

ارزیابی کارایی گیاه یوکا (*Yucca filamentosa wood*) در

حذف ازت و فسفر در تصفیه فاضلاب روستایی

نیما نوروزی^۱

محمد رضا خانی^{۲*}

khani133958@gmail.com

امیر حسام حسنی^۳

مجتبی صیادی^۴

چکیده

سامانه تالابهای مصنوعی از جمله روشهای تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی بوده که از لحاظ مصرف انرژی و هزینه بسیار مقرون به صرفه می باشد که به دو صورت سطحی (تالاب با سطح آزاد آب) و تالاب زیرسطحی می باشد. در این تحقیق، حذف ازت و فسفر به وسیله گیاه یوکا (*Yucca filamentosa wood*) در محیط تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی از شبکه فاضلاب روستای مراد تپه از توابع شهرستان اشتهارد، استان البرز مورد بررسی قرار گرفت. متوسط بازده حذف ازت و فسفر در جریان ناپیوسته در سامانه تالاب مصنوعی به ترتیب ۸۷/۰۳ درصد و ۸۳/۰۶ درصد به دست آمد. بازده حذف نیترات در این تحقیق نسبت به سامانه تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی افقی به صورت ناپیوسته، که در آن حذف نیترات با ۵۹ درصد سنجدیده شده بود، افزایش قابل توجهی نشان داد، ولی در حذف فسفر در دو سامانه (در سامانه نیزار با حذف فسفر با ۸۶ درصد) تفاوت چندانی مشاهده نشد. با توجه به کاهش بازده نیزار در فصول سرد سال با کاشت گیاه یوکا با عمر چند ساله، امکان بهره‌وری بالا در تمام فصول سال امکان پذیر می شود. امروزه استفاده از این سامانه‌ها به دلیل شرایط آب و هوایی چهار فصل، نیاز به مصرف کم انرژی، هزینه‌های ساخت کم، وجود زمین فراوان، عدم نیاز به بهره‌وری پیچیده و نیروی متخصص و همچنین در شرایط آب و هوایی گرم و یا دارای سطح آب زیرزمینی بالا و حتی در مناطقی که زمین محدود است در سرتاسر ایران توصیه می شود.

کلمات کلیدی: تالاب مصنوعی، فاضلاب روستایی، گیاه پالایی، حذف ازت و فسفر، یوکا (Yuca)

- ۱- دانش آموخته مهندسی محیط زیست- منابع آب، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
- ۲- استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم پزشکی تهران، ایران (مسئول مکاتبات).
- ۳- دانشیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
- ۴- گروه تحقیقات و بهره‌وری شرکت آب و فاضلاب روستایی استان تهران، ایران.

مقدمه

که آب در بالا یا در زیر سطح خاک قرار گیرد به دو گروه تالابهای با جریان سطحی و زیرسطحی تقسیم می‌شود (۳). تالابها اغلب برای تصفیه فاضلابها در نظر گرفته می‌شوند و به دو نوع کلی سامانه‌های با جریان سطحی آزاد آب^۸ (FWS) و جریان زیرسطحی^۹ (SSF) طبقه‌بندی می‌شوند که نوع زیرسطحی خود شامل تالابهای مصنوعی با جریان افقی (HF) و تالابهای مصنوعی با جریان عمودی (VF) می‌باشد (۵). در تالاب زیرسطحی، فاضلاب به جای جریان یافتن بر روی سطح از ناحیه ریشه گیاه جریان می‌یابد. این سامانه همانند صافی چکنده بوده که گیاهان روی آن رشد می‌کنند (۶). در تالاب مصنوعی با جریان افقی که این پژوهش براساس آن صورت گرفته است، فاضلاب موازی با امتداد بستر جریان می‌یابد و در حین حرکت به انتهای بستر تصفیه می‌گردد. تالابهای مصنوعی با جریان افقی زیرسطحی شامل کانالها یا ترانشه‌هایی با کف به نسبت نفوذناپذیر هستند. داخل این ترانشه‌ها به وسیله یک محیط متخلخل خنثی مانند خاک، شن، سنگ و یا گراول^{۱۰} پر شده و در قسمت فوقانی آن گیاهان برآمده مناسب کاشته شده است (۴).

تالابهای مصنوعی طرحهای جدیدی از سامانه‌های طبیعی می‌باشند که اولین بار در اوایل دهه ۱۹۵۰ به وسیله دکتر سیدل از موسسه ماکس پلانک در آلمان غربی ارائه شد (۷). نقش گیاهان در این سامانه تأمین اکسیژن مورد نیاز ریزسازواره‌های هتروتروف در ناحیه ریشه و افزایش و تثبیت هدایت هیدرولیکی بستر و جذب مواد مغذی می‌باشد (۸). در تالابهای مصنوعی از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شود و آلاینده‌های مختلفی مانند مواد جامد معلق، مواد آلی، مواد ازته، مواد فسفره، فلزات سنگین، عوامل میکروبزها و حتی مواد پیچیده شیمیایی تا حد قابل قبولی تصفیه می‌شوند. سالهای متمادی است که در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، پژوهشهای بسیاری

تالابها زمینهای هستند که سطح آب در آنها در طی سال به مدت طولانی بالای سطح زمین یا نزدیک سطح زمین قرار دارد. این امر به حفظ شرایط اشباع خاک و رشد گیاهان مورد نظر کمک می‌کند (۱). در این شرایط، انتقال اکسیژن از هوا به داخل خاک کند بوده و خاک به جز در چند میلی‌متر سطح آن بی‌هواری است (۲). تولیدکنندگان اولیه و اصلی تالابها گیاهان آبرزی و جلبکهای غیرپلانکتونی هستند. به بیان دیگر، تالاب زمین پر آبی با عمق کمتر از ۰/۶ متر است که امکان رشد گیاهان از آب برآمده، مانند دم‌گره‌ای^۱، علف بوریا^۲، نی^۳ و جگن^۴ را فراهم می‌کند. این گیاهان سطوحی را برای چسبیدن فیلمهای باکتریایی فراهم و به کاهش عوامل آلاینده فاضلاب کمک می‌کنند. این گیاهان همچنین اکسیژن را به ستون آب انتقال داده و رشد جلبکها را با محدود کردن نفوذ نور آفتاب کنترل می‌کنند. تالاب را می‌توان به دو دسته عمده تالابهای طبیعی و تالابهای مصنوعی تقسیم‌بندی کرد.

تالابهای طبیعی بدون دخالت انسان ایجاد و به عنوان آبهای پذیرنده عمل می‌کنند و دارای خاکهای آلی معین با شرایط احیا شده هستند. تالاب مصنوعی به وسیله انسان ایجاد می‌شود و برای تصفیه انواع متنوعی از فاضلابهای شهری، صنعتی، کشاورزی، سیلابها، آبهای سطحی آلوده و دریاچه‌ها مناسب هستند (۳). تالابهای مصنوعی یک شبیه‌سازی از تالابهای طبیعی هستند که به دلیل وجود گیاهان، بسترخاکی یا غیرخاکی و محیط مناسب برای رشد گسترده جانداران و ریزجانداران در کاهش آلودگی آنها بسیار مؤثر عمل می‌کنند. این تالابها برحسب نحوه جریان فاضلاب در آنها به سه گروه تالابهای مصنوعی دارای جریان افقی^۵، جریان عمودی^۶ و جریان مرکب^۷ طبقه‌بندی می‌شوند (۴). تالاب مصنوعی برحسب این

1-Typha . australis

2-Bullrush

3-Phragmites - commonis

4-Reeds

5-Horizontal flow

6-Vertical flow

7-Combined flow

8-free water surface flow

9-Subsurface flow

10-Gravel

مجموعه‌های کوچک تا ۱۰۰۰ نفر جمعیت استفاده می‌شود که عملکرد بسیار خوبی دارد (۱۰). نتایج و کارایی نيزارها در پالایش آبهای آلوده، کاهش آلاینده‌ها و شاخصهای آلودگی آب از جمله اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی پنج روزه^۱ (BOD₅) مواد جامد معلق (SS)^۲، مواد مغذی^۳، ازت و فسفر از فاضلاب‌های شهری در نيزارهای طبیعی و مصنوعی به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA)^۴ مورد مطالعه قرار گرفته است که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. یک نمونه دیگر از مطالعات انجام شده در ایران، بررسی تجمع و جذب نیتروژن و فسفر در سه غلظت و در چهارگونه از گیاهان آبی فراگماتیس استرالیس^۵ و تیفالانیتفولیا^۶ در شرایط هوازای^۷ و نیمه‌هوازای^۸ در دزفول بوده که نتایج حاکی از آن بود که این گیاهان بیشترین ظرفیت را برای جذب مواد غذایی از فاضلابهای خانگی تحت شرایط هوازای و نیمه‌هوازای دارند (۱۵). در سال ۱۹۸۴ گرزبرگ از لویی و جگن جهت حذف نیتروژن فاضلاب شهری در نيزار مصنوعی استفاده نمود، او برای هر نوع گیاه، دو پابلوت در نظر گرفته بود، نتایج این تحقیق به ترتیب کارایی ۹۷ درصد و ۹۴ درصد را برای حذف نیتروژن کل معدنی و نیتروژن کل نشان داد (۱۶). همچنین گرزبرگ و همکاران در سال ۱۹۸۶ از گیاهان نی معمولی، جگن و لویی برای حذف نیتروژن، TSS^۹ و BOD₅ از فاضلاب شهری با پیش تصفیه استفاده کردند (۱۷).

برای پالایش آبهای آلوده شهری به وسیله روشهای طبیعی انجام می‌شود؛ از جمله این کشورها آلمان، هند، چین، استرالیا، آمریکا و دانمارک می‌باشند (۹). همچنین تحقیقات بسیاری بر روی سامانه‌های تالابی در کشورهای مختلف انجام گرفته و هنوز ادامه دارد. نتایج حاصل از این تحقیقات نشان می‌دهد که این سامانه‌ها برای تصفیه فاضلابهای صنعتی بسیار مناسب هستند (۱۰).

به طور کلی روشهای سنتی اصلاح فاضلاب اغلب پرهزینه بوده و مقدار زیادی لجن تولید می‌کنند. از طرف دیگر جمع‌آوری و اصلاح فاضلاب در مناطق کم جمعیت مانند روستاها مشکل ساز شده است. افزایش جمعیت مناطق روستایی و در نتیجه افزایش تولید فاضلاب منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود. بنابراین نیاز روزافزون به گسترش سامانه‌های اصلاح فاضلاب مناسب برای مناطق روستایی وجود دارد. هر چند تاکنون تحقیقات مفصلی در زمینه نقش تالابها و کارایی آنها در حذف مقادیر مختلف انواع فاضلاب به کمک گیاهان مختلف از جمله معروفترین آنها (نيزار) صورت گرفته است، با این حال گزارش مستندی در مورد حذف ازت و فسفر پساب با استفاده از گیاه یوکا وجود ندارد. این تحقیق با هدف یافتن روشی نوین برای حذف ازت و فسفر و جلوگیری از ورود آنها به آبهای زیرزمینی با استفاده از گیاه یوکا انجام شد. گیاه یوکا در اکثر نقاط دنیا به وفور یافت می‌شود، در برابر شوری تا حدودی مقاوم و دارای pH بهینه ۲ تا ۸ می‌باشد و در دامنه وسیعی از دما به خوبی رشد می‌کند (۱۳-۱۱). عوامل مورد نظر به روش استاندارد ذکر شده در کتاب استاندارد روش سال ۱۹۹۲ مورد آزمون قرار گرفت (۱۴).

تحقیقات انجام شده در ایران و جهان

در سامانه نيزارهای مصنوعی یا Constructed wetland می‌توان با انتخاب گونه‌های مناسب گیاهی کارایی حذف آلاینده‌های فاضلاب را به طرز چشمگیری افزایش داد. نيزارهای مصنوعی در سالهای اخیر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه مورد توجه قرار گرفته است. از این روش در آلمان برای پالایش فاضلاب خانگی به صورت تک واحدی یا

- 1-Biochemical Oxygen Demand
- 2-Suspended solid
- 3-Nutrient material
- 4-Environmental Protection Agency
- 5-Common reed
- 6-Typha latifpholia
- 7-Aerobic processes
- 8-Anaerobic / anoxic processes
- 9-Total suspended solid

ترسیب به صورت هیدروکسی آپاتیت کلسیم بوده است که این رسوب به شدت به pH وابسته است و در pH بیشتر از ۸/۲ بر میزان رسوبات افزوده می‌شود (۲۴). در این روش حذف فسفر صرفاً در ترسیب در مدیای بستر و جذب در ریشه و مصرف گیاه خلاصه می‌شود (۲۵). چانگ و همکاران (۲۰۰۹) در هنگ‌کنگ بیلان جرمی ازت و فسفر در سامانه تالاب مصنوعی از نوع جریان زیرسطحی برای تصفیه فاضلابهای شهری را مورد مطالعه قرار دادند و بیان داشتند که کارایی حذف آلاینده‌ها در سامانه نیزارهای مصنوعی بسته به نوع فاضلاب، ترکیبات فاضلاب، نوع سامانه، نوع بستر، گونه‌های مختلف گیاهی، ابعاد سامانه و همچنین شرایط آب و هوایی متغیر است و همین امر ضرورت انجام تحقیقات بیشتر محلی را ایجاب می‌کند (۲۰). در ایران نیز تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از تالاب برای تصفیه فاضلاب صورت گرفته است که بررسی عملکرد سامانه تالابهای مصنوعی در تصفیه فاضلاب معدن سنگ آهن مرکزی ایران بافق نمونه‌ای از آن است که در آن میزان حذف آهن و منگنز به ترتیب ۹۷/۵ درصد و ۹۲/۵ درصد بود (۲۶). همچنین میزان جامدات معلق و کدورت^۳ به طور قابل توجهی کاهش یافت. در پژوهش دیگری عملکرد تالابهای مصنوعی در جریان ناپیوسته با ترکیب پیش تصفیه برای تصفیه فاضلاب شهری بررسی شده که در آن متوسط بازده حذف^۴ TKN،^۵ TP به ترتیب ۹۷/۵ درصد، ۹۷ درصد و گزارش شده است (۲۷). نتیجه‌گیری کلی نشان می‌دهد که مواد مغذی مانند فسفر و ازت به صورت یونی و به وسیله ریشه‌ها و مخصوصاً تارهای کشنده جذب گیاه می‌شوند، به این معنی که ازت موجود در فاضلاب به وسیله ریزسازواره‌ها از طریق اکسیداسیون به ازت نیتراتی و یا از طریق احیا به ازت آمونیاکی تبدیل می‌شود و به وسیله گیاه جذب می‌گردد (۱۹).

مواد و روشها

به منظور بررسی کارآمدی سامانه تالاب در تصفیه فاضلاب روستایی، طرح پایلوت با استفاده از نایلون دو لایه برای

جدول ۱- بازدهی کاهش مواد مغذی در نیزارها (۱۴)

مقدار	میزان کاهش (درصد)	
	نیزار طبیعی	نیزار مصنوعی
نیتروژن (N)	۴۰-۹۰	۳۰-۹۸
فسفر (P)	۱۰-۵۰	۲۰-۹۰

در آوریل ۱۹۹۷ نخستین تالاب مصنوعی به وسیله دو نفر محقق به نامهای آهن و کونگ با هدف تصفیه فاضلاب خانگی با جریان سطحی با ابعاد ۲۰×۲۰ متر ساخته شد (۱۸). در سال بعد نوع توسعه یافته آن به وسیله آهن و همکاران با جریان زیرسطحی با ابعاد ۱۶×۱۵ متر احداث گردید (۱۹). در تحقیقی دیگر فان و همکاران تأثیر انواع تالاب در حذف آلاینده‌ها را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد، حذف آمونیاک ۹۳/۱۲ درصد است. فسفر نیز به میزان کلی ۷۶ درصد به وسیله گونه‌های مختلف نی حذف شد (۲۰). در سال ۲۰۰۱ تحقیقی به وسیله پارک و همکاران در استفاده از تالاب با ترکیبی از جریان سطحی و زیرسطحی و با استفاده از نی فاراگماتیس ژاپونیکا^۱ در تالابی با ابعاد ۴۰ متر طول و ۲۰ متر عرض به روش هوزای صورت گرفت. در این روش نتایج حاصل از تصفیه ۱۰۰ تن فاضلاب خانگی در سال برای حذف TN و TP مورد پایش قرار گرفت و بازدهی حذف در این پارامترها به ترتیب ۸۰ درصد و ۸۴ درصد بود (۲۱). نوردین در سال ۲۰۰۶ مطالعه‌ای در دانشگاه مالزی بر روی تصفیه فاضلاب بسیار قوی انجام داد. نتایج نشان داد که سازوکارهای ته نشینی و فیلتراسیون نسبت به فرآیندهای زیستی که با گیاهان و جمعیت باکتریایی مرتبط است دارای تأثیر بیشتری در حذف TS^۲ می‌باشد (۲۲). والاس در سال ۲۰۱۱ استفاده از تالابها را برای تصفیه فاضلاب صنایع مانند روغن، معادن، محصولات غذایی، صنایع هوایی و غیره مورد مطالعه قرار داد (۲۳). مطابق تحقیقات انجام شده به وسیله ارسو والا در برکه‌های تثبیت، حذف فسفر به دو روش جلبکی و

3-Turbidity

4-Total Kjeldahl Nitrogen

5-Total Posphorous

1- Phragmites japonica

2- Total solid

مواد محیطی که برای طراحی این گونه سامانه‌ها به کار می‌روند فهرست شده است. پس از احداث پایلوت، بلافاصله کاشت گیاه یوکا صورت پذیرفت (شکل ۱).

نفوذناپذیری کف بستر با ابعاد ۶×۲ متر و عمق ۷۰ سانتی‌متری با شیب کف ۲ درصد، در روستای مرادتپه، دهستان رحمانیه از توابع بخش اشتهارد شهرستان کرج ساخته شد. زمان تحقیق از مهر ۱۳۹۰ تا خرداد ۱۳۹۱ بوده است. در جدول ۲ مشخصات



شکل ۱- تالاب پایلوت و گیاه یوکای کاشته شده در روستای مراد تپه

جدول ۲- مشخصه‌های نمونه وار مواد محیطی برای طراحی سامانه پایلوت با جریان سطحی

نوع ماده محیطی	*	تخلخل α	k ₂₀
ماسه متوسط	۱	۰/۴۲	۱/۸۴
ماسه درشت	۲	۰/۳۹	۱/۳۵
ماسه شنی	۸	۰/۳۵	۰/۸۶

* حداکثر اندازه دانه‌ها به میلی‌متر

این گیاه در اکثر نقاط دنیا به وفور یافت می‌شود و تا حدودی تحمل شوری را داشته و دارای pH بهینه ۲ تا ۸ می‌باشد و در دمای مطلوب از منفی ۱۰ تا ۴۵ درجه سلسیوس به خوبی رشد می‌کند (۱۱-۱۳). فاضلاب ورودی با دبی ۸۱۰ لیتر در شبانه روز و با زمان ماند هیدرولیکی ۱۲ ساعت طرح پایلوت را تغذیه می‌کرد. پس از سازگاری گیاهان با محیط و در مدت تحقیق در مجموع، ۱۰ نمونه از ورودی و خروجی طرح پایلوت برداشت شد و به علت محدودیت برای آنالیز، نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت مهندسی شیوا محیط پارس واقع در استان تهران اندازه‌گیری و عوامل BOD_5 , 1COD , TN, TP به روش استاندارد ذکر شده در کتاب استاندارد روش سال ۱۹۹۲ مورد آزمون قرار گرفت (۱۴).

یافته‌ها

همان طور که اشاره شد در این تحقیق طبق دستورالعمل‌های ذکر شده در منابع معتبر ابتدا نمونه‌برداری و سنجش عوامل مورد نظر در خصوص نیترات و فسفر انجام گردید که در ادامه به این موارد اشاره خواهد شد.

NO_3^- : نیترات ورودی بر اساس نتایج حاصل دارای مقادیر حداقل ۱۰/۷ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر ۱۶/۸ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۱۴/۸۴ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۲/۳۴ میلی‌گرم در لیتر بود. مقدار نیترات خروجی براساس نتایج حاصل دارای مقادیر حداقل ۱/۷ و حداکثر ۱۴/۸۴ میلی‌گرم در لیتر با میانگین ۶/۱۷۵ و انحراف معیار ۵/۲۶ میلی‌گرم در لیتر بود (جدول ۳). کارایی حذف نیترات براساس نتایج مزبور به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و با توجه به استانداردهای داخلی محیط زیست، پساب خروجی مزبور قابلیت تخلیه در آبهای

خروجی به وسیله رحمانی ثانی و همکاران در سال ۱۳۸۸ بر روی عملکرد تالاب مصنوعی زیرسطحی با جریان ناپیوسته در با توجه به این موضوع که سایر مقادیر در حد استاندارد هستند، می توان فاضلابی را که به روش تالابی تصفیه می شود به آبهای سطحی و چاه جذبی وارد نمود. در روند مقایسه ای می توان موارد زیر را نام برد، رحمانی ثانی و همکاران مقدار حذف ۹۷ درصد (۲۸)؛ پارک و همکاران ۸۴ درصد (۲۱)؛ شیرافروس ۴۷/۱ درصد (۳۲)؛ سالاری و همکاران ۸۶ درصد (۳۰)؛ فان و همکاران ۷۶ درصد (۲۰) و دیانتی و قلی پور مقدار حذفی برابر با ۳۵ درصد (۳۳) را به دست آوردند که مورد آخر با استفاده از گیاه آبی آزولا انجام شده است و در سایر موارد تنها سامانه نیزار مورد استفاده بوده است. با توجه به کارایی پایین نیزار در فصول سرد سال و کارایی بالای گیاه یوکا در این فصول بهتر است از گیاهان مقاوم به شرایط سخت محیطی در امر تصفیه فاضلاب استفاده گردد.

با توجه به کاهش کارایی نیزار در فصول سرد سال و توقف کارایی آن در فصل زمستان و با توجه به این نکته که در اکثر تحقیقهای صورت گرفته اساس کار در آزمایشگاه و در دمای محیطی ۲۵ درجه و یا در فضای باز و استفاده از پوشش مناسب برای حفاظت نیزار از شرایط محیط صورت گرفته است، بنابراین عملاً استفاده از سامانه نیزار با توجه به شرایط ذکر شده اثر و نتیجه مطلوبی نداشته و به نظر می رسد، ضرورت به سمت کاشت گیاهان مقاوم به شرایط سخت محیطی مانند گیاه یوکا می باشد.

سطحی را دارد و می توان در چاههای جذبی نیز آن را وارد کرد. برخی مطالعات انجام شده بر روی حذف نیترات از پساب تصفیه فاضلاب شهری صورت پذیرفت که در نهایت مقدار حذف ۹۷/۵ درصد را برای نیترات با توجه به زمان ماند هیدرولیکی دو روز و در مقیاس صحرایی به دست آورد (۲۸). احرام پوش و همکاران در سال ۱۳۸۸ در بررسی میزان حذف مواد آلی از فاضلاب شهری به وسیله تالاب مصنوعی زیرسطحی با استفاده از سامانه نیزار خانواده فراگمیتس مقدار حذف نیترات را ۸۱ درصد گزارش نمودند (۲۹). در تحقیق دیگری که به وسیله سالاری و همکاران در سال ۱۳۹۰ در بررسی حذف ازت و فسفر از فاضلاب روستایی به روش تالاب مصنوعی حاوی نی که در روستای مراد تپه از توابع شهرستان اشهراد انجام گرفت مقدار حذف نیترات از محیط فاضلاب را ۵۹ درصد گزارش نمود (۳۰). با توجه به این که با شروع فصل سرما کارایی حذف عوامل آلاینده از محیط به وسیله سامانه نیزار کاهش چشمگیری در بر خواهد داشت، بهتر است از گیاهانی استفاده نمود که در مقابل این تغییرات محیطی مقاومت داشته باشند.

PO₄: براساس نتایج، فسفات ورودی حاصل دارای مقادیر حداقل ۸/۱۲ و حداکثر ۱۲/۹ میلی گرم در لیتر با میانگین ۹/۲۵ و انحراف معیار ۱/۵۲ میلی گرم در لیتر بود. مقدار حذف فسفات خروجی دارای مقادیر حداقل ۶/۹ و حداکثر ۱/۸ میلی گرم در لیتر با میانگین ۳/۳۱ و انحراف معیار ۱/۹۱ میلی گرم در لیتر بود. کارایی حذف به طور متوسط ۸۶/۰۴ درصد بوده (جدول ۳) که با توجه به استانداردهای داخلی محیط زیست (۳۱)، مقدار فسفر پساب خروجی را ۱/۸ میلی گرم در لیتر نشان می داد.

جدول ۳- تغییرات TN و TP ورودی و خروجی تالاب پایلوت روستای مراد تپه

متغیر	ورودی			خروجی (mg/lit)		کارایی حذف (%)	
	Var	Max	SD	Max	SD	Max	SD
TN	۵/۵۱	۱۲/۹	۲/۳۴	۱۴/۸۴	۵/۲۶	۸۹/۰۳	۳۳/۶۹
TP	۲/۳۲	۱۶/۸	۱/۹۲	۶/۹	۱/۹۱	۸۶/۰۴	۲۹/۰۷

نتیجه‌گیری

تالابهای مصنوعی در صورت راهبری مناسب روشی مطمئن برای تصفیه فاضلابهای روستایی و حصول استانداردهای زیست محیطی هستند، بنابراین تخلیه پساب آنها از نظر محیط زیستی قابل قبول می‌باشد. بهره‌برداری از تالابهای مصنوعی در صورت در دسترس بودن زمین کافی، روش مناسبی برای تصفیه فاضلاب روستایی مخصوصاً به روش (SSF) در مناطق دوردست ایران است. به کارگیری سامانه‌های پیشرفته تصفیه در نقاط دور افتاده کشور دارای مشکلاتی می‌باشد و هزینه مرتبط با به کارگیری افراد متخصص در زمینه بهره‌برداری و نگهداری آنها بالا است، در حالی که تالابها برخلاف سامانه‌های متداول در حذف ازت و فسفر کم هزینه هستند (۱۱، ۹ و ۳۰). تالابهای مصنوعی یکی از مناسب‌ترین فناوریهای کاربردی برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران می‌باشند زیرا بهره‌برداری و نگهداری از تالابها به سهولت امکان پذیر است. کارایی مناسب در حذف آلاینده‌ها از دیگر مشخصات تالابها است که با افزایش طول پایلوت و استفاده از چندین پایلوت به صورت موازی و سری و نیز کاشت چندین گیاه می‌توان کارایی حذف ازت و فسفر را افزایش داد. اثر دما بر روی PO_4 کاملاً مشهود است و با افزایش و کاهش دما کارایی این مقادیر نیز متغیر می‌شود اما بر روی مقادیر دیگر بی‌تأثیر است.

نتایج کلی این تحقیق نشان داد که تالابهای مصنوعی با جریان زیرسطحی در تأمین استانداردهای تخلیه از پسابهای شهری به آب پذیرنده در اجتماعات کوچک بسیار مفید است. کارایی این روش در کاهش مواد آلی و جامدات معلق زیاد است و مقدار بار آلی خروجی به مقدار بار آلی ورودی بستگی دارد و با افزایش زمان ماند در این سامانه‌ها کارایی نیز افزایش پیدا خواهد کرد. تالابها زمینه جذب گیاهان و حیوانات را فراهم می‌آورند و همچنین حفاظتی در مقابل سیل و کمکی جهت حفظ کیفیت آب می‌باشند. تالابها هزینه ساخت زیادی ندارند، تقریباً به نگهداری مداوم نیاز ندارند، چشم‌انداز طبیعی مطلوبی دارند، برای حیات وحش زیستگاه مناسبی به شمار می‌آیند و به طور مؤثری مواد غذایی و میکروبها را از آب حذف می‌کنند.

(۳۴ و ۳۵). از مزایای روش تالابی نسبت به سایر روشها در بافت بومی روستای مراد تپه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد: نیازهای زیست بومی ساده گیاهان طبیعی منطقه، انتخاب محل تصفیه‌خانه دور از منطقه مسکونی با آزادی عمل بیشتر نسبت به دیگر سامانه‌های تصفیه، هزینه پایین ساخت تصفیه‌خانه، عدم تجمع حشرات به دلیل استفاده از جریانهای زیرسطحی، عدم تولید بوی نامطبوع، ایجاد فضای سبز زیبا و محل مناسب جهت جذب حیات وحش (پرنندگان و خزندگان) که موجب برقراری یک زیست بوم پایدار می‌گردد. به هر حال، نیاز به مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌گردد.

منابع

1. Pucci, B., G. Conte, L. Martinuzzi, L. Giovamell and F. Masi. 1998. Design and performance of a horizontal flow constructed wetland for treatment of dairy and agricultural wastewater in the "chianti" countryside. 7th International Water Association Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Lake Buena Vista, Florida. Gainesville, USA: University of Florida. 7: 6-1433.
2. Tchobanoglous, G., F.L. Burton, H.D. Stensel. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. New York: McGraw-Hill Science. Engineering.
3. بدلیانس قلی‌کندی، گ. (۱۳۸۱) «طراحی فرآیندهای فیزیکی شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه فاضلاب»، انتشارات دانشگاه شهید عباسپور؛ تهران، ایران.
4. رضویان، س. (۱۳۸۸) «ارزیابی نقش وتلندهای مصنوعی در تصفیه فاضلاب روستایی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.
5. Vymazol, J. 2005. Types of constructed wetlands for wastewater treatment.

- در منطقه بیابانی و نیمه بیابانی دزفول»، مجله علوم کاربردی جهانی، شماره ۱۰، صفحات ۸۸۶-۸۹۱، ایران.
16. Gersberg, R.M., B.V. Elkins and C.R. Goldman. 1984. Use of artificial wetlands to remove nitrogen from wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation (WPCF)*. 56: 152-156.
 17. Gersberg, R.M., B.V. Elkins, S.R. Lyon and C.R. Goldman. 1986. Role of aquatic plants in wastewater treatment by artificial wetlands. *Water Research*. 20: 363-368.
 18. Ahn, T.S and D.S. Kong. 1998. Application of ecotechnology for nutrients removal. C.H. Chou, and K.T. Shao, (eds.), *Frontiers in Biology*. IUBS. Seoul, Korea. pp: 209-217.
 19. Ahn, T.S., H.J. Park and D.S. Kim. 2000. Three types of artificial wetland for wastewater treatment. *Proc. Ecotechnology in environmental protection and fresh water lake management*. Chunchon, Korea. pp: 127-131.
 20. Fan, C., F.C. Chang, C.H. KO, Y.S. Sheu, C.J. Teng, T.C. Chang. 2009. Urban pollutant removal by constructed riparian wetland before typhoon damage and after reconstruction. *Ecological Engineering*. 34: 424-243.
 21. Park, H.J., T.S. Ahn and D.S. Kim. 2001. Artificial wetland for wastewater treatment system. *ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management*. Seoul, Rep., Korea.
 22. Nordin, N.A. 2006. Leachat treatment using constructed wetland with magnetic field. M.Sc. Thesis. Malaysia University.
 23. Wallace, S.D. 2010. Application of constructed wetland for industrial wastewater treatment. Available at Water Environment Research. 12th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. Venice, Italy.
 - Engineering Water and Wastewater Journal. 25: 25-52.
 ۶. منشوری، م. و ثوقی، م. (۱۳۸۸) «گزارشی از حذف فلزات سنگین به وسیله وتلند مصنوعی»، دومین همایش ملی مهندسی محیط زیست، تهران، ایران.
 7. Bavor, H.J and d.S. Mitchell. 1994. Wetland system in water pollution control. *Wat. Sci. Tech.* Pergamon Press. New York.
 ۸. ثریازاده، ع. ا. عظیمی، ن. و مهردادی، وه. دیهیم (۱۳۸۶) «ارزیابی ترکیبی برکه‌های بیهوازی و وتلندها در تصفیه فاضلاب صنایع نساجی در مناطق سردسیر» اولین کنفرانس مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران.
 ۹. رضوانی، م. (۱۳۸۴) «پاکسازی مواد آلاینده خاک، آبهای زیرزمینی و هوا به وسیله گیاهان»، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
 10. Netter, R. 1994. Flow characteristics of planted soil filters. *Water Science and Technology*. 29: 4.
 ۱۱. حبیبی، ر «تیبهای گیاهی منطقه تهران» (۱۳۸۲) وزارت جهاد کشاورزی. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی. موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، نشریه شماره ۳۲۹، تهران، ایران.
 ۱۲. قره داغی، ح «تیبهای گیاهی منطقه کرج» (۱۳۸۲) وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی. موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع نشریه شماره ۳۳۰، تهران، ایران.
 13. Philips, R. 1375. Introducing some late flowering herbaceous plants. *Tehran Parks and Green Space Organization*. Tehran, Iran.
 14. APHA. 1995. APHA, AWWA, WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. American public health association. The American Water Works Association and the Water Pollution Control Federation, Washington.
 ۱۵. افروز، ن. هدایتی، ن. م. لیاقت و م. منشوری (۱۳۸۹) «تجمع و برداشت ازت و فسفر به وسیله چهار نوع گیاه آبی

۳۰. سالاری ح.، (۱۳۸۹) «آزمایش عملکرد سیستم تصفیه فاضلاب با وتلند برای حذف ازت و فسفر»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
31. Environmental Protection Organization. 1378. Terms of environmental standards. Publication Iran the Environmental Protection Organization. pp: 29-37.
۳۲. افروز ا.، (۱۳۸۹) «کاربرد گیاهان آبی در تصفیه فاضلاب با جریان افقی زیرسطحی در دزفول»، پنجمین کنفرانس کشاورزی برای ایده‌های نو، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان، ایران.
۳۳. دیانتی تیلکی ر.، ج. علیمردانی، (۱۳۸۶) «بررسی حذف فسفر از محیط‌های آبی به وسیله گیاه سرخس آبی، آزولا»، دهمین همایش ملی بهداشت محیط، همدان، ایران.
34. Rowe, Donald. R and I.M, Abdel-megid. 1995. Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. CRC Press. New York.
۳۵. یگانه موسوی، س. س.، (۱۳۸۵) «گیاهان و آلاینده‌ها». زیست‌شناسی (رشد آموزش) دوره بیستم، شماره ۲، صفحات ۱۶-۱۹، تهران، ایران.
24. Soil, J and S. Arceivala. 1998. Wastewater treatment for pollution control. New Dehli: Tata McGraw-Hill.
25. Otto, R.S., C. Corvalan, C.O. Gregory and M. Ramirez-zea. 2006. Plant species and temperature effect on the K-C first-order model for COD removal in batch-loaded SSF wetlands. Ecological Engineering. 40: 100-112.
۲۶. ندافی ک.، ا. کفیدی، ر. بیک و ا. صفری‌آبادی (۱۳۸۸) «گزارش اثر سیستم‌های مصنوعی تصفیه فاضلاب معدن آهن بافق»، سمینار سیستم تصفیه فاضلاب وتلند، کرمانشاه، ایران.
۲۷. رحمانی ثانی، ا.، ع. ا. عظیمی، و ن. مهرداد (۱۳۸۸) «ارزیابی عملکرد وتلندهای مصنوعی در جران ناپیوسته برای تصفیه فاضلاب شهری»، مجله آب و فاضلاب، شماره ۱۲، صفحه: ۳۲-۳۹، تهران، ایران.
۲۸. رحمانی ثانی، ا.، ن. مهرداد، ع. ا. عظیمی، و ا. ترابیان (۱۳۸۸) «بررسی عملکرد تلفیق برکه‌های بی‌هوای مجهز به چاله هاضم و نیزارهای مصنوعی زیرسطحی در جریان ناپیوسته برای تصفیه فاضلاب شهری». دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، تهران، ایران.
۲۹. احرامپوش م. ح. و همکاران (۱۳۸۷) «بررسی عملکرد وتلند تصفیه‌خانه شهر یزد با استفاده از جریان زیرسطحی»، دوازدهمین همایش بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران.

