشان داده شده است. همان‌گونه که پیش از این بیان شد، دوره‌های نمونه‌برداری در دو دوره پاییز و اوایل تابستان انجام شد. به‌صورتی که ۶ دوره آن در فصل پاییز و ۷ دوره در فصل تابستان به انجام رسید. مطابق این شکل در فصل تابستان نسبت به مرحله اول که در فصل پاییز انجام شد فاصله بیشتری بین مقدار ورودی و مقدار خروجی از تالاب های دارای گیاه نی وجود داشته است که می‌تواند به‌دلیل غلظت بیشتر نیترات در ابتدای این چرخه و دسترسی به‌مراتب راحت‌تر گیاه به نیترات در تالاب اول نسبت به تالاب‌های بعدی باشد.

شکل ۴ درصد کاهش کلی حذف نیترات توسط تالاب مصنوعی متوالی شامل هر سه گیاه نی، لمنا و وتیور طی ۱۳ دوره آبیاری را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، مقدار درصد حذف نیترات با روندی قابل‌ملاحظه در مرحله‌ی اول کاهش یافته و در مرحله‌ی دوم یعنی دوره‌ی ششم به بعد افزایش یافته است که نشان‌دهنده تأثیر زیاد دما و رشد و نمو گیاهان تالابی در حذف نیترات است.

شکل ۵ تغییرات دمایی را در طول دوره انجام پژوهش در دو مرحله انجام نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. مطابق نتایج به‌دست آمده و مقایسه درصد حذف نیترات در هر دوره می‌توان بیان کرد که افزایش تغییرات دمایی بر روی درصد حذف نیترات مؤثر بوده زیرا با افزایش دما و به‌تبع آن رشد و نمو گیاهان جذب نیترات از پساب تشدید می‌یابد.

تأثیر دما بر حذف نیتروژن در یک سیستم تالاب مصنوعی هیبریدی (افقی و عمودی) در پژوهشی که در شمال ایتالیا با استفاده از گیاه نی انجام شده بود نتایج مشابهی را نشان داد (Mietto et al., 2015).

فرایندهای جذب نیترات در تالاب شامل جذب گیاهی، جذب میکربی و جذب توسط بستر متخلخل هستند که باعث حذف نیترات از پساب می‌شود. همچنین از عوامل مؤثر دیگر در حذف نیترات واکنش‌های شیمیایی بوده که در میان آنها دنیتریفیکاسیون بسیار حائز اهمیت است. در تالاب‌های مصنوعی شرایط هوازی و بی‌هوازی رخ می‌دهد. وقتی شرایط هوازی حاکم باشد، عمل نیتریفیکاسیون رخ داده و آمونیوم تبدیل به نیتریت و سپس تبدیل به نیترات می‌شود. در شرایط بی‌هوازی عمل عکس رخ داده و در اثر فرایند دنیتریفیکاسیون، نیترات تبدیل به آمونیوم می‌شود (Senzia et al., 2003).

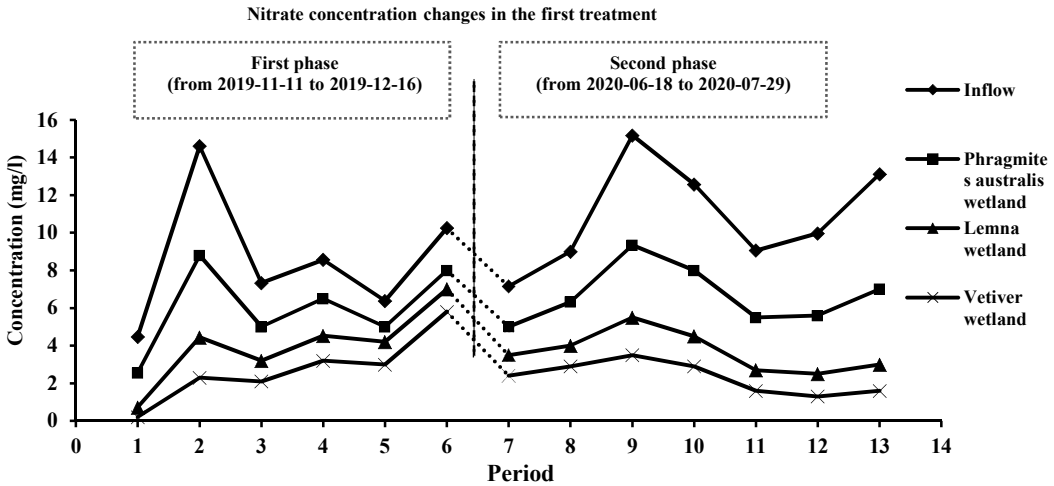

Fig. 3. Nitrate changes in terms of (mg/L) during 13 irrigation periods

شکل ۳- تغییرات مقدار نیترات طی ۱۳دوره آبیاری (mg/L)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160

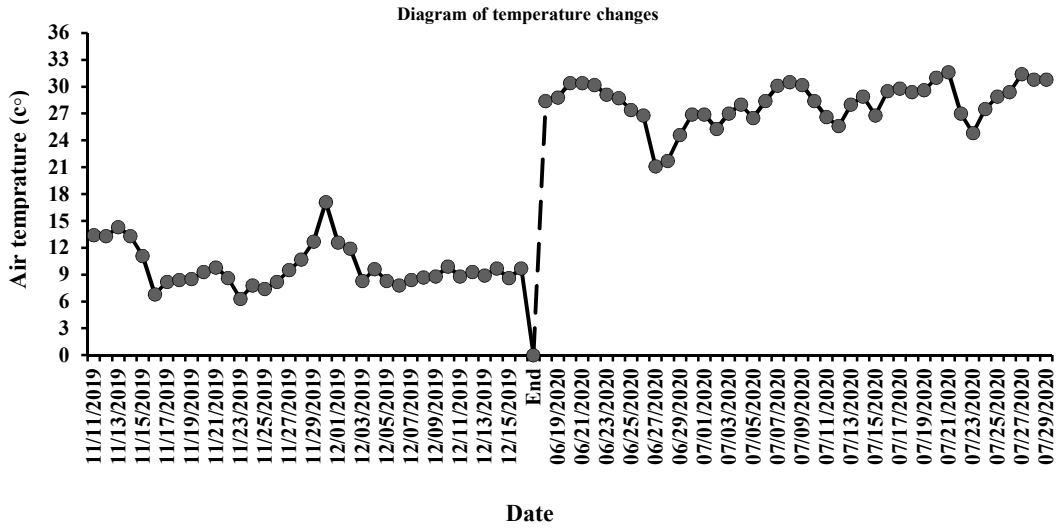

Fig. 4. Temperature changes during the study period

شکل ۴- تغییرات دما در طول دوره پژوهش

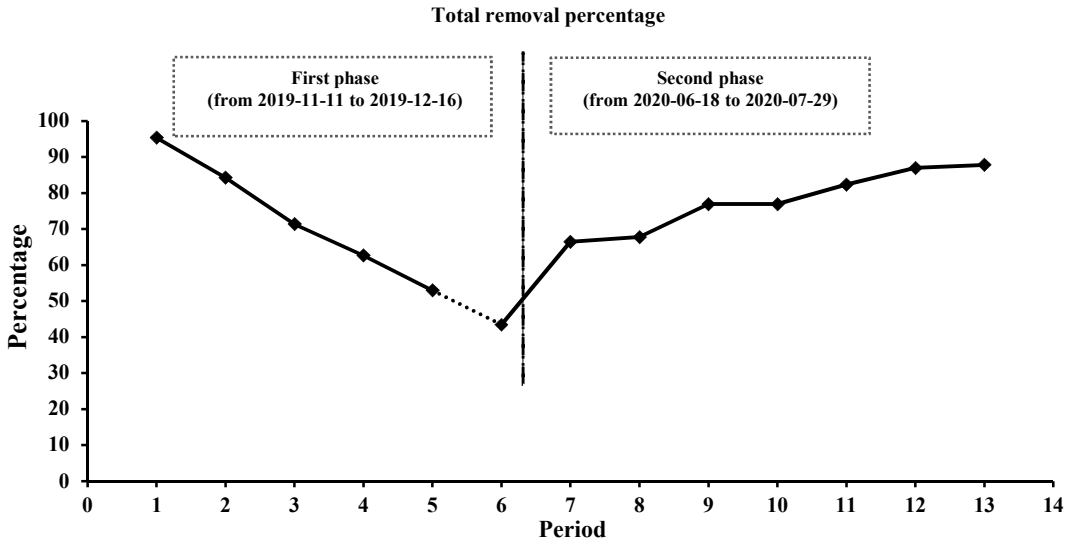

Fig. 5. Percentage of total nitrate reduction during 13 periods in the first treatment

شکل ۵- درصد کاهش کلی نیترات طی ۱۳ دوره در تیمار اول

فعالیت‌های میکربی مربوط به نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون می‌تواند به مقدار قابل‌توجهی در دمای آب زیر ۱۵ یا بیشتر از ۳۰ درجه سلسیوس کاهش یابد (Kuschk et al., 2003).

با توجه به شکل ۶ می‌توان بیان کرد که کارایی حذف نیترات در تیمار اول برای هر سه گیاه تقریباً برابر بوده اما نقش گیاه لمنا و وتیور کمی بیشتر بوده است. مطابق نتایج به‌دست آمده درصد حذف نیترات در تالاب‌های گیاه نی، وتیور و لمنا نسبت به غلظت نیترات ورودی به هر تالاب به‌ترتیب، ۳۴ و ۴۱ و ۳۸ درصد بوده است و درصد کلی حاصل از سه مرحله ۷۳ درصد است که با توجه به حجم گیاهان داخل هر تالاب‌ها درصد حذف قابل‌قبول است. در پژوهشی کیفیت پساب شهری با استفاده از گیاه وتیور در سیستم تالاب مصنوعی بررسی شد که کارایی حذف نیترات برای دو زمان ماند ۳ و ۶ روز به‌ترتیب ۲۰/۸ و ۶۰/۸ به‌دست آمد (Arabnasrabadi, 2017).

www.SID.ir

Archive of SID

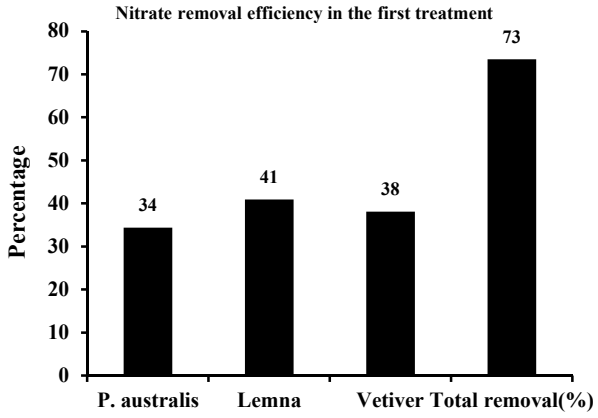

Fig. 6. Average nitrate removed by each wetland (in percentage)

شکل ۶- میانگین نیترات حذف شده توسط هر تالاب (برحسب درصد)

کارایی حذف نیترات به‌طور معمول در تالاب با جریان افقی به‌علت وجود شرایط بی‌هوازی بیشتر از تالاب با جریان عمودی است. دنیتریفیکاسیون فرایند غالب حذف نیترات در شرایط بی‌هوازی است. از فرایندهای جذب نیترات در تالاب می‌توان به جذب توسط گیاه، جذب میکربی و جذب توسط مواد بستر اشاره کرد. در جریان عمودی شرایط هوازی بیشتر حاکم بوده و آمونیوم پساب تبدیل به نیترات می‌شود (Ávila et al., 2013).

۳-۲-تغییرات نیترات در تیمار دوم

در تیمار دوم ترتیب قرارگیری گیاهان در تالاب‌ها برعکس تیمار اول بوده و در آن گیاه‌ها به‌ترتیب وتیور، لمنا و نی کشت شدند. شکل ۷ نمودارهای خروجی روندی مشابه نمودارهای شکل ۳ داشته و با افزایش دما در مرحله دوم فاصله بیشتری بین نمودارها دیده می‌شود که نشان‌دهنده افزایش کارایی حذف نیترات است. با توجه به شکل ۸ مشخص می‌شود که در مرحله اول پژوهش روند حذف نیترات با توجه به سرد شدن هوا و کاهش رشد و نمو گیاهی نزولی بوده ولی در مرحله دوم با افزایش دما و رشد و نمو گیاهی این روند کاملاً صعودی شده است. مطابق شکل ۹ به‌وضوح می‌توان بیان کرد که تأثیر تالاب‌های دارای گیاه لمنا در جذب نیترات بیشتر بوده و دو گیاه نی و وتیور تأثیر تقریباً برابری داشته‌اند. در پژوهشی کارایی حذف نیترات توسط لمنا ۵۵/۹ درصد گزارش شد (Farid et al., 2014)، همچنین در پژوهش دیگری کارایی حذف نیترات توسط گیاه لمنا ۹۲ درصد گزارش شده است که کارایی قابل‌توجهی است (Mishra et al., 2013). بنابراین به‌نظر می‌رسد گیاه لمنا توانایی مناسبی در جذب نیترات در غلظت‌های کم را دارد و می‌توان از آن برای حذف نیترات از محیط‌های آبی و پساب به خوبی بهره برد.

۳-۳-تغییرات نیترات در تیمار شاهد

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تغییرات نیترات در تیمار شاهد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل روند خاصی در مقدار حذف نیترات با افزایش و کاهش دما رخ نداده است و نمودار نوسان‌های زیادی دارد. با این حال درصد کاهش کلی نیترات توسط سه تالاب بدون گیاه به‌طور میانگین ۳۵ درصد بوده است.

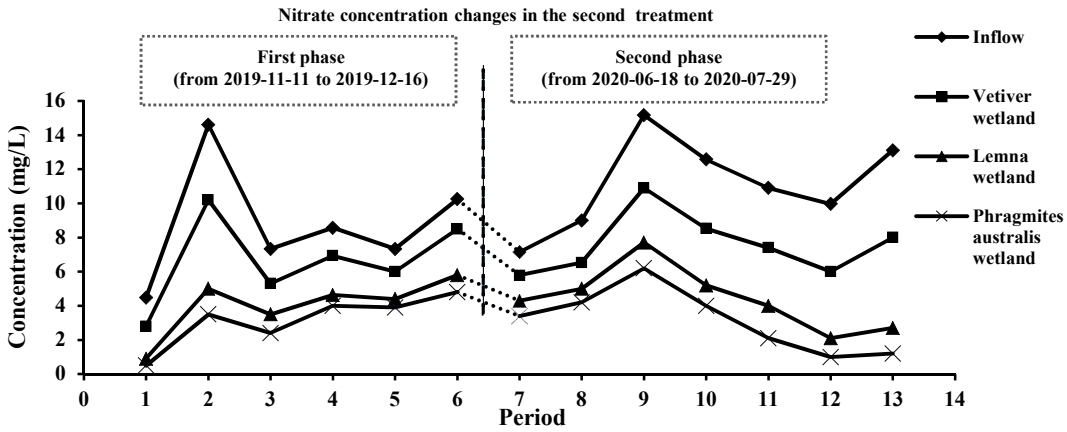

Fig. 7. Nitrate changes in terms of (mg/L) during 13 irrigation periods

شکل ۷- تغییرات مقدار نیترات طی ۱۳دوره آبیاری (mg/L)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160

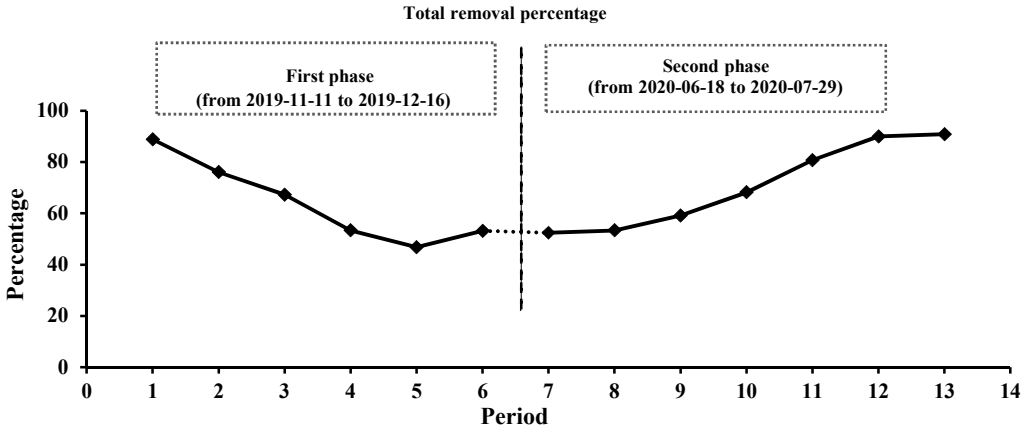

Fig. 8. Percentage of total nitrate reduction during 13 periods in the second treatment

شکل ۸- درصد کاهش کلی نیترات طی ۱۳ دوره در تیمار دوم

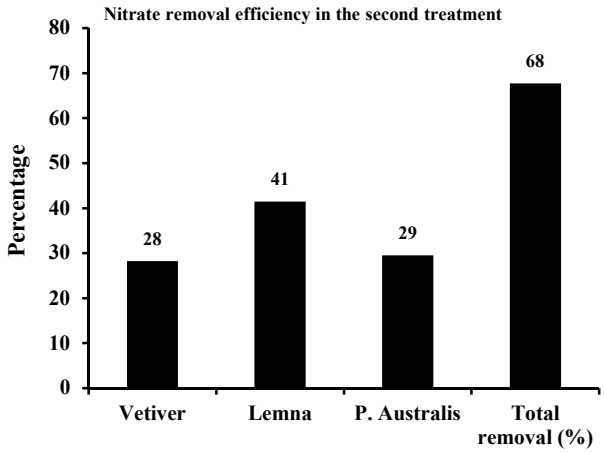

Fig. 9. Average nitrate removed by each wetland (in percentage)

شکل ۹- میانگین نیترات حذف شده توسط هر تالاب (برحسب درصد)

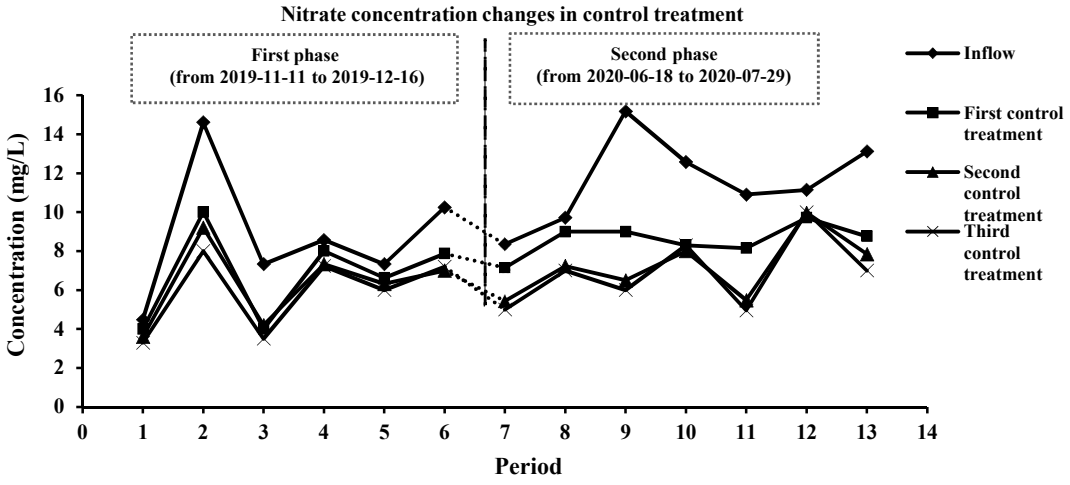

Fig. 10. Nitrate changes in terms of (mg/L) during 13 irrigation periods

شکل ۱۰- تغییرات مقدار نیترات طی ۱۳دوره آبیاری (mg/L)

www.SID.ir

Archive of SID
dx.doi.org/10.22093/wwj.2021.289491.3160

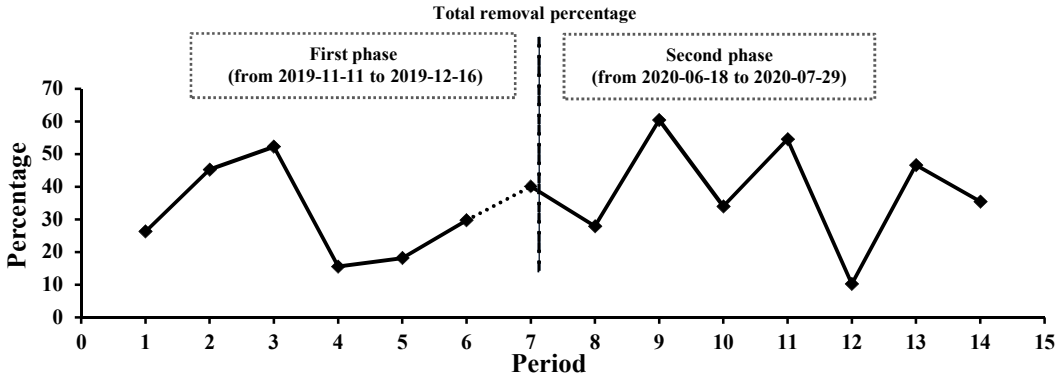

Fig. 11. Percentage of total nitrate reduction during 13 periods in control treatment

شکل ۱۱- درصد کاهش کلی نیترات طی ۱۳ دوره در تیمار شاهد

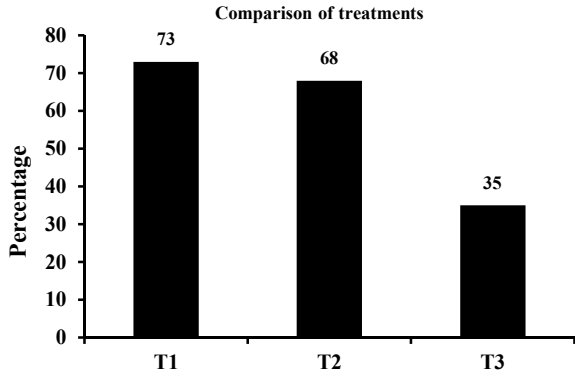

Fig. 12. Comparison of the mean percentage of total nitrate reduction for all three treatments

شکل ۱۲- مقایسه میانگین درصد کاهش کل نیترات در هر سه تیمار

مطابق شکل ۱۲ با مقایسه درصد کاهش کل در سه تیمار برای پارامتر نیترات مشاهده می‌شود که درصد کاهش کل در تیمار اول ۷۳ درصد، تیمار دوم ۶۸ درصد و در تیمار شاهد ۳۵ درصد بوده است. مطابق جدول ۱ اختلاف بین تیمارها در سطح ۱ درصد معنادار بوده است و با مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که تیمار اول نسبت به دیگر تیمارها عملکرد بهتری داشته است. به‌طور کلی تأثیر چینش گیاهان در سیستم تالاب هیبریدی تفاوت زیادی را در حذف کلی نیترات ایجاد نمی‌کند و می‌توان به‌جای آن از ترکیب گیاهان تالابی دیگر با این سیستم بهره برد.

جدول ۱- تجزیه واریانس مقدار اندازه‌گیری شده

Table 1. Analysis of variance of measured value

Source of changes	Degree of freedom	Nitrate
Treatment	2	**10.84
Repetition	2	**12.58
Error	13	

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از سه تیمار تالاب‌های مصنوعی نشان داد که کاربرد ترکیبی تالاب‌ها می‌تواند به‌طور مؤثر نیترات موجود در آبهای آلوده به نیترات را حذف کند. گیاه لمنا در هر دو تیمار با اختلاف ۳ تا ۱۳ درصدی نقش مؤثرتری نسبت به دو گیاه وتیور و نی از خود نشان داد. همچنین با مقایسه درصد کاهش کل نیترات در دو تیمار مشخص شد که تأثیر چیدمان گیاهان و تغییر ترتیب آنها تأثیر ناچیزی در حد ۵ درصد در حذف نیترات داشته اما از نظر آماری این تفاوت در سطح یک درصد معنادار است. با مقایسه تالاب‌های دارای گیاه و بدون گیاه (شاهد) مشخص شد که تفاوت بین تیمارهای دارای گیاه و تیمار شاهد از نظر آماری در سطح یک درصد معنادار بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان کرد کارایی حاصل از دو تیمار اول و دوم به‌طور کامل مربوط به تأثیر گیاهان نبوده و فرایند دنیتریفیکاسیون نیز نقش مؤثری در کاهش غلظت نیترات در خروجی داشته است. همچنین با بررسی روند تغییرات درصد کاهش نیترات طی ۱۳ دوره مشخص شد که فرایند حذف نیترات در تالاب‌ها رابطه مستقیمی با تغییرات دمایی و رشد و نمو گیاهان دارد و با سرد شدن هوا و کاهش رشد و نمو گیاهان درصد کاهش نیترات روندی نزولی و با گرم شدن هوا روندی صعودی دارد، بنابراین توصیه می‌شود پژوهش‌های آینده در زمینه تالاب‌ها با تکیه بر این موضوع بیشتر انجام شود.

۵- قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران به انجام رسیده است که به این وسیله از ایشان قدردانی می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID
10.22093/wwj.2021.289491.3160

References

Arabnasrabadi, V. 2017. Improving the quality of urban wastewater using vetiver in artificial wetland system. M.Sc. Thesis, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Persian)

Ávila, C., Garfí, M. & García, J. 2013. Three-stage hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse in warm climate regions. *Ecological Engineering*, 61**,** 43-49.

Barakati, F., Alidadi, H., Najafpour, A. A. & Hasani, A. H. 2011. The use of vetiver instead of straw in artificial wetland system in municipal wastewater treatment. *14th National Conference on Environmental Health*. Shahid Sadoughi University of medical Medical Sciences, Yazd, Iran. (In Persian)

Farid, M., Irshad, M., Fawad, M., Ali, Z., Eneji, A. E., Aurangzeb, N., et al. 2014. Effect of cyclic phytoremediation with different wetland plants on municipal wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 16**,** 572-581.

Ghodrati, A., Sobh, Z. S. & Dadashi, M. 2007. Investigation on industrial pollution of Zarjub river-Rasht city-Guilan province. *Iranian Journal of Natural Resources*, 60(1)**,** 213-224. (In Persian)

Hammer, M. J. 1986. *Water and Wastewater Technology*. John Wiley, USA.

Kuschk, P., Wiessner, A., Kappelmeyer, U., Weissbrodt, E., Kästner, M. & Stottmeister, U. 2003. Annual cycle of nitrogen removal by a pilot-scale subsurface horizontal flow in a constructed wetland under moderate climate. *Water Research*, 37**,** 4236-4242.

Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J., Adeyi, O., Arnold, R., Baldé, A. B., et al. 2018. The lancet commission on pollution and health. *The Lancet*, 391**,** 462-512.

Mietto, A., Politeo, M., Breschigliaro, S. & Borin, M. 2015. Temperature influence on nitrogen removal in a hybrid constructed wetland system in Northern Italy. *Ecological Engineering*, 75**,** 291-302.

Mishra, S., Mohanty, M., Pradhan, C., Patra, H. K., Das, R. & Sahoo, S. 2013. Physico-chemical assessment of paper mill effluent and its heavy metal remediation using aquatic macrophytes-a case study at JK Paper mill, Rayagada, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185**,** 4347-4359.

Moazed, H., Soltani, A., Zeynalzadeh, K. & Karimi, G. 2008. Wetland application for municipal and industrial waste water treatment. *Proceedings of the 1st Symposium of the Sound Able Development Related to the Water Scarce*. Tehran, Iran. (In Persian)

Salehzadeh, M. & Rezaie, H. 2017. Performance removal nitrate and phosphate from treated municipal wastewater using phragmites australis and typha latifolia aquatic plants. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 47**,** 59-67.

Schweitzer, L. & Noblet, J. 2018. *Water Contamination and Pollution* in Török, B. & Dransfield, T. *Green Chemistry*. Elsevier, USA.

Senzia, M., Mashauri, D. A. & Mayo, A. W. 2003. Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds in wastewater treatment: nitrogen transformation and removal. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28**,** 1117-1124.

Vymazal, J. 2011. Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. *Environmental Science and Technology*, 45**,** 61-69.

Walaszek, M., Lenormand, E., Bois, P., Laurent, J. & Wanko, A. 2017. Urban stormwater constructed wetland: micropollutants removal linked to rain events characteristics and accumulation. *Chemical Engineering Journal*, 359**,** 1065-1074.

Zhao, X., Moates, G., Wellner, N., Collins, S., Coleman, M. & Waldron, K. 2014. Chemical characterisation and analysis of the cell wall polysaccharides of duckweed (*Lemna minor*). *Carbohydrate Polymers*, 111**,** 410-418.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

www.SID.ir