کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران
دانشگاه تهران، تهران
۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵

1311O-NWWCE

حذف تکمیلی BOD_5 و COD از پساب خروجی تصفیه‌خانه بابل در وتلندهای گیاهان تیفا لاتیفولیا و نی استرالیایی

مهدی حسن‌پور[1*]، مصطفی داوودی‌نژاد[2]، سعید خلیلی چالی[3]

۱- کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست (آب و فاضلاب)، رئیس اداره بهره‌برداری فاضلاب امور آب و فاضلاب شهری منطقه بابل

۲- کارشناسی ارشد مهندسی شیمی (انرژی و محیط‌زیست)، کارشناس مسئول آزمایشگاه کنترل کیفی امور آب و فاضلاب شهری منطقه رامسر

۳- کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست (آب و فاضلاب)، کارشناس دفتر فنی و خدمات مهندسی شرکت آب و فاضلاب استان مازندران

*mehdihasanpour3145@gmail.com

خلاصه

این مطالعه از نوع تجربی و کاربردی به روش وتلند با موضوع بررسی و مقایسه تصفیه تکمیلی پساب تصفیه‌خانه شهر بابل با استفاده از گیاهان لویی گونه تیفا لاتیفولیا و نی گونه استرالیایی برای کاهش میزان اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD5) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) در پایلوت ساخته‌شده انجام شد. به این منظور سه راکتور در موازات هم با ابعاد ۳ متر طول، ۱ متر عرض، عمق بستر ۳۰ سانتی‌متر و ۱۰ سانتی‌متر منطقه آزاد برای گونه‌های گیاهی تیفا لاتیفولیا، نی استرالیایی و سومی به‌عنوان شاهد ساخته شد. محل استقرار پایلوت در کنار کانال پساب خروجی در تصفیه‌خانه فاضلاب بابل انتخاب شد. شروع طراحی و ساخت پایلوت، بهمن‌ماه ۱۳۹۴ بود. الگوی جریان رآکتورها از نوع زیرسطحی با جریان افقی بود. نتایج بهره‌برداری تالاب‌ها نشان داد که حداکثر راندمان حذف BOD5 و COD برای حوضچه‌های تیفا لاتیفولیا و نی به‌ترتیب ۷۹/۰۵ و ۸۲/۵۹ درصد و ۶۸/۸۳ و ۷۸/۴۴ درصد در مدت زمان ۵ روز به‌دست آمد. مقایسه کلیه نتایج به‌دست آمده نشان داد که در تمامی موارد حوضچه نی راندمان بیشتری در حذف مواد مغذی نسبت به حوضچه لویی داشت.

کلمات کلیدی: تصفیه تکمیلی، وتلند زیرسطحی، تیفا لاتیفولیا، نی استرالیایی، گیاه‌پالایی.

۱. مقدمه

وتلندهای مصنوعی به‌علت بهره‌برداری، نگهداری و راهبری بسیار ساده و ارزان‌قیمت بودن، روشی اقتصادی و مقرون‌به‌صرفه در تصفیه فاضلاب محسوب می‌شوند که از آن‌ها می‌توان در کشورهای در حال توسعه که با مشکل آلودگی آب‌ها به‌وسیله فاضلاب مواجه هستند، استفاده کرد. در کشورهای توسعه‌یافته برای تصفیه فاضلاب خانگی و رواناب‌های کشاورزی، تصفیه فاضلاب صنایع، تصفیه شیرابه محل دفن زباله، تصفیه سیلاب و رواناب شهری، زلال‌سازی و تصفیه پیشرفته پساب، احیاء دریاچه‌های اتوتروفیک، تصفیه آب‌های آلوده به مواد مغذی نظیر نیترات و فسفات از وتلندهای مصنوعی استفاده می‌شود [۱]. گیاهان از مهم‌ترین اجزای سیستم‌های وتلندهای مصنوعی هستند. حضور آن‌ها در وتلندهای مصنوعی احتمالاً دلیل اصلی است که وتلندهای مصنوعی را تکنولوژی سبز

می‌نامند. گونه‌های گیاهی استفاده شده در وتلندهای مصنوعی معمولاً شبیه گونه‌هایی است که در وتلندهای طبیعی وجود دارند. گیاهان وتلند (عمدتاً گیاهان آوندی، به‌عنوان ماکروفیت‌ها نیز شناخته می‌شوند) در آب‌هایی با شرایط نیمه اشباع یا کاملاً اشباع رشد می کنند. به منظور مناسب بودن برای استفاده در وتلندهای مصنوعی، ماکروفیت‌های انتخاب شده باید به‌خوبی با شرایط اکولوژیکی محلی سازگار شده باشند، در شرایط آب و هوای منطقه موردنظر، زنده بمانند و رشد کنند و در برابر آفت‌ها، حشرات و ظهور بیماری‌ها مقاوم باشند، در برابر تنوع آلاینده‌های موجود در فاضلاب (مواد آلی، نیتروژن، فسفر، فلزات سنگین و غیره) با ظرفیت حذف بالای همزمان چه از طریق جذب مستقیم یا به‌طور غیرمستقیم با تامین شرایط لازم (افزایش انتقال اکسیژن) برای سایر مکانیزم‌های حذف، مقاوم باشند. استفاده از گونه‌های محلی (بومی) در تاسیسات وتلندهای مصنوعی حیاتی می‌باشد، زیرا وارد کردن گونه‌های بیگانه (گونه‌هایی که به‌طور طبیعی در منطقه وجود ندارند)، ممکن است چندین خطر اکولوژیکی نظیر تهاجم و/ یا بیماری ایجاد نمایند [۲-۴].

یکی از گیاهانی که اخیراً بعنوان عامل تصفیه در وتلند مورد توجه قرار گرفته است گیاه لوئی می باشد که نام علمی جنس این گیاه *تیفا لاتیفولیا*[۱] می باشد که سرده‌ای است از لوئیان علفی تک‌پایه با حدود پانزده گونه که در زیستگاه‌های مرطوب جهان مخصوصاً نیمکره شمالی می‌رویند؛ برگ‌های آنها متناوب و معمولاً قاعده‌ای و به یک ساقه ساده بدون گره متصل است و گل‌های تک‌جنسی آن‌ها در گل‌آذین سنبله متراکم قرار دارد و گرده‌افشانی در آنها با باد انجام می‌شود؛ گل نر به یک جفت پرچم و کرک تقلیل یافته‌است و تعداد زیادی از گل‌های ماده در زیر گل نر بر روی ساقه تشکیل یک سنبله سوسیس شکل می‌دهند. نام دیگر آن لوئی می‌باشد که گیاهی است چند ساله با ساقه‌های زیرزمینی و میوه‌های استوانه‌ای مخمل مانند به رنگ قهوه‌ای و خرمایی و بومی مرداب‌ها، برکه‌ها و باتلاق‌های معتدل و آب‌های شیرین و با ویژگی برگ‌ریزان پاییزی که ارتفاع آن به یک تا دو متر و البته در مناطقی ارتفاعش به ۵ متر نیز می‌رسد. عرض برگ آن به ۲ تا ۴ سانتی متر می رسد و معمولاً ذر عمق آب ۰/۷۵ تا ۱ متری رشد می کند. این گیاه، به فراوانی در جلگه‌ها و مناطق باتلاقی شمال ایران می‌روید و از برگ‌های آن برای ساخت حصیربافی، سبد بافی استفاده می‌شود. این گیاه از نظر آناتومیکی، این گیاه آبدوست است، ولی به لحاظ سیستم ریشه‌ای گسترده و کارکرد گیاه، در گروه خشکی پسندها طبقه‌بندی می گردد. به‌دلیل خواص ویژه و عملکرد فوق‌العاده‌ای که گیاه لوئی در تصفیه فاضلاب و کاهش فاکتورهای آلوده‌کننده آب و مقاوم به تجزیه از خود نشان داده است، هم اکنون در بعضی از نقاط دنیا، به‌عنوان بخشی از سیستم تصفیه فاضلاب‌های خانگی به‌صورت محلی مورد استفاده قرار می گیرد [۵].

نی با نام علمی *فراگماتیس استرالیس*[۲] یک گیاه علفی بلند، ریزوم‌دار و پایا است که ۱/۵ تا ۳ متر رشد می کند. دارای برگ‌های غلاف‌شکل و پهن است که ابتدا فقط ۴ سانتی‌متر پهنا دارد. نی در فصل بهار، شاخ و برگی به رنگ سبزخاکستری دارد. ساقه‌های جدید و ریزوم‌های آن ابتدا به‌طور افقی و در بهار رشد می‌کند و در تیرماه گل می‌دهد. نی‌ها در حاشیه تالاب‌ها گروه‌های متراکمی تشکیل می‌دهند و دانه‌های آنها به کمک باد و آب در مسیر رودخانه پراکنده می‌شود. نی، بومی اوراسیا است، ولی به مناطق معتدل ایالات متحده نیز راه یافته است [۶].

مکانیزم حذف آلاینده‌ها در وتلندهای مصنوعی شامل مجموعه‌ای از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک می‌باشد که برای تصفیه آلاینده‌های مختلف فاضلاب از جمله مواد آلی، شوینده‌ها، ترکیبات ازته و فسفره، فلزات سنگین و مواد جامد معلق و ... استفاده می‌شوند [۷]. در وتلندها مکانیسم‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی و همچنین تصفیه به‌وسیله گیاهان (به‌طور عمده ماکروفیت‌ها)، جلبک‌ها، میکروارگانیسم‌ها، آب، خاک و خورشید (فرآیندهای مستقیم مانند تجزیه نوری) انجام می‌پذیرد. مهم‌ترین مکانیسم حذف آلاینده‌ها در وتلندهای با جریان زیرسطحی، توسط فیلتراسیون فیزیکی جامدات معلق توسط توده بیولوژیکی و تراکم پوشش گیاهی مناسب و سرعت کم جریان حاصل می گردد [۸]. سایر مکانیسم‌ها شامل ترسیب شیمیایی و جذب نوترینت‌ها مثل فسفات به‌وسیله خاک، شکار شدن و مرگ طبیعی پاتوژن‌ها مانند اشرشیاکلی توسط افزایش تنوع و دانسیته شکارچیان طبیعی (مانند پروتوزوئرها) و افزایش تابش اشعه ماوراء بنفش خورشید است [۹]. جریان فاضلاب در وتلندهای زیرسطحی می‌تواند به‌صورت جریان عمودی رو به بالا و جریان افقی ساخته شود، وتلند از شن، ماسه و خاک با دانه‌بندی مناسب پر می گردد. این بستر سطح مناسبی را برای رشد میکروب‌ها ایجاد می کند. بخش مهم در مکانیزم تصفیه فاضلاب با وتلندها حضور و فعالیت گیاهان آبزی و میکروارگانیسم‌ها انتقال اکسیژن از هوا به ریشه گیاهان می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که گیاهان آبزی مردابی نقش مهمی را در تصفیه فاضلاب به‌طور مستقیم و غیرمستقیم ایفا می کنند [۱۰].

---

[۱] *Typha Latifolia*

[۲] Phragmites Australis

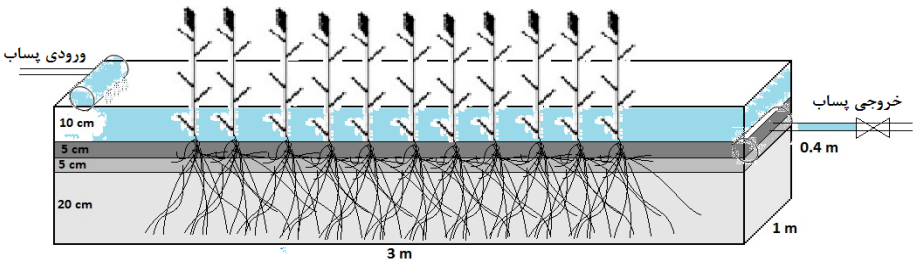
۲. مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع تجربی و کاربردی با موضوع بررسی و مقایسه تصفیه تکمیلی پساب تصفیه‌خانه شهر بابل با استفاده از گیاهان لویی گونه تیفا لاتیفولیا و نی گونه استرالیایی برای کاهش BOD_5 و COD در مقیاس پایلوت انجام شد. بدین منظور سه پایلوت در موازات هم با ابعاد ۳ متر طول، ۱ متر عرض، عمق بستر ۳۰ سانتی‌متر و ۱۰ سانتی‌متر منطقه آزاد ساخته شد. جنس سازه بلوکی بوده و لیسه‌کشی سطح انجام شد. جهت جلوگیری از نشت سازه عایق سطحی، ایزوگام در روی سطح لیسه‌ای نیز انجام شد. مصالح فیلتراسیون جهت کاشت گیاه در پایلوت، نخودی ریز با قطر ۲۰-۱۰ میلی‌متری به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر شسته شده و با ضریب تخلخل محاسبه‌شده ۰/۳۳ در کف حوض، شن و ماسه با دانه‌بندی متوسط (قطر ۱۵-۸ میلی‌متر) و با ضریب تخلخل ۰/۰۲ به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و ماسه بادی با قطر ۵-۱ میلی‌متر به ارتفاع ۵ سانتی‌متر با ضریب تخلخل ۰/۰۲ تهیه و در پایلوت با دقت ریخته و تسطیح گردید. مقدار خاک رس نیز جهت ایجاد محیط مناسب رشد گیاهان به رآکتورها اضافه شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات اجزای تشکیل‌دهنده بستر پایلوت.

نوع بستر	حداکثر اندازه دانه‌ها (میلی‌متر)	عمق بستر (سانتی‌متر)	تخلخل
نخودی ریز	۲۰	۲۰	۰/۳۳
شن و ماسه	۱۵	۵	۰/۰۲
ماسه بادی	۵	۵	۰/۰۲

محل استقرار پایلوت در کنار کانال پساب خروجی در تصفیه‌خانه فاضلاب بابل انتخاب شد. شروع طراحی و ساخت پایلوت، بهمن‌ماه ۱۳۹۴ بود. جهت انتقال پساب از داخل کانال خروجی تصفیه‌خانه (کانال پساب) با ارتفاع ۱- از روی سطح به ورودی پایلوت از یک پمپ خود تزریق آب با دبی حداکثر استفاده گردید که توانایی تأمین دبی جهت ایجاد زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز را به‌طور پیوسته داشت. الگوی جریان رآکتورها از نوع زیرسطحی با جریان افقی بود. برای انتقال یکنواخت پساب به ورودی رآکتورها، یک لوله پی.وی.سی مشبک به اندازه عرض رآکتور در بالای هرکدام قرار داده شد. در خروجی نیز در نقطه انتهایی داخل رآکتورها، در قسمت کف رآکتور، از یک لوله مشبک استفاده شد و همچنین یک شیر تخلیه در ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری از آن جهت برداشت نمونه و تنظیم سطح رآکتور نصب گردید (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱- نمای شماتیکی از طرح اولیه پایلوت.

سه رآکتور به طریقه تشریح‌شده، برای گونه‌های گیاهی لاتیفولیا و نی و سومی به‌عنوان شاهد ساخته شد. بوته گیاهان به‌دلیل بومی بودن گیاهان در آب‌بندان‌های اطراف شهر بابل با ارتفاع ۳۰-۲۰ سانتی‌متری برای لاتیفولیا و ۵۰-۴۰ سانتی‌متری برای نی انتخاب و جهت تیمار کردن با پساب به‌صورت بوته‌ای

در شرایط آزمایشگاهی به مدت ۱۰ روز نگه‌داری و سپس سالم‌ترین بوته‌ها انتخاب و در رآکتور با فاصله طولی مناسب و یک اندازه کاشته شده و با تزریق پساب فاضلاب شهری کشت داده شد (شکل ۳).

شکل ۲- نماهایی از محل استقرار و پایلوت.

پمپ ورودی پساب برای انتقال پیوسته پساب فاضلاب شهری به داخل رآکتورها در زمان ماند ۱، ۳ و ۵ روز به شرح ذیل تنظیم شد:

- زمان ماند یک روزه با دبی ۱۰ لیتر بر ساعت برای هر رآکتور با اندازه‌گیری دقیق و تنظیم شیر ورودی به‌مدت زمان راهبری ۱۰ روز تنظیم شد و پس از چند روز و حذف خطاهای بهره‌برداری هر رآکتور در تاریخ ۲۰ اردیبهشت ۹۵ نمونه‌برداری از ورودی و خروجی‌ها شروع و به‌صورت هر روزه انجام گردید و نتایج رآکتورها به‌صورت جداگانه در جداول Excel 2010 ثبت شد.
- زمان ماند سه روزه با دبی ۳/۳ لیتر بر ساعت برای هر رآکتور با اندازه‌گیری دقیق و تنظیم شیر ورودی به‌مدت زمان راهبری ۱۰ روز تنظیم و در تاریخ ۴ خردادماه ۹۵ نمونه‌برداری از ورودی و خروجی آغاز شد.
- زمان ماند پنج روزه با دبی ۲ لیتر بر ساعت برای هر رآکتور با اندازه‌گیری دقیق و تنظیم شیر ورودی به‌مدت زمان راهبری ۱۰ روز تنظیم شد و در تاریخ ۱۸ خردادماه ۹۵ نمونه‌برداری از ورودی و خروجی آغاز شد.

نمونه‌برداری از ورودی و خروجی پایلوت‌ها به‌صورت نمونه مرکب هر روزه در ظروف نمونه‌گیری جمع‌آوری و به آزمایشگاه تصفیه‌خانه برای انجام آزمایشات منتقل می‌شد. در مجموع ۱۲۰ نمونه جمع‌آوری و برای اندازه‌گیری فاکتورهای اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی و شیمیایی با روش‌های استاندارد اشاره‌شده در کتاب «روش‌های استاندارد آزمایشات آب و فاضلاب»، به آزمایشگاه حمل شدند.

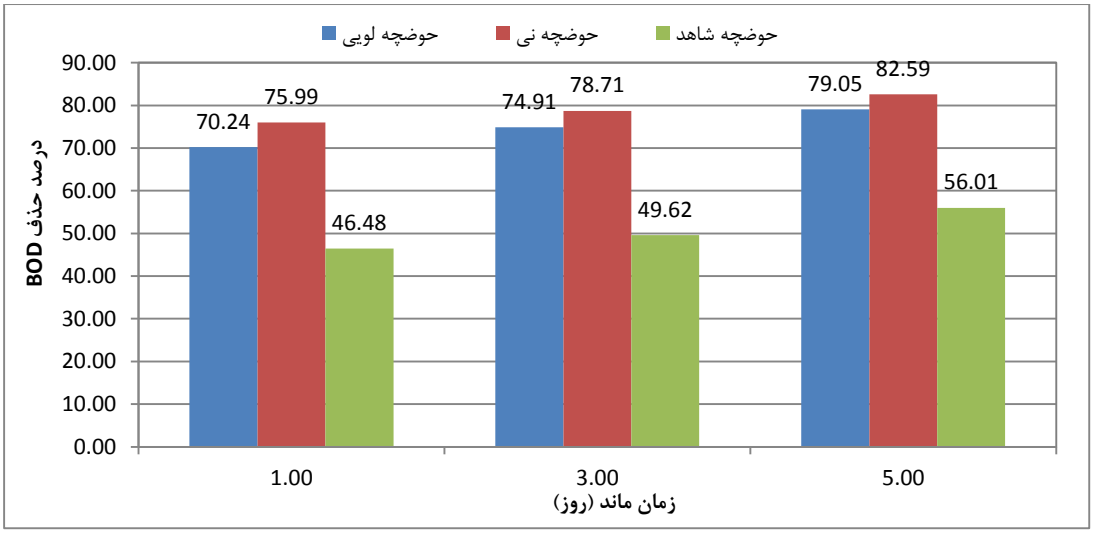
شکل ۳- نمایی از پوشش گیاهی (راست: تیفا لاتیفولیا؛ وسط: نی؛ چپ: شاهد) در وتلندهای مورد مطالعه.

۳. یافته‌های پژوهش

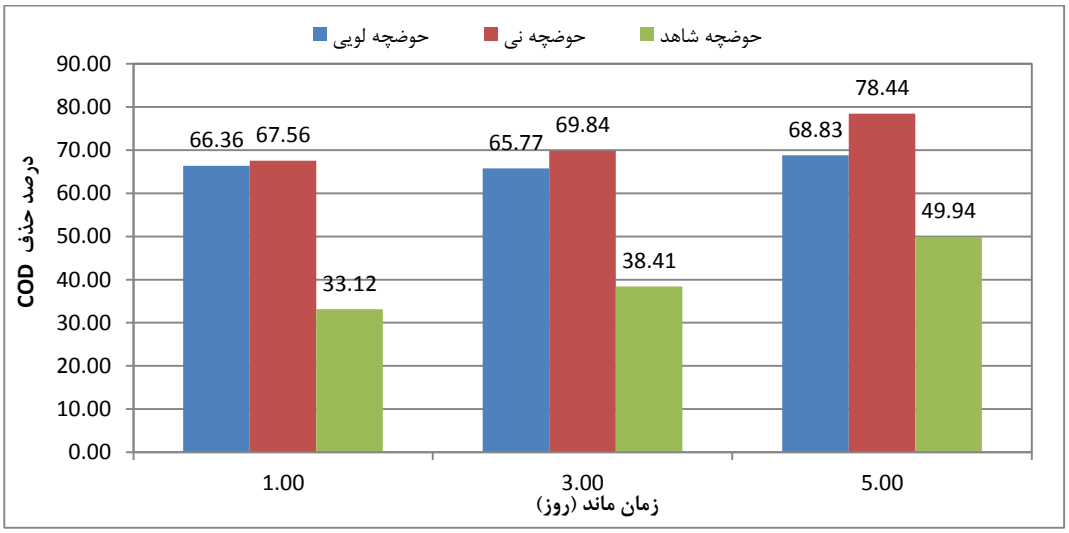
در این پژوهش، کارایی دو گیاه لویی (تیفا لاتیفولیا) و نی در حذف مواد آلی شامل BOD_5 و COD در پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری بابل به‌منظور تصفیه تکمیلی در غالب مطالعات در مقیاس پایلوت مورد بررسی قرار گرفت. پس از راهبری سیستم در سه زمان ماند ۱، ۳ و ۵ روز، مقادیر ورودی و خروجی پارامترها اندازه‌گیری و ثبت شده و نتایج به‌صورت جداول و نمودارهای زیر به‌دست آمد. در جدول ۲ میانگین و انحراف معیار پارامترهای ورودی و خروجی پایلوت‌ها ارائه شده و نتایج در شکل‌های ۴ و ۵ به‌ترتیب برای اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD_5) و اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) رسم شده است.

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار پارامترهای ورودی و خروجی پایلوت‌ها.

پارامتر	زمان ماند	ورودی (mg/l)	حوضچه تیفا لاتیفولیا		حوضچه نی		حوضچه شاهد	
			خروجی (mg/l)	راندمان ٪	خروجی (mg/l)	راندمان٪	خروجی (mg/l)	راندمان
COD	۱	۳۶/۶۷ ± ۱/۵۵	۱۲/۳۵ ± ۲/۰۷	۶۶/۳۶ ± ۵/۳۸	۱۱/۸۹ ± ۱/۹۵	۶۷/۵۶ ± ۵/۲۶	۱۴/۳۲ ± ۲/۲۱	۶۱/۰۶ ± ۴/۸۹
	۳	۳۵/۷۹ ± ۳/۲۵	۱۲/۲۰ ± ۲/۰۴	۶۵/۷۷ ± ۶/۲۳	۱۰/۷۸ ± ۱/۵۹	۶۹/۸۴ ± ۴/۰۶	۱۴/۵۰ ± ۱/۷۸	۵۹/۴۰ ± ۷/۱۸
	۵	۲۹/۲۰ ± ۳/۳۶	۹/۰۸ ± ۱/۱۲	۶۸/۸۳ ± ۲/۵۵	۶/۳۶ ± ۱/۷۰	۷۸/۴۴ ± ۳/۴۸	۱۴/۴۰ ± ۱/۹۵	۴۹/۹۴ ± ۹/۴۱
BOD	۱	۲۱/۸۷ ± ۷/۸۶	۶/۷۸ ± ۳/۹۳	۷۰/۲۴ ± ۱۱/۰۰	۵/۴۴ ± ۳/۳۷	۷۵/۹۹ ± ۹/۶۴	۱۱/۶۲ ± ۴/۴۷	۴۶/۴۸ ± ۱۳/۰۲
	۳	۲۱/۷۰ ± ۵/۶۷	۵/۳۹ ± ۱/۶۵	۷۴/۹۱ ± ۵/۰۷	۴/۶۴ ± ۱/۸۲	۷۸/۷۱ ± ۵/۰۷	۱۱/۱۶ ± ۳/۹۴	۴۹/۶۲ ± ۷/۵۴
	۵	۱۸/۹۷ ± ۴/۱۶	۳/۹۵ ± ۰/۹۰	۷۹/۰۵ ± ۳/۵۰	۳/۲۶ ± ۰/۷۲	۸۲/۵۹ ± ۳/۵۲	۸/۷۰ ± ۳/۹۷	۵۶/۰۱ ± ۱۱/۶۸



شکل ٤- حذف BOD_5 در وتلندهای لویی، نی و شاهد در زمان‌های ماند ۱، ۳ و۵ روز.



شکل ٥- حذف COD در وتلندهای لویی، نی و شاهد در زمان‌های ماند ۱، ۳ و۵ روز.

به‌منظور بررسی سطح معنی‌داری داده‌های به‌دست‌آمده و تأثیر واقعی نوع پوشش گیاهی و همچنین زمان ماند، آزمون مقایسه میانگین زوجی[۱] بر تک‌تک داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام شد. در این تحلیل، داده‌ها به‌صورت دو به دو (زوجی) تحت آزمون t-test قرار گرفتند و آزمون‌هایی که مقدار P-Value در آن کمتر از ۰/۰۵ مورد قبول قرار گرفت. بدین معنا که فرض برابری دو دسته از داده‌ها، در صورتی که مقدار P-Value<0.05 بود با درجه اطمینان بیش از ۹۵ درصد رد شد.

[۱] Paired Sample t-test

۴. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده نشان داد که با افزایش زمان ماند، در هر سه حوضچه درصد حذف BOD افزایش می‌یابد. به‌طوری که میزان حذف BOD در وتلندهای لویی، نی و شاهد در زمان ماند یک روز به‌ترتیب از ۷۰/۲، ۷۶/۰ و ۴۶/۵ درصد به ۷۹/۱، ۸۲/۶ و ۵۶/۰ درصد در زمان ماند پنج روز می‌رسد. انجام آزمون مقایسه میانگین Paired Sample t-test در نرم‌افزار SPSS نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج حذف BOD بین حوضچه‌های لویی، نی و شاهد در تمامی زمان‌های ماند وجود دارد. انجام همین آزمون نشان داد که اختلاف بین درصدهای حذف BOD با افزایش زمان ماند با درجه اطمینان بیش از ۹۵ درصد معنی‌دار است، بدین معنی که افزایش زمان ماند در هر سه حوضچه سبب افزایش حذف BOD شده است. لازم به ذکر است که در هر سه زمان ماند به‌طور معنی‌داری حوضچه‌های دارای پوشش گیاهی درصد حذف بیشتری از حوضچه شاهد داشتند.

با افزایش زمان ماند، درصد حذف COD در هر سه حوضچه افزایش می‌یابد، به‌طوری که در وتلندهای لویی، نی و شاهد در زمان ماند یک روز به‌ترتیب از ۶۶/۴، ۶۷/۶ و ۳۳/۱ درصد به ۶۸/۸، ۶۹/۸ و ۴۹/۹ درصد در زمان ماند پنج روز می‌رسد. انجام آزمون مقایسه میانگین Paired Sample t-test نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین نتایج حذف COD بین حوضچه‌های لویی و نی در زمان ماند یک روز وجود ندارد. انجام همین آزمون نشان داد که اختلاف بین درصدهای حذف COD با افزایش زمان ماند در هر سه حوضچه با درجه اطمینان بیش از ۹۵ درصد معنی‌دار است، یعنی با افزایش زمان ماند در هر سه حوضچه، حذف COD افزایش یافته است. درنهایت، در هر سه زمان ماند به‌طور معنی‌داری حوضچه‌های دارای پوشش گیاهی درصد حذف COD بیشتری از حوضچه شاهد داشتند.

در تحقیقی، احرامپوش و همکاران، توانستند تا ۷۳ درصد از BOD و تا ۷۴ درصد از COD فاضلاب شهر یزد را در سیستم وتلند با پوشش گیاه نخل مرداب حذف کنند [۱]. یوسفی و همکاران در پژوهشی توانستند با وتلند گیاه فرگماتیس استرالیس، BOD و COD فاضلاب پردیس دانشگاه علوم پزشکی مازندران تا به‌ترتیب تا میزان ۸۱/۵ و ۷۸/۵ درصد در زمان ماند ۶ روز حذف کنند. در این تحقیق با افزایش زمان ماند از ۲ روز به ۶ روز میزان حذف BOD و COD به‌ترتیب از ۵۳/۷ و ۳۹/۱۵ به ۸۱/۵ و ۷۸/۵ درصد رسید [۱۱]. محیط بستر و ریشه‌ها و ریزوم‌های گیاهان، سطح فعال وسیعی را برای تقویت رشد باکتری‌ها فراهم می‌سازند. توانایی گیاهان آبزی برای انتقال اکسیژن به داخل بستر، ناحیه‌های کوچک هوازی در اطراف ریشه‌ها فراهم می‌سازند و نواحی دورتر از ریشه بی‌هوازی است. لذا باکتری‌های بی‌هوازی و هوازی هر دو برای تجزیه سریع آلاینده‌های آلی و دفع نیتروژن از مسیر نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون حضور دارند. لایه باکتریایی روی سطح محیط بستر به لجن فاضلاب در تصفیه‌خانه شبیه است. درواقع، لایه‌های میکروبی چسبیده به ریشه‌ها، سطوح مناسبی را برای فعالیت اکسیداسیون بیولوژیکی فراهم می‌سازند [۱۲-۱۳].

۵. مراجع

۱. احرامپوش، محمدحسن، حسین‌شاهی، داود، ابراهیمی، اصغر، قانعیان، محمدتقی و ...، (۱۳۹۲)، «بررسی کارآیی روش وتلند مصنوعی زیرسطحی در تصفیه فاضلاب شهر یزد در سال ۱۳۹۰»، فصلنامه طلوع بهداشت، دانشکده بهداشت یزد، سال ۱۲، شماره اول.

۲. نیسی، عبدالکاظم، وثوقی، مهدی، محمدی، بصیر، محمدی، محمدجواد، نعیم‌آبادی، ابولفضل و هاشم‌زاده، بایرام، (۱۳۹۳)، «گیاه‌پالایی فلزات سنگین توسط گیاه آفتابگردان»، فصلنامه علمی دانشگاه علوم پزشکی تربت حیدریه، دوره دوم، شماره ۲.

3. Gikas G. D. and V. A. Tsihrintzis, (2014), Municipal wastewater treatment using constructed wetlands, Water Utility Journal 8: 57-65.
4. Jan Vymazal, (2010), Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Water, 2, 530-549; doi:10.3390/w2030530.
5. Suhendrayatna, Marwan, Rika Andriani, Yuliza Fajriana, and Elvitriana, (2012), Removal of Municipal Wastewater BOD, COD, and TSS by Phyto-Reduction: A Laboratory–Scale Comparison of Aquatic Plants at Different Species Typha Latifolia and Saccharum Spontaneum, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 2, Issue 6.

۶. حسینی، سید مجتبی، یوسفی، ذبیح‌الله، محمدپور تهمتن و زززولی، محمدعلی ، (۱۳۹۲)، « نقش گیاه نی فراگماتیس استرالیس در تصفیه فاضلاب با استفاده از وتلند زیرسطحی هیبریدی درشمال کشور»، شانزدهمین همایش بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تبریز.

7. Kadlec RH., Knight RL., (1996), Treatment Wetlands. CRC Press/Lewis Publishers: Boca Raton, FL,USA, 300-310.
8. Hurst CJ., (1991), Modeling the environmental fate of microorganisms, (2001), Washington, DC: American Society for Microbiology; 77-88.
9. Carty A, Scholz M, Heal K, Gouriveau F, Mustafa A., (2008), The universal design, operation and maintenance guidelines for farm constructed wetlands (FCW) in temperate climates. Bioresour Technol; 99(15): 6780-92.
10. Cheng B, Hu CW, Zhao YJ., (2011), Effects of plants development and pollutant loading on performance of vertical subsurface flow constructed wetlands. Int. J. Environ. Sci. Tech; 8 (1): 177-186.

۱۱. یوسفی، ذبیح‌الله، محمدپور تهمتن، زززولی، محمدعلی و حسینی، سید مجتبی، (۱۳۹۲)، «ارزیابی کارایی وتلند مصنوعی زیرسطحی با جریان افقی در تصفیه فاضلاب»، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره ۲۳، شماره ۹۹.

12. Scott A. Bradford,Yusong Wang, Hyunjung Kim, Saeed Torkzaban, and Jiri Šimůnek, (2014), Modeling Microorganism Transport and Survival in the Subsurface, Journal of Environmental Quality: 421-440.
13. Davis, T. H., (1994), the use of constructed wetlands for treating industrial effluent (Textile Dyes), Wat. Sci. & Tech. Vol. 29, No. 4: 227-232.