نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۲۲۵ تا ۲۴۰

عملکرد تالاب مصنوعی کشت شده با نی و تیفا در بهبود اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌خانه فخب رشت

سبا نجمی[۱]، مریم نوابیان[۲*] و مهدی اسمعیلی ورکی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۳۱)

چکیده

افزایش نیاز به منابع آبی و لزوم کنترل تخلیه فاضلاب به آن، ضرورت تصفیه فاضلاب را نشان می‌دهد. روش‌های سبز مانند تالاب مصنوعی و گیاه‌پالایی از فرایندهای زیستی موجود در محیط‌زیست برای تصفیه فاضلاب بهره می‌برند. با توجه به تاثیرپذیری عملکرد تالاب مصنوعی دارای گیاه از کیفیت فاضلاب و عوامل اقلیمی، هدف این پژوهش ارزیابی عملکرد تالاب ترکیبی و زیرسطحی عمودی و افقی بر بهبود اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD) و شیمیایی (COD) فاضلاب تصفیه‌خانه شهر رشت در نظر گرفته شد. اثر دو گیاه نی و تیفا نیز بر عملکرد تصفیه بررسی شد. زمان ماند فاضلاب در تالاب‌ها از ماهانه در زمستان و هفتگی در بهار و تابستان متغیر بود. نتایج نشان داد که عملکرد تالاب‌ها در کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی بیشتر از اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بود. گیاهان نی و تیفا عملکرد تالاب را بیش از ۵۰ درصد بهبود دادند اما تفاوت معنی‌داری بین عملکرد دو گیاه مشاهده نشد. ترتیب کشت گیاهان بر میزان حذف اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی مؤثر نبود. تالاب ترکیبی دو برابر بهتر از تالاب عمودی توانست کیفیت فاضلاب را ارتقاء دهد. مقایسه غلظت فاضلاب خروجی از تالاب‌ها با استانداردها نشان داد که فاضلاب خروجی از تالاب ترکیبی فقط برای مصرف کشاورزی قابل استفاده بود.

واژه‌های کلیدی: اثر دما، تالاب زیرسطحی افقی و عمودی، تالاب ترکیبی، ترتیب آرایش کشت گیاه، محیط زیست

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان و عضو وابسته پژوهشی گروه مهندسی آب و محیط زیست پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Navabian@guilan.ac.ir

مقدمه

آلودگی منابع آب خطرات زیست‌محیطی زیادی به دنبال دارد و تهدیدی برای زندگی انسان به شمار می‌رود. یکی از راه‌های مؤثر در جلوگیری از ورود آلاینده‌ها به منابع آبی، تصفیه فاضلاب و استفاده مجدد از آن است. روش‌های معمول تصفیه فاضلاب دارای محدودیت‌هایی از جمله هزینه زیاد، پیچیدگی بهره‌برداری و نگهداری و عدم امکان اجرا تحت هر شرایط و مکان را دارند. از این‌رو روش‌هایی که کم هزینه بوده و سهولت انجام دارند، مورد توجه قرار گرفته‌اند. تالاب‌های مصنوعی و گیاه‌پالایی از جمله این روش‌ها قلمداد می‌شوند (۱۳). تالاب‌های مصنوعی، سامانه‌های مهندسی شده بر اساس ویژگی‌های طبیعی و مؤثر تالاب‌های طبیعی در کاهش آلودگی آب مانند نوع بستر تالاب، شرایط هیدرولوژیک، میکروارگانیسم‌ها و گیاهان هستند (۲۱). از این سامانه‌ها می‌توان برای تصفیه انواع فاضلاب شهری، کشاورزی، صنعتی و استفاده مجدد از آن استفاده کرد. تالاب‌های مصنوعی می‌توانند روشی مناسب برای تصفیه فاضلاب مناطق روستایی و کم جمعیت و استفاده مجدد از پساب برای کشاورزی یا صنعت باشند. تالاب‌های مصنوعی بر اساس نوع جریان هیدرولیکی به دو دسته اصلی دارای جریان آزاد (Free Water Surface Constructed Wetland) و زیرسطحی (Subsurface Flow Constructed Wetland) تقسیم می‌شوند. تالاب‌های زیرسطحی نیز به دو دسته افقی و عمودی طبقه‌بندی می‌شوند. تالاب مصنوعی با جریان آزاد ساده‌ترین نوع تالاب مصنوعی هستند. ارتفاع سطح آب در این تالاب‌ها کم و به‌طور معمول بین ۶۰-۳۰ سانتی‌متر است (۴). به‌دلیل سطح تماس زیاد آب با هوا، بیشتر فرایندهای انجام شده در این تالاب هوازی هستند اما در لایه‌های عمیق‌تر و نزدیک به بستر، فرایندهای بی‌هوازی به مقدار محدودی انجام می‌شوند. تالاب‌های جریان آزاد عملکرد عالی در حذف آلودگی‌های آلی، به‌دلیل فعالیت‌های میکروبی دارند (۲۲).

در تالاب با جریان زیرسطحی، فاضلاب در داخل بستر تالاب جریان پیدا می‌کند. بستر این تالاب از سنگ‌ریزه یا شن درشت تشکیل می‌شود و قطر ذرات بستر (۵ تا ۲۰ میلی‌متر) از نظر ایفای نقش فیلتر برای حذف ذرات معلق، هدایت هیدرولیکی مناسب و نگه‌داری ریشه گیاهان اهمیت دارد (۲۴). در این نوع تالاب مانند تالاب‌های آزاد فرایندهای هوازی و بی‌هوازی انجام می‌شوند و جامدها و مواد معلق توسط ته‌نشینی، مواد آلی توسط فعالیت‌های میکروبی و نیتروژن با فرایندهای نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی حذف می‌شود (۲۵). در ساخت این نوع تالاب باید از بستر با هدایت هیدرولیکی مناسب بهره گرفت (۴). گیاهان در این نوع تالاب نسبت به تالاب زیرسطحی افقی مؤثرتر عمل کرده و علاوه‌بر بهبود تصفیه در افزایش هدایت هیدرولیکی و جلوگیری از گرفتگی بستر نقش دارند (۲۴). تالاب ترکیبی، مجموعه‌ای از دو یا چند تالاب مصنوعی است که تصفیه کامل‌تری را انجام می‌دهند. مزیت دیگر این روش این است که سطح مورد نیاز برای تصفیه کمتر می‌شود، در نتیجه از دست رفتن آب به‌دلیل تبخیر-تعرق به کمترین مقدار می‌رسد (۱۲). از متداول‌ترین انواع تالاب‌های ترکیبی، تالاب زیرسطحی عمودی-تالاب زیرسطحی افقی است که در بسیاری از نقاط دنیا برای تصفیه انواع مختلفی از فاضلاب استفاده شده است (۲۳).

گیاه‌پالایی یک نوع پالایش سبز است که در آن از گیاهان مختلف با آستانه تحمل زیاد در محیط‌های آلوده، برای تصفیه استفاده می‌شود. از این روش می‌توان برای کاهش خوراک‌وری (Eutrophication) در منابع آبی و حذف نیتروژن و فسفر استفاده کرد (۱۰). حضور گیاهان در تالاب‌های مصنوعی نقش مهمی ایفا می‌کند و به‌عنوان یک عضو ویژه در طراحی تالاب مصنوعی تلقی می‌شوند (۲۵). گیاهان استفاده شده برای گیاه‌پالایی در تالاب‌های مصنوعی به‌طور معمول گونه‌های مقاوم و بومی در هر منطقه هستند. برای انتخاب گیاهان در تالاب‌های مصنوعی معمولاً به گزینه‌های تحمل شرایط اشباع کامل آبی، وضعیت خوراک‌وری زیاد فاضلاب، ظرفیت جذب آلودگی گیاه و سازگاری با شرایط اقلیمی توجه می‌شود (۲۵). گیاهان متعددی در زمینه گیاه‌پالایی مورد استفاده و بررسی قرار

گرفته‌اند که از جمله آن می‌توان به گیاه تیفا، نی، وتیور و غیره اشاره کرد (۲۳). تنش‌های محیطی و اقلیمی می‌توانند بر عملکرد گیاهان تأثیر بگذارند و باعث کاهش عملکرد گیاه، کاهش رشد و حتی از بین رفتن گیاهان شوند (۲۵).

لطفی و مامقانی‌نژاد (۱۱)، به بررسی عملکرد تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در حذف پارامترهای کل جامدات معلق، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیولوژیکی پرداختند. در این پژوهش سه تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اراک ساخته شد. یکی از تالاب‌ها به‌عنوان شاهد و دو تالاب دیگر تحت کشت گیاه نی و تیفا قرار گرفتند. نتیجه عملکرد تالاب شاهد، تیفا و نی برای کل جامدات معلق به‌ترتیب ۶۹، ۷۷ و ۷۹ درصد، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی به‌ترتیب ۴۳ ، ۵۹/۸ و ۴۵/۶ درصد و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به‌ترتیب ۴۴/۵ ، ۶۱/۴ و ۶۰/۷ درصد گزارش شد. یزدانی و علیزاده گلستانی (۲۶)، به بررسی عملکرد تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی با مقیاس آزمایشگاهی در تصفیه فاضلاب کارخانه لبنیاتی پرداختند. در یکی از تالاب‌ها گیاه نی، در دیگری گیاه جانکاس کاشته و تالاب سوم شاهد در نظر گرفته شد. میانگین درصد حذف پارامترهای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی برای تالاب دارای گیاه نی و جانکاس و شاهد به ترتیب ۶۲/ ۹۳، ۹۲/۳۳ و ۶۷/۶۲ درصد به‌دست آمد.

رخشانی و همکاران (۱۴) با بررسی تأثیر تالاب آلاگل بر تصفیه آب رودخانه اترک گزارش کردند که میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در خروجی تالاب ۱۲ و ۲۶ درصد نسبت به ورودی کاهش یافته است. میزان اکسیژن محلول در خروجی تقریباً ۶۰ درصد نسبت به ورودی تالاب افزایش یافت. با توجه به کیفیت خروجی تالاب، آب آن را برای مراکز پرورش ماهی توصیه کردند. حق‌شناس و همکاران (۵) کارایی چهار واحد تالاب هیبریدی افقی- عمودی زیرسطحی را در تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان بررسی کردند. در این تالاب‌ها، سه گیاه مختلف نی معمولی، لویی و نی بزرگ کشت شد. نتایج نشان داد که نوع پوشش گیاهی از نظر آماری اثر معنی‌داری را بر حذف مواد آلی در تالاب‌های مصنوعی ندارد، اما میزان حذف در تالاب‌های دارای پوشش گیاهی بیشتر از تالاب شاهد بود. همچنین، راندمان حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بین ۷۷ تا ۸۳ درصد و مقدار حذف اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی بین ۸۴ تا ۸۶ درصد بود. عابدی کوپایی و همکاران (۱) اثر زمان‌های ماند سه و شش روز را بر عملکرد تالاب مصنوعی ترکیبی با بستر سنگ معدنی پامیس و گیاه وتیور بر روی پساب شهری بررسی کردند. در زمان ماند سه روز به‌طور متوسط در تالاب با جریان عمودی، جریان افقی و تالاب ترکیبی، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی به‌ترتیب ۷/۶، ۲۰/۹ و ۲۶/۹ درصد و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به‌ترتیب ۴/۶، ۴۰ و ۴۲/۷ درصد کاهش یافت. همچنین در زمان ماند شش روز به‌طور متوسط اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی به‌ترتیب ۱۰/۷، ۲۹/۹ و ۳۷/۴ درصد و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به‌ترتیب ۱۶، ۸۶/۸ و ۸۸/۹ درصد کاهش نشان داد.

تیلاک و همکاران (۱۷)، از تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی برای تصفیه فاضلاب خانگی در هند استفاده کردند. بستر تالاب‌ها با شن و سنگ‌ریزه پر شد. در یک تالاب گیاه تیفا و علف لیمو و تالاب دیگر گیاه نی و علف پارا کاشته شد. میانگین حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ۴۲ درصد برای تالاب مصنوعی دارای گیاهان تیفا و علف لیمو و ۳۴ درصد برای تالاب دارای گیاه نی و علف پارا بود. حسین و اسکولز (۷)، در انگلیس به بررسی عملکرد تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی در تصفیه فاضلاب خروجی از کارخانه نساجی پرداختند. در تالاب‌ها گیاه نی کاشته شد و تمامی تالاب‌ها بجز یکی دارای بستر شنی بودند. عملکرد تالاب‌ها برای حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بین ۵۰ تا ۹۰ درصد با توجه به غلظت اولیه فاضلاب متفاوت بود. نتایج نشان داد در غلظت‌های کم، تصفیه کمتر انجام می‌شود. خان و همکاران (۹)، به بررسی عملکرد یک تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی در تصفیه فاضلاب بیمارستانی در هند پرداختند. در تالاب مصنوعی زیرسطحی افقی گیاه نی کاشته شد. میانگین درصد

حذف پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی به‌ترتیب ۹۳ و ۹۴ درصد بود.

سعید و همکاران (۱۵)، از تالاب مصنوعی برای تصفیه شیرابه زباله در بنگلادش استفاده کردند. چهار تالاب ترکیبی متشکل از یک تالاب زیرسطحی عمودی و یک تالاب زیرسطحی افقی ساخته شد. در تالاب‌ها گیاه نی و وتیور کاشته شد. عملکرد حذف در پارامترهای نیتروژن کل، فسفر کل، اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی به‌ترتیب ۵۰ تا ۹۳، ۶۹ تا ۱۰۰، ۳۴ تا ۸۹ و ۵۵ تا ۷۶ درصد به‌دست آمد. سیلوا و همکاران (۱۶)، از یک تالاب مصنوعی ترکیبی متشکل از یک استخر هوادهی، یک تالاب زیرسطحی عمودی با حجم ۱۵۰ لیتر، یک تالاب جریان سطحی با حجم ۱۵۰ لیتر و یک تالاب زیرسطحی افقی برای تصفیه فاضلاب خوابگاه دانشگاه در برزیل استفاده کردند. در تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی و افقی گیاهان پاپیروس و گروموسا کاشته شد. تالاب جریان سطحی بدون گیاه باقی ماند. میانگین درصد حذف پارامترهای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیولوژیکی به‌ترتیب ۶۷ و ۵۳ درصد گزارش شد. نتایج نشان داد که پارامترهای مورد بررسی، استانداردهای کشور برزیل برای استفاده مجدد در کشاورزی و صنعت و تخلیه به محیط‌زیست را به‌دست آوردند.

کرم و همکاران (۸) با بررسی اثر گیاه نی در تالاب جریان سطحی آزاد نشان دادند که امکان حذف ۴۱ درصدی اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، ۵۴ درصد اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و ۹۷ درصدی نیترات آب آلوده رودخانه لیتانی، وجود دارد. دنیسی و همکاران (۳) به ارزیابی یک سامانه ترکیبی متشکل از یک لاگون و یک تالاب مصنوعی دارای گیاه تیفا در کاهش جامدات معلق، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و نیتروژن پرداختند. نتایج نشان داد سامانه ترکیبی قدرت حذف ۹۹ درصدی جامدات معلق و ماده آلی و ۸۰ تا ۹۵ درصدی نیتروژن را دارد درحالی که لاگون به تنهایی فقط توانست ۴۰ درصد جامدات معلق، ۲ درصد ماده آلی و ۳۱ درصد نیتروژن را کاهش دهد. وازکیوز و همکاران (۲۰) نشان دادند که تالاب با جریان زیرسطحی توانایی حذف ۶۱ درصدی اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و ۷۳ درصدی اکسیژن مورد نیاز شیمیایی را دارد اما طبق استاندارد شماره ۲۲۲/۰۲ همچنان فاضلاب تصفیه‌شده به لحاظ پارامتر اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی قابل تخلیه به محیط‌زیست نبود.

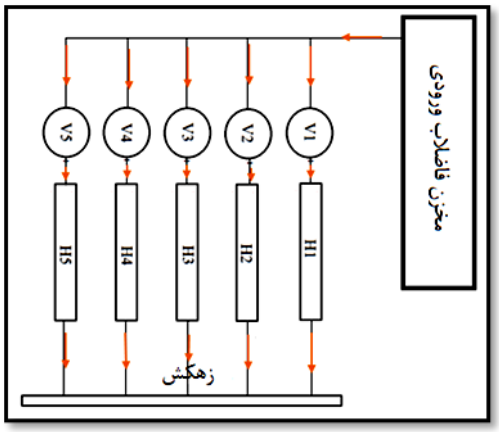
از آنجا که اقلیم، کیفیت فاضلاب و نوع گیاه می‌تواند بر عملکرد تالاب و گیاه‌پالایی تاثیرگذار باشد، در این پژوهش عملکرد تالاب مصنوعی در بهبود پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌خانه فخب شهر رشت با استفاده از گیاه نی و تیفا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

برای دست‌یابی به اهداف پژوهش، پنج تالاب مصنوعی ترکیبی در تصفیه‌خانه فاضلاب فخب رشت (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه شمالی و ۱۹ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۳ دقیقه شرقی) در استان گیلان ساخته شدند. تالاب ترکیبی متشکل از یک تالاب با جریان زیرسطحی عمودی و یک تالاب با جریان آزاد بود. در تالاب عمودی از مخازن استوانه‌ای از جنس پلی وینیل به قطر و ارتفاع به ترتیب ۹۵ و ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شد. برای ایجاد تالاب با جریان سطحی، حوضچه‌هایی به عرض ۴۰، طول ۲۵۰ و عمق ۶۰ سانتی‌متر ساخته شدند. برای جلوگیری از نشت در حوضچه‌ها، کف و دیواره حوضچه با یک لایه سیمان‌کشی کاملا صاف، سپس با یک لایه پارچه پوشیده و در نهایت با دو لایه پلاستیک آب‌بندی شد. مخازن عمودی تا ارتفاع ۶۵ سانتی‌متری و بستر افقی تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از سنگ‌ریزه با قطر ۲-۰/۵ سانتی‌متر پر شد. یک تالاب بدون گیاه به‌عنوان شاهد انتخاب شد (شماره ۵). در تالاب شماره ۱ و ۲ به ترتیب گیاه نی و تیفا و تالاب شماره ۳ و ۴ با ترتیب متفاوت از گیاهان نی و تیفا برای بررسی اثر ترتیب گیاهان کشت شدند. جدول ۱ خصوصیات هریک از تالاب‌های ترکیبی و نحوه کدگذاری آن‌ها و شکل ۱ آرایش تالاب‌های ترکیبی را نشان می‌دهند. در

جدول ۱. خصوصیات تالاب ترکیبی و نحوه کدگذاری آن‌ها

تالاب ترکیبی	نوع تالاب	نوع گیاه	تعداد گیاه
C1	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی عمودی (V1)	نی	۱۶
	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی (H1)	نی	۲۰
C2	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی عمودی (V2)	تیفا	۱۶
	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی (H2)	تیفا	۲۰
C3	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی عمودی (V3)	نی	۱۶
	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی (H3)	تیفا	۲۰
C4	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی عمودی (V4)	تیفا	۱۶
	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی (H4)	نی	۲۰
C5	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی عمودی (V5)	شاهد	–
	تالاب مصنوعی جریان زیرسطحی افقی (H5)	شاهد	–



شکل ۱. طرح تالاب ترکیبی اجرا شده در این پژوهش (V نشان‌دهنده تالاب عمودی و H نشان‌دهنده تالاب افقی است)

تالاب‌های سطحی ۲۰ بوته از هر گونه گیاهی و در تالاب‌های عمودی ۱۶ بوته از هر گونه گیاهی کاشته شد، تا میزان عملکرد نسبت به سطح یکسان از نظر تعداد گیاهان سنجیده شود. بعد از کاشت گیاهان مدت سه ماه به گیاهان زمان سازگاری با کیفیت فاضلاب داده شد.

به‌دلیل فعالیت کم گیاهان و میکروارگانیسم‌ها در فصل زمستان، زمان ماند هیدرولیکی یک ماه برای تالاب‌ها در این فصل انتخاب شد. در فصل بهار و تابستان با افزایش رشد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها، زمان ماند هیدرولیکی یک هفته‌ای انتخاب شد. نمونه‌برداری در انتهای هر مرحله از زمان ماند هیدرولیکی از ورودی فاضلاب خام، خروجی تالاب عمودی و خروجی تالاب افقی انجام می‌شد. برای بررسی اثر تغییر فصل بر عملکرد تالاب‌ها، آزمایش از آذر ماه آغاز و بازه زمانی نمونه‌برداری‌ها دی ماه سال ۱۳۹۹ تا شهریور ۱۴۰۰ بود (جدول ۲). برای نمونه‌برداری از ظروف مخصوص نمونه‌برداری پلاستیکی به حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر استفاده شد. نمونه‌ها در شرایط استاندارد و دمای چهار درجه سلسیوس سریع به آزمایشگاه کیفیت آب گروه مهندسی آب دانشگاه

گیلان منتقل و اندازه‌گیری شدند.

با توجه به تأثیرپذیری عملکرد تالاب‌ها و گیاهان از شرایط محیطی، اطلاعات هواشناسی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه بین‌المللی سردار جنگل شهر رشت دریافت شد. در شکل ۲ مقدار بارش روزانه در طول روزهای آزمایش آورده شده است. بیشترین بارش به ترتیب در زمستان، بهار و تابستان روی داد. در انتهای فصل تابستان مطابق با الگوی غالب باران در شهر رشت، بارش زیاد مشاهده شد. حداکثر بارش به میزان ۵۰ میلی‌متر در روز ۱۱ام آزمایش‌ها رخ داد. مقادیر بیشینه، کمینه و میانگین دمای در روزهای آزمایش‌ها در شکل ۳ آورده شده است. در فصل زمستان سال ۱۳۹۹ دمای میانگین کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس بود. میانگین دما در فصل بهار نسبت به فصل زمستان ۱۰ تا ۱۲ درجه افزایش داشت. افزایش دمای میانگین فصل تابستان نسبت به فصل زمستان و بهار به‌ترتیب ۱۶ و ۸ درجه بود. کمترین و بیشترین دمای رخ داده در طول دوره آزمایش به‌ترتیب ۱/۸- در ماه بهمن و ۳۶ درجه سلسیوس در ماه مرداد بود.

از آنجا که جذب املاح توسط گیاه تابعی از تبخیر- تعرق است، برای بررسی عملکرد گیاهان، تبخیر-تعرق آن‌ها به روش پنمن-مانتیث با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی سردار جنگل شهر رشت و ضریب رشد گیاه نی به میزان ۱، ۱/۲ و ۱ و تیفا به میزان ۱/۱، ۱/۴ و ۱/۱ به ترتیب برای مراحل اولیه، میانی و انتهایی (۲) محاسبه شد.

نتایج و بحث

تبخیر- تعرق گیاهان نی و تیفا

مقادیر تبخیر- تعرق گیاهان نی و تیفا در شکل ۴ آورده شده است. دامنه تغییرات تبخیر- تعرق برای گیاه نی و تیفا به‌ترتیب ۶/۶۵-۰/۲۶ و ۷/۴۶-۰/۲۹ میلی‌متر بر روز برآورد شد. بیشترین و کمترین میزان تبخیر- تعرق به ترتیب در اواخر مرداد و اوایل فروردین دیده شد.

خصوصیات فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب فخب

مقادیر پارامترهای کیفیت فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه فخب رشت در جدول ۳ آورده شده است. کمترین مقدار پارامترهای مورد بررسی در فصل زمستان و بیشترین مقدار پارامترهای فسفر کل، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کدورت، در فصل تابستان بود. بر اساس استاندارد خروجی فاضلاب سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران (۱۸) مقادیر پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و کدورت به‌ترتیب تا ۶، ۴ و ۱۷ برابر فراتر از حدود مجاز بود. بر اساس آیین‌نامه اجرایی ماده ۱۳۴ و بند (ج) ماده ۱۰۴ قانون برنامه سوم توسعه (۱۹) پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، فسفر کل و کدورت به‌ترتیب تا ۴، ۲/۵، ۱۵۰ و ۱۷ برابر فراتر از حدود مجاز به‌دست آمدند.

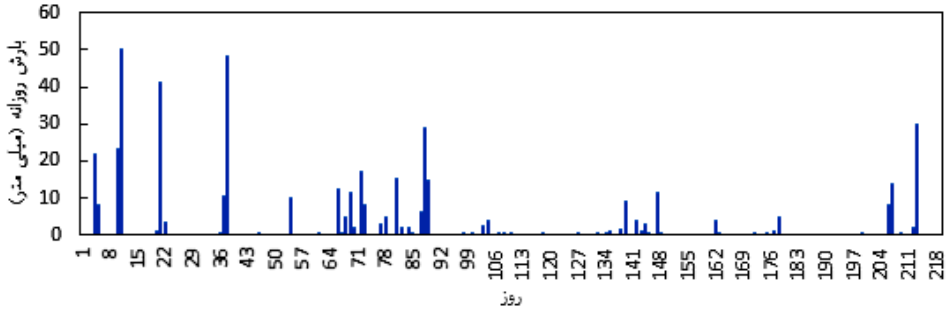
تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی

تالاب زیرسطحی عمودی

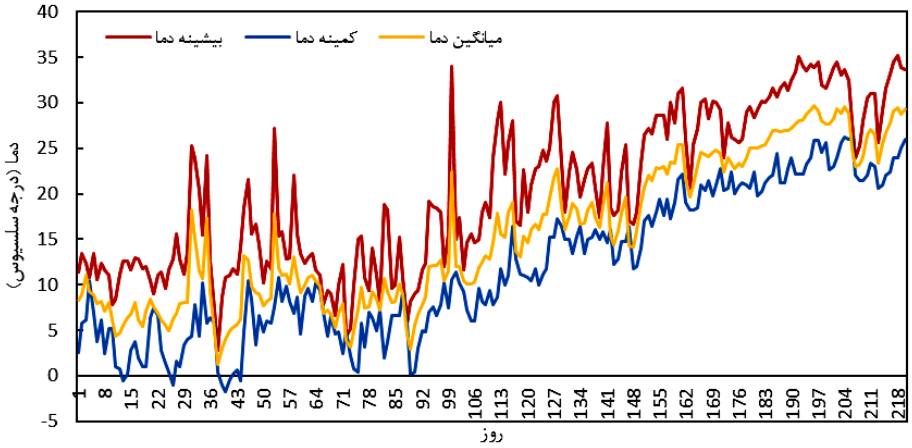
تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی و خروجی از تالاب‌های زیرسطحی عمودی در شکل ۵ آورده شده است. نتایج حاکی از آن بود که غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی با افزایش دما افزایش یافت. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی به تالاب‌ها در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۱۴۳/۸۷، ۱۷۲/۲۱ و ۱۷۵/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت خروجی به‌ترتیب ۱۲۲/۷۴، ۱۲۸/۵۳ و ۱۲۴/۸۹ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. بیشترین غلظت اکسیژن مورد نیاز خروجی در تالاب شاهد (شماره پنج) روی داد و مقدار بهبود اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی به ترتیب ۱۴/۷، ۲۵/۳ و ۲۸/۸ درصد به‌ترتیب در فصل زمستان، بهار و پاییز مشاهده شد که میزان افزایش بهبود در فصل بهار و تابستان دو برابر بیشتر از فصل زمستان به‌دست آمد. افزایش دما از طریق تعرق و جذب توسط گیاه و همچنین فعالیت میکروارگانیسم‌هایی که در تجزیه ماده آلی مؤثر هستند، بر حذف ماده آلی فاضلاب اثر دارد.

تالاب زیرسطحی افقی

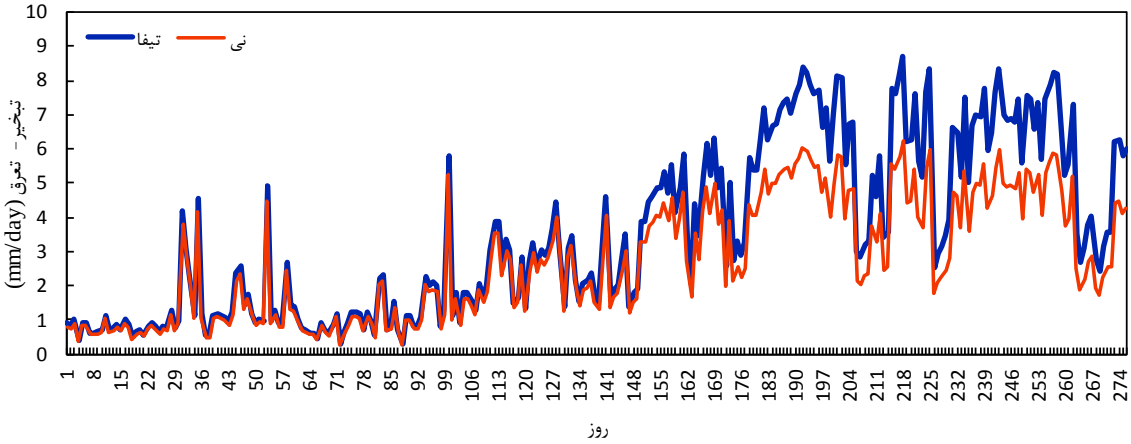
تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی و خروجی



شکل ۲. بارش روزانه رخ داده در روزهای آزمایش در ایستگاه هواشناسی سردارجنگل رشت



شکل ۳. تغییرات دمای بیشینه، کمینه و میانگین روزانه در روزهای آزمایش در ایستگاه هواشناسی سردارجنگل رشت



شکل ۴. تبخیر-تعرق گیاه نی و تیفا در دوره آزمایش (شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)

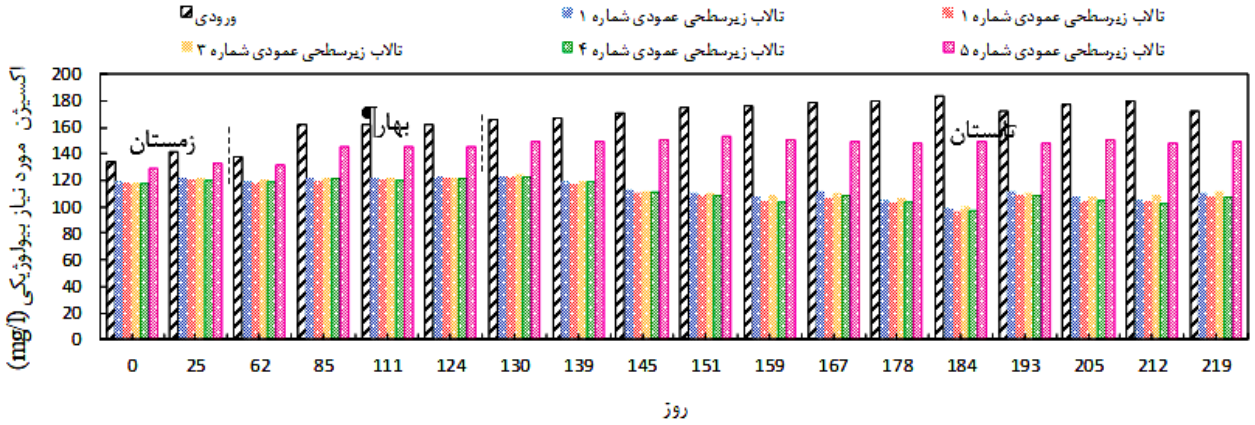
از تالاب زیرسطحی افقی در شکل ۶ آورده شده است. اگرچه غلظت فاضلاب ورودی به این تالاب مشابه تالاب عمودی نبود اما برای بررسی عملکرد تالاب زیرسطحی افقی، نتایج آن نیز ارائه شده است. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی به تالاب‌ها در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۱۲۲/۷۴، ۱۲۸/۵۳ و ۱۲۴/۸۹ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین خروجی از تالاب‌ها به‌ترتیب ۱۰۳/۱۱، ۷۵/۲۲ و ۷۳/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد. مقدار بهبود اکسیژن مورد نیاز

جدول ۲. برنامه زمانی نمونه‌برداری از تالاب‌های مورد بررسی

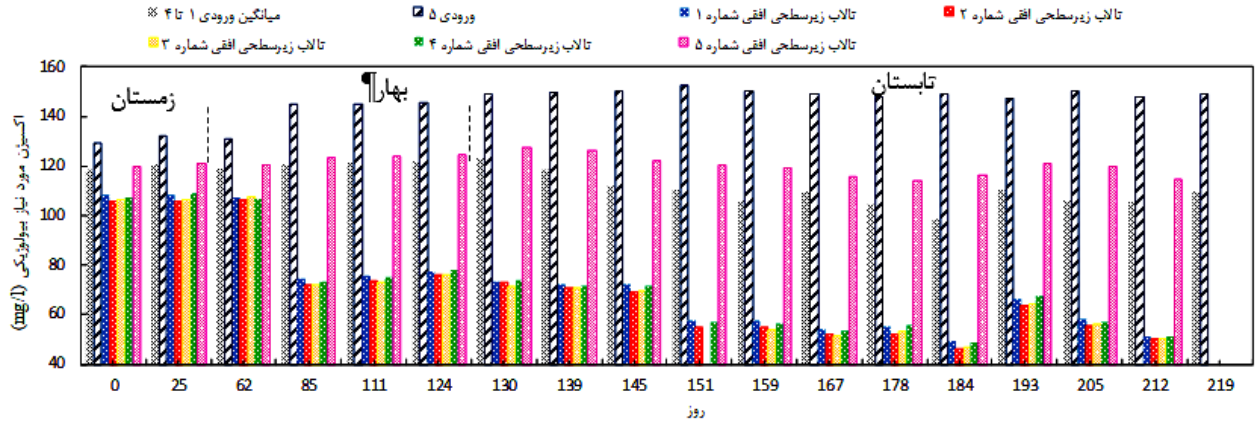
تاریخ نمونه‌برداری	شماره نمونه‌برداری									
	ورودی	V1	V2	V3	V4	V5	H1	H2	H3	H4	H5
۱۳۹۹/۰۹/۲۵	۱										
۱۳۹۹/۱۰/۲۰	۲	۱	۱	۱	۱	۱					
۱۳۹۹/۱۱/۲۷	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۱	۱
۱۳۹۹/۱۲/۲۰	۴	۳	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲
۱۴۰۰/۰۱/۱۶	۵	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۳	۳	۳	۳
۱۴۰۰/۰۱/۲۹	۶	۵	۵	۵	۵	۵	۴	۴	۴	۴	۴
۱۴۰۰/۰۲/۰۴	۷	۶	۶	۶	۶	۶	۵	۵	۵	۵	۵
۱۴۰۰/۰۲/۱۳	۸	۷	۷	۷	۷	۷	۶	۶	۶	۶	۶
۱۴۰۰/۰۲/۱۹	۹	۸	۸	۸	۸	۸	۷	۷	۷	۷	۷
۱۴۰۰/۰۲/۲۵	۱۰	۹	۹	۹	۹	۹	۸	۸	۸	۸	۸
۱۴۰۰/۰۳/۰۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۹	۹	۹	۹	۹
۱۴۰۰/۰۳/۰۹	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۱۴۰۰/۰۳/۲۳	۱۳	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۱۴۰۰/۰۳/۲۹	۱۴	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
۱۴۰۰/۰۴/۰۷	۱۵	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳	۱۳
۱۴۰۰/۰۴/۱۹	۱۶	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴	۱۴
۱۴۰۰/۰۵/۰۲	۱۸	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶	۱۶
۱۴۰۰/۰۵/۰۹	۱۹	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷
۱۴۰۰/۰۵/۱۶	۲۰	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸	۱۸
۱۴۰۰/۰۶/۲۸		۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹

جدول ۳. دامنه تغییرات برخی مقادیر پارامترهای فاضلاب خام ورودی در دوره آزمایش

پارامتر	کمینه	بیشینه	مقدار میانگین	پارامتر	کمینه	بیشینه	مقدار میانگین
فسفر کل (میلی‌گرم بر لیتر)	۸۹/۷۸	۶۵۳/۳۵	۳۶۵/۴۱	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (میلی‌گرم بر لیتر)	۱۳۳/۷	۱۸۳/۱	۱۶۶/۶
نیتروژن کل (میلی‌گرم بر لیتر)	۸/۲۸	۱۹/۲۵	۱۵	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (میلی‌گرم بر لیتر)	۱۹۰	۲۳۹	۲۱۵/۲
اسیدیته	۵/۱۱	۷/۸	۷/۰۵	هدایت‌الکتریکی (میکرو زیمنس بر سانتی‌متر)	۵۰۸	۱۱۶۰	۸۶۰/۱۵



شکل ۵. تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی و خروجی در تالاب زیرسطحی عمودی (شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)



شکل ۶. تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی و خروجی در تالاب زیرسطحی افقی (شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)

بیولوژیکی به ترتیب ۱۵/۹، ۴۱/۵ و ۴۱/۲ درصد به‌ترتیب در فصل زمستان، بهار و پاییز دیده شد که میزان افزایش بهبود در فصل بهار و تابستان ۲/۶ برابر بیشتر از فصل زمستان به‌دست آمد. میزان افزایش بهبود در این تالاب را می‌توان به غلظت کیفیت بهتر فاضلاب ورودی به این تالاب‌ها نسبت داد.

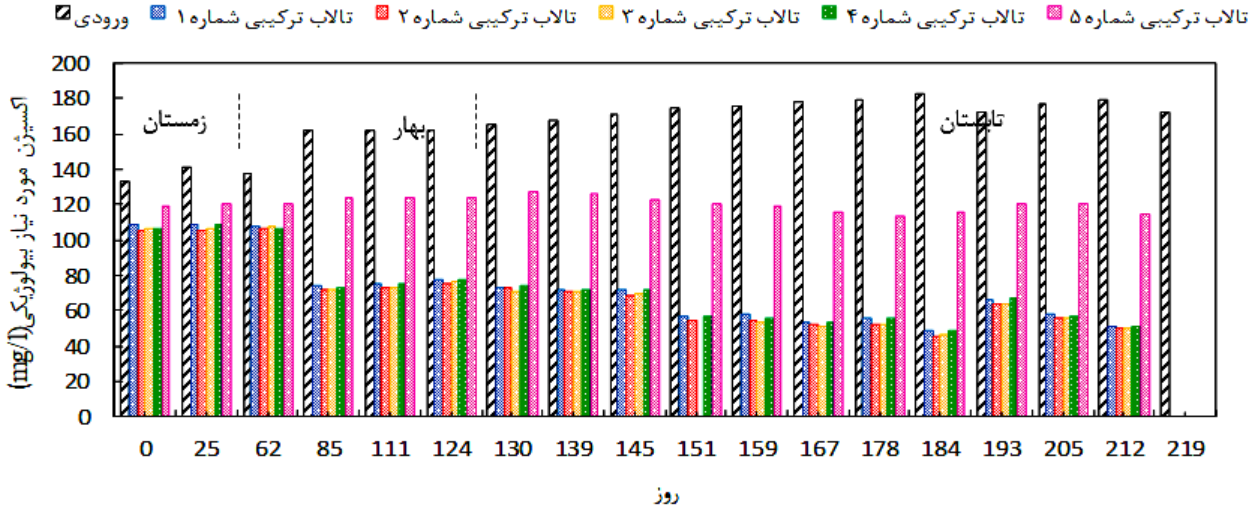
تالاب ترکیبی

تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی و خروجی از تالاب ترکیبی در شکل ۷ آورده شده است. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی به تالاب ترکیبی در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۱۴۳/۸۷، ۱۷۲/۲۱ و ۱۷۵/۴۱ میلی‌گرم بر لیتر و خروجی از تالاب‌ها به‌ترتیب ۱۰۳/۱۰، ۷۵/۲۲ و ۷۳/۵۳ میلی‌گرم بر لیتر بود. نتایج نشان داد که میزان بهبود غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی فاضلاب در فصول زمستان، بهار و تابستان به ترتیب ۲۸/۳، ۵۶/۳ و ۵۸/۱ درصد بود که در دو فصل بهار و تابستان میزان بهبود دو برابر افزایش داشت.

تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی

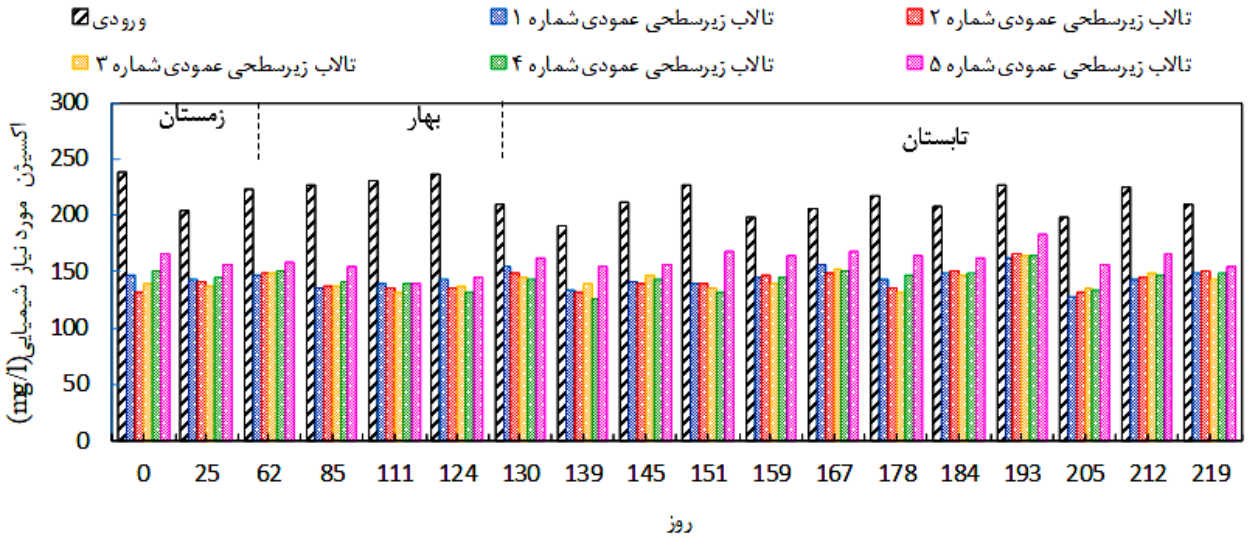
تالاب زیرسطحی عمودی

تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی و خروجی



شکل ۷. تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی ورودی و خروجی تالاب ترکیبی

(شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)



شکل ۸.تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی و خروجی تالاب زیرسطحی عمودی

(شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)

تالاب زیرسطحی عمودی در شکل ۸ آمده است. غلظت اکسیژن مورد نیازی شیمیایی خروجی از تالاب‌های زیرسطحی عمودی مانند حالت ورودی روند مشخصی نداشت. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی به تالاب و خروجی از آن در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۲۲۳/۷۵، ۲۲۴/۸۱ و ۲۱۵/۵۱ میلی‌گرم بر لیتر و ۱۴۶/۲۵، ۱۴۵/۳۶ و ۱۵۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر بود. غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی خروجی از تالاب شاهد از بقیه تالاب‌های زیرسطحی عمودی بیشتر بود. مقدار بهبود اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به‌ترتیب ۳۴/۶، ۳۵/۳ و ۲۹/۷درصد به‌ترتیب در فصل زمستان، بهار و پاییز دیده شد. هانگ و همکاران (۶) برای تالاب مصنوعی زیرسطحی عمودی برای اکسیژن مورد نیاز شیمیایی حذف

مؤثر ۷۰/۵ درصد را گزارش کردند.

مطابق با نتایج میزان کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در زمستان و بهار تفاوت معنی‌داری با هم نداشت ولی در تابستان میزان کاهش به میزان ۱۵ درصد کمتر از دو فصل دیگر بود. بنابراین تغییر فصل و افزایش دما بر میزان اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی فاضلاب در تالاب عمودی تأثیری نداشت.

تالاب زیرسطحی افقی

تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی و خروجی تالاب زیرسطحی افقی در شکل ۹ آورده شده است. کاهش غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در تالاب‌های زیرسطحی افقی اندک بود. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۱۴۶/۲۵، ۱۴۵/۳۶ و ۱۵۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر و خروجی از تالاب‌ها به‌ترتیب ۱۲۲/۶، ۱۲۵/۵۱ و ۱۳۱/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد. درصد کاهش غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی به ۱۶/۲، ۱۳/۶ و ۱۳/۴ به ترتیب در فصول زمستان، بهار و تابستان بود. درصد بهبود وضعیت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در بهار و تابستان مشابه ولی در زمستان بهتر به‌دست آمد. به نظر می‌رسد درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی که متاثر از یک واکنش شیمیایی است، نسبت به دمای محلول، بیشتر به عوامل محیطی مانند اسیدیته و غلظت اولیه اکسیژن مورد نیاز شیمیایی فاضلاب بستگی دارد.

تالاب ترکیبی

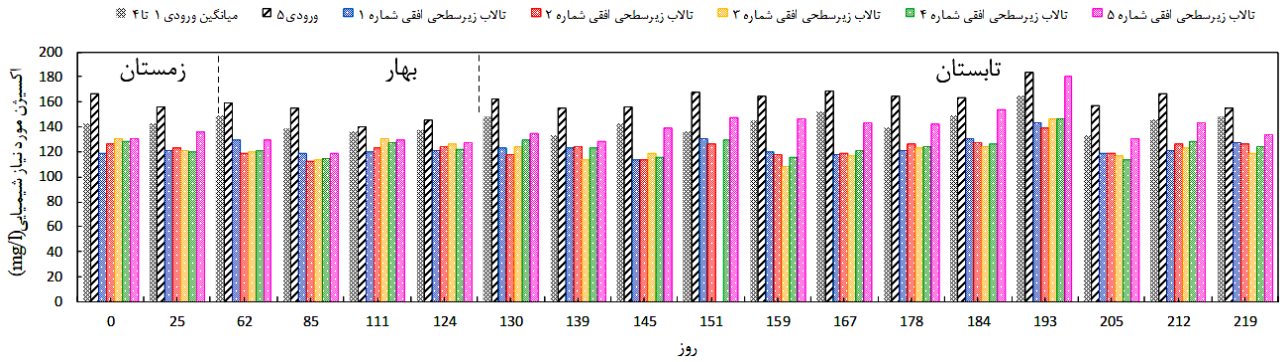
تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی و خروجی تالاب ترکیبی در شکل ۱۰ آورده شده است. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی خروجی از تالاب‌های ترکیبی حدود ۴۰ درصد کمتر از غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی به‌دست آمد. میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان به‌ترتیب ۲۲۳/۷۵، ۲۲۴/۸۱ و ۲۱۵/۵ میلی‌گرم بر لیتر و میانگین غلظت خروجی از تالاب‌ها به‌ترتیب ۱۲۲/۶، ۱۲۵/۵۱ و ۱۳۱/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر دیده شد. بیشترین غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی خروجی در تالاب شاهد بود و افزایش دما تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی تالاب‌های ترکیبی نداشت این درحالی است که اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی تحت تاثیر افزایش دما قرار گرفت.

بررسی اثر نوع گیاه بر عملکرد تالاب

میانگین درصد حذف مؤثر تالاب‌های دارای گیاه نی و تیفا و شاهد در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان در جدول ۴ آورده شده است. در حذف اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی عملکرد گیاه نی و تیفا مشابه بود و با ورود به فصل بهار و تابستان و افزایش تبخیر-تعرق و جذب املاح توسط ریشه، افزایش عملکرد دیده شد. مقایسه میانگین درصد حذف تالاب‌ها به روش One –Way ANOVA در سطح احتمال ۵ درصد نشان داد که عملکرد گیاه تیفا بهتر از نی بود اما میزان تفاوت معنی‌دار نبود ولی عملکرد تالاب‌های دارای گیاه به‌طور میانگین دو برابر تالاب شاهد بود. لطفی و مامقانی‌نژاد (۱۱) و تیلاک و همکاران (۱۷) نیز در مطالعات خود برتری نسبی گیاه تیفا نسبت به نی را در حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیولوژیکی نشان دادند. حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی عملکرد تالاب زیرسطحی عمودی دارای گیاه با گذشت زمان و افزایش تبخیر-تعرق، کاهش نشان داد. عملکرد تالاب در دو گیاه نی و تیفا مشابه و در تالاب شاهد به‌طور متوسط ۱۷ درصد کمتر از دو تالاب دیگر بود. مقایسه عملکرد تالاب‌های ترکیبی ۱ تا ۴ نشان داد که ترکیب استفاده از گیاهان نی و تیفا در بهبود اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی تفاوتی با تالاب‌های تک نوع گیاه نداشت. همچنین تفاوت ترتیب استفاده از گیاهان نی و تیفا در تالاب‌ها (تالاب‌های ۳ و۴) بر عملکرد حذف تاثیر نشان نداد.

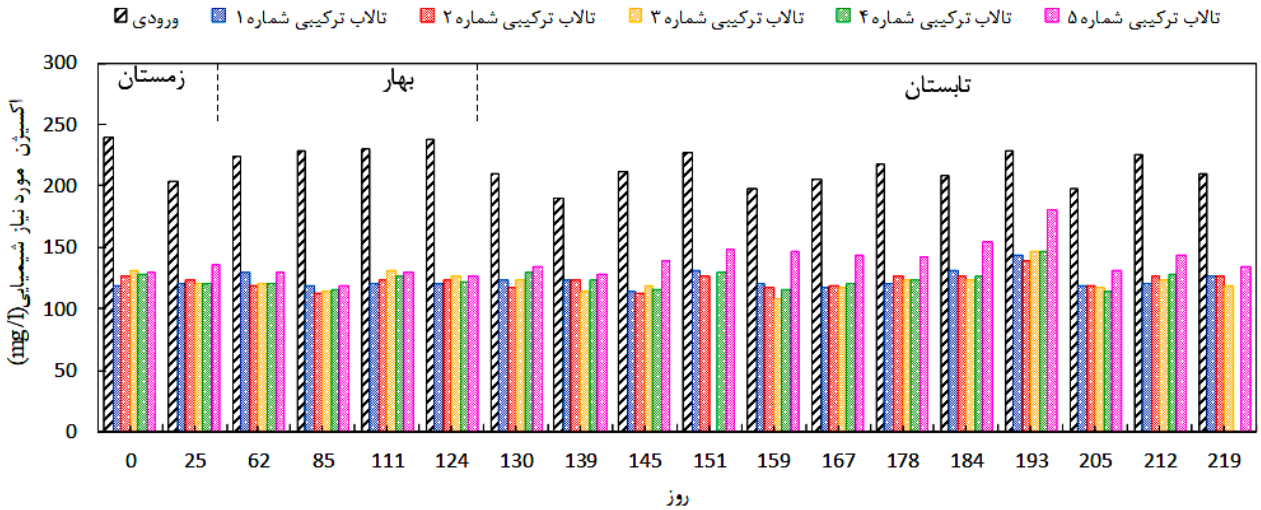
بررسی اثر نوع جریان آب در بستر تالاب‌های عمودی و ترکیبی

میانگین درصد حذف تالاب عمودی و ترکیبی در فصل‌های



شکل ۹. تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی و خروجی تالاب زیرسطحی افقی

(شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)



شکل ۱۰. تغییرات غلظت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی ورودی و خروجی تالاب ترکیبی

(شروع روز از تاریخ ۲۵ آذر ۱۳۹۹ است)

جدول ۴. میانگین درصد حذف مؤثر گیاهان نی و تیفا در تالاب زیرسطحی عمودی و ترکیبی

نوع تالاب	پارامتر کیفی	گیاه تیفا				گیاه نی				شاهد			
		زمستان	بهار	تابستان	میانگین	زمستان	بهار	تابستان	میانگین	زمستان	بهار	تابستان	میانگین
زیرسطحی عمودی	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	۱۳	۳۰	۴۱	۲۸	۱۲	۲۹	۳۹	۲۷	۵	۱۱	۱۶	۱۱
	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	۳۵	۳۴	۳۱	۳۳	۳۵	۳۴	۳۰	۳۳	۲۷	۲۷	۲۴	۲۶
ترکیبی	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	۲۳	۷۰	۹۰	۶۱	۲۱	۶۹	۸۶	۵۹	۱۳	۲۸	۳۷	۲۶
	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	۴۸	۴۸	۴۵	۴۷	۵۲	۴۸	۴۴	۴۸	۴۹	۴۱	۳۵	۴۲

جدول ۵. میانگین درصد حذف مؤثر درتالاب در فصل‌های زمستان، بهار و تابستان

پارامتر کیفی	تالاب زیرسطحی عمودی				تالاب ترکیبی			
	زمستان	بهار	تابستان	میانگین	زمستان	بهار	تابستان	میانگین
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	۱۳	۳۰	۴۰	۲۷/۷	۲۰	۵۷	۶۹	۴۸/۷
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	۳۵	۳۴	۳۲	۳۷/۷	۴۷	۴۴	۴۱	۴۴/۰

زمستان، بهار و تابستان در جدول ۵ آمده است. در تالاب ترکیبی، درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی در زمستان، بهار و تابستان به ترتیب ۵۴، ۹۰ و ۷۲ درصد بیشتر از تالاب زیرسطحی عمودی به‌دست آمد. میزان درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی در شرایط مشابه به ترتیب ۳۴، ۲۹ و ۲۸ درصد بیشتر بود. بنابراین عملکرد تالاب ترکیبی به‌طور میانگین با ۷۵ و ۳۱ درصد بیشتر از تالاب عمودی، بهبود مؤثرتری بر کیفیت فاضلاب نشان داد. نتایج مطالعات پیشین در خصوص موفقیت تالاب‌های ترکیبی در کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی و بیولوژیکی نشان داد که درصد حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بیشتر و یا اختلاف کمی نسبت به اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی دارد (۲، ۵، ۱۶). این در حالی است که طبق نتایج این پژوهش در تالاب ترکیبی، درصد حذف اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی بین ۲۰ تا ۶۹ و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بین ۴۱ تا ۴۷ بود. به نظر می‌رسد اثر فصل و افزایش دما بر بهبود عملکرد تالاب‌ها در حذف اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی بسیار مهم است به‌طوری که در فصل زمستان حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی بهتر صورت گرفته است.

میانگین غلظت اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی و مقادیر مجاز برای مصارف مختلف در استانداردهای سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران و استاندارد قانون برنامه سوم توسعه در جدول ۶ آورده شده است. فاضلاب خروجی از تالاب زیرسطحی عمودی، طبق هر دو استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست و قانون برنامه سوم توسعه، برای هیچ مصرفی مجاز شمرده نشد ولی فاضلاب خروجی از تالاب ترکیبی صرفا برای مصرف کشاورزی قابل استفاده تشخیص داده شد. بر اساس هر دو استاندارد، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی فاضلاب خروجی از تالاب‌های عمودی و ترکیبی مناسب تخلیه به آب‌های سطحی و چاه‌های جاذب نبود، اما برای مصرف کشاورزی مجاز شد.

نتیجه‌گیری

برای بررسی عملکرد تالاب‌های دارای گیاهان بومی منطقه مانند نی و تیفا در بهبود کیفیت فاضلاب شهر رشت، آزمایشی در دو نوع تالاب زیرسطحی عمودی و ترکیبی انجام شد. نتایج نشان داد که دو پارامتر اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی که شاخص‌های مهم آلودگی محیط‌زیست هستند، توسط تالاب با و بدون گیاه قابل بهبود هستند. درصد کاهش اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی با بیشتر شدن دمای هوا در هر دو تالاب بیشتر شد. همچنین گیاه تیفا نسبت به نی در بهبود این پارامتر مؤثرتر بود. عملکرد تالاب‌ها در کاهش اکسیژن مورد نیاز شیمیایی نسبت به زمان و افزایش دمای هوا، تغییر نداشت ولی حضور گیاه در تالاب‌ها برای بهبود وضعیت اکسیژن مورد نیاز شیمیایی مؤثر بود. عملکرد تالاب ترکیبی در بهبود اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی فاضلاب بیشتر از تالاب عمودی بود ولی میزان اثرگذاری در خصوص اکسیژن مورد نیاز شیمیایی کمتر بود. مقایسه نتایج با پژوهش‌های پیشین نشان داد که طیف وسیعی از عملکرد تالاب‌ها بسته به کیفیت فاضلاب، اقلیم و نوع گیاه دیده می‌شود که در برخی موارد نتایج حذف آن‌ها بهتر بود. تالاب ترکیبی در حدود دو برابر بهتر از تالاب

جدول ۶. میانگین غلظت پارامترهای خروجی از تالاب زیرسطحی عمودی و ترکیبی

پارامتر	میانگین غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)		استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست ایران			استاندارد قانون برنامه سوم توسعه		
	زیرسطحی عمودی	ترکیبی	تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به چاه جذب	مصارف کشاورزی	تخلیه به آب‌های سطحی	تخلیه به آب‌های زیرزمینی	مصارف کشاورزی
اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی	۱۱۹	۸۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	۵۰	۵۰	۱۰۰
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی	۱۴۶	۱۲۶	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰

عمودی توانست کیفیت فاضلاب را ارتقا دهد اگرچه هزینه بیشتری به لحاظ ساختمانی و اجرایی نسبت به تالاب عمودی دارد. مقایسه میانگین غلظت فاضلاب خروجی از تالاب‌ها با استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست و قانون برنامه سوم توسعه نشان داد که تنها فاضلاب خروجی از تالاب ترکیبی برای مصرف کشاورزی قابل استفاده بود و امکان تخلیه به منابع آب سطحی یا چاه‌های جذب را ندارد. از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که برای بهبود پارامترهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی فاضلاب تحویلی به تصفیه‌خانه فخب رشت، تالاب ترکیبی دارای گیاه نی یا تیفا قابل توصیه است.

تقدیر و تشکر

این مقاله مستخرج از طرح با کد ۴۴۲۰۸۵۶ تحت حمایت مشترک شرکت مهندسی کنترل سازان فرآیند (شماره قرارداد ۱۱۱۲۵۳/پ ۱۵) و پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان است. ضمن تشکر از حمایت‌کنندگان این طرح، امید است که دستاوردهای آن مورد استفاده سازمان‌ها و متولیان امور آب قرار گیرد.

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. (in Farsi)
2. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. Crop Evapotranspiration. Irrigation and Drainage paper Np. 56. Food and Agriculture Organization of United Nations, Rome.
3. Denisi, P., N. Biondo, G. Bombino, A. Folino, D. A. Zema, and S. M. Zimbone. 2021. A Combined System Using Lagoons and Constructed Wetlands for Swine Wastewater Treatment. *Sustainability* 13: 12390.
4. Gorgoglione, A., and V. Torretta. 2018. Sustainable management and successful application of constructed wetlands: A critical review. *Journal of Sustainability* 10: 3910-3929.
5. Haghshenas-Adarmanabadi, A., M. Heidarpour and S. Tarkesh-Esfahani. 2016. Study of the efficiency of hybrid subsurface constructed wetlands in reducing the organic loading of municipal wastewater treatment plants using various aquatic plants. *Journal of Water and Soil Science* 20: 111-126.
6. Huang, X., L. Chaoxiang, L. Ke, S. Jianqiang, Z. Gefu, and L. Lin. 2015. Performance of vertical up-flow constructed wetlands on swine wastewater containing tetra cyclines and tet genes. *Journal of Water Research*, 70: 109-117
7. Hussein, A., and M. Scholz. 2017. Dye wastewater treatment by vertical-flow constructed wetlands. *Journal of Ecological Engineering* 101: 28-38.
8. Karam, F., R. Haddad, N. Amacha, W. Charanek and J. Harmand. 2023. Assessment of the impacts of phyto-remediation on water quality of the litani river by means of two wetland Plants (Sparganium erectum and Phragmites australis). *Water* 15: 4.
9. Khan, N., E. Morabet, R. Khan, R. Ahmed, S. Dhingra, A. Alsubih and A. Khan. 2020. Horizontal subsurface flow constructed wetlands coupled with tube settler for hospital wastewater treatment. *Journal of Environmental*

Management 267: 110627-110634.
10. Liu, J., X. Zhang, T. Li, Q. Wu and Z. Jin. 2014. Soil characteristics and heavy metal accumulation by native plants in a Mn mining area of Guangxi, South China. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 186 (4): 2269-2279.
11. Lotfi, A., and M. Mamaghaninejad. 2020. Application of subsurface constructed wetland in urban wastewater treatment in cold and dry climate (Case study: Arak city wastewater treatment). *Journal of Water and Soil Science* 23(4): 253-265. (in Farsi)
12. Masi, F., and N. Martinuzzi. 2007. Constructed wetlands for the Mediterranean countries: hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation. *Journal of Desalination* 215: 44-55.
13. Mustafa, H. M. and G. Hayder. 2020. Recent studies on applications of aquatic weed plants in phytoremediation of wastewater: A review article. *Ain Shams Engineering Journal* 12: 355–365.
14. Rakhshani, R. M. Farasati, A. Heshmatpour and M. Seyedian. 2020. The Effect of Alagol Wetland on the Water Treatment of Atrak River. *Journal of Water and Soil Science* 24 (1): 181-196. (in Farsi)
15. Saeed, T., M. Miah, N. Majed, K. Alam, and T. Khan. 2021. Effect of effluent recirculation on nutrients and organics removal performance of hybrid constructed wetlands: Landfill leachate treatment. *Journal of Cleaner Production* 282: 125427-125434.
16. Silva, F. P., C. A. Lutterbeck, G. S. Colares, G. A. Oliveira, L. R. Rodrigues, N. Dell'Osbel, A. L. Rodriguez, D. A. R. Lopez, G. Gehlen, and E. L. Machado. 2021. Treatment of university campus wastewaters by anaerobic reactor and multi-stage constructed wetlands. *Journal of Water Process Engineering* 42: 102119.
17. Tilak, A., P. Wani, and A. Datta. 2016. Evaluating wastewater treatment efficiency of two field scale subsurface flow constructed wetlands. *Journal of Current Science* 110: 1764-1772.
18. Department of Environment of Iran. 1992. Wastewater standard. Available on-line on: *https://phc.umsu.ac.ir/uploads/wastewater_standards.pdf*.
19. The Department of Environment of Iran. 1995. Executive regulations of Clause (J) of Article 104 and 134 of the Third Development Plan Law.
20. Vazquez, A. M., A. Samudio-Oggero, H. D. Nakayama and I. Cantero-García. 2023. Sub-surface flow constructed wetland for the treatment of sewage generated in a municipal park. *Global Journal of Environmental Science and Management* 9: 545-558.
21. Vymazal, J. 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Journal of Science of the Total Environment* 380: 48-65**.**
22. Vymazal, J. 2010. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water* 2: 530-549.
23. Vymazal, J. 2013. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Journal of Ecological Engineering* 61: 582-592**.**
24. Vymazal J., and T. Dvořáková Březinová. 2018. Treatment of a small stream impacted by agricultural drainage in a semi-constructed wetland. *Science of the Total Environment* 643: 52-62.
25. Wu, H., J. Zhang, H. Ngo, W. Guo, Z. Hu, S. Liang, J. Fan, and H. Liu. 2015. A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation. *Journal of Bioresource Technology* 175: 594-601.
26. Yazdani, V., and H. Alizadeh Golestani. 2019. Advanced treatment of dairy industrial wastewater using vertical flow constructed wetlands. *Journal of Desalination and Water Treatment* 162: 149-155.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 3, Fall 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Performance of the Constructed Wetland Cultivated with *Phragmites australis* and *Typha latifolia* to Improve the Biological and Chemical Oxygen Demand of Fakhb Treatment Plant in Rasht

S. Najmi[1], M. Navabian[2*] and M. Esmaeili Varaki[2]

(Received: February 9-2023 ; Accepted: June 21-2023)

Abstract

The increasing need for water resources and controlling the discharge of wastewater into the environment shows the necessity of wastewater treatment. Green methods such as constructed wetlands and phytoremediation use biological processes in the environment for wastewater treatment. Considering the effect of cultivated constructed wetland performance from wastewater quality and climatic factors, the objective of this study was to evaluate the performance of hybrid and subsurface vertical and horizontal wetlands to improve the biological and chemical oxygen demand of the wastewater treatment plant in Rasht City. The effect of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* plants on the treatment performance was investigated. Wastewater retention time in wetlands varies from monthly in winter and weekly in spring and summer. The results showed that the performance of wetlands in reducing biological oxygen demand (BOD) was more than chemical oxygen demand (COD). Plants improved the performance of the wetland by more than 50%, but no significant difference was observed between the performances of the two plants. The arrangement of the plant's **c**ultivation was not effective in the amount of biological and chemical oxygen removal. The hybrid wetland was able to improve the wastewater quality twice as much as the vertical wetland. Comparing the concentration of the effluents from the wetlands with the standards showed that the effluents from the hybrid wetlands could only be used for agricultural consumption.

Keywords: Effect of temperature, Horizontal and vertical subsurface wetlands, Hybrid wetlands, Arrangement of plant's cultivation, Environment

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, University of Guilan, Guilan, Iran.
2. Department of Water Engineering, College of Agriculture, University of Guilan, and Research member of Department of Water and Environmental Engineering, Caspian Sea Water Basin Research Institute, University of Guilan, Guilan, Iran.
*: Corresponding author, Email: Navabian@guilan.ac.ir