

عملکرد سیستم تصفیه فاضلاب روستایی به روش تالاب مصنوعی در حذف ازت و فسفر از فاضلاب (مطالعه موردی: روستای مراد تپه)

حسین سالاری^۱ امیرحسام حسینی^۲ مهدی برقی^۳
احمدرضا یزدانبخش^۴ حسین رضایی^۵

(دریافت ۸۹/۱۱/۱۶ پذیرش ۹۰/۵/۱۸)

چکیده

استفاده از تالاب مصنوعی یکی از روشهای شناخته شده تصفیه فاضلاب است که پساب خروجی آن می تواند بدون مشکل وارد محیط زیست شده و یا در کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق به منظور بررسی کارایی تالابهای مصنوعی در تصفیه فاضلاب روستایی از یک پایلوت تالاب مصنوعی با جریان زیرسطحی که پساب حاصل از سپتیک تانک موجود در منازل مسکونی را دریافت می نمود، استفاده شد. این تالاب مصنوعی در استان البرز، شهرستان کرج، روستای مراد تپه ساخته شد. پایلوت با ظرفیت ۵۴۰ لیتر در شبانه روز با ورق گالوانیزه به طول ۲۰ متر، عمق ۱ متر، و عرض ۳۰ سانتی متر در محل ساخته شد. ابتدا و انتهای آن به طول ۰/۵ متر و عمق ۰/۶ متر از قلوه سنگ پر شده بود و ما بین این دو قسمت، ماسه سرند شده درشتی که تخلخل آن $\alpha = 0.39$ و حداکثر اندازه ۱۰ درصد از دانه های آن ۲ میلی متر با رسانندگی هیدرولیکی ۱۵۷۵ فوت مکعب بر فوت مربع در روز (Ks) بود، ریخته شد و روی آن به ارتفاع ۱۰ سانتی متر خاک نباتی وجود داشت. این مطالعه از شهریور ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ به مدت یک سال به طول انجامید. گیاه مورد استفاده در تالاب، نی معمولی با نام علمی *فارگمیتس استرالیس* بود و پارامترهای BOD، TSS، COD، TN و TP به صورت هفتگی و در طی مدت زمان مذکور مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که BOD فاضلاب ورودی از 57 ± 31 میلی گرم در لیتر به 8 ± 4 میلی گرم در لیتر در پساب خروجی، با میانگین زدایش 79 ± 15 درصد و COD فاضلاب ورودی از 97 ± 47 میلی گرم در لیتر به 24 ± 12 میلی گرم در لیتر در پساب خروجی، با میانگین زدایش 70 ± 16 درصد کاهش یافت. مجموع جامدات معلق فاضلاب ورودی از 40 ± 12 میلی گرم در لیتر به 5 ± 4 میلی گرم در لیتر در پساب خروجی، با میانگین زدایش 76 ± 16 درصد تقلیل یافت. میزان ازت فاضلاب ورودی (TN) از 13 ± 6 میلی گرم در لیتر به 3 ± 3 میلی گرم در لیتر در پساب خروجی، با میانگین زدایش 59 ± 26 درصد و میزان فسفر فاضلاب ورودی (TP) از $7/53$ میلی گرم در لیتر به $0/86$ میلی گرم در لیتر در پساب خروجی، با میانگین زدایش ۸۶ درصد کاهش یافت.

واژه های کلیدی: تصفیه طبیعی فاضلاب، تالاب مصنوعی، فاضلاب روستایی

Investigation of Performance Wetland In Removal N and P In Wastewater Treatment (Case Study:Morad Tapeh)

Hossein Salari¹ Amirhesam Hassani² Mehdi Borghei³
Ahmad Reza Yazdanbakhsh⁴ Hossein Rezaei⁵

(Received Feb. 5, 2011 Accepted Aug. 9, 2011)

Abstract

Wetland is one of the natural treatment methods used for municipal wastewater treatment, which could transfer the effluents to the ecosystem, safely or being used for agricultural purposes and etc. this study investigates a pilot in the form subsurface flow wetland efficiency in rural sewage result of septic tank. The constructed Wetland was built in Morad Tapeh Village, Karaj County, Alborz Province. The pilot project was executed from galvanized plates with the dimensions of (length 20 m - Depth 1m - width 30 cm). 0.5 m from each side of the Pilot Project was covered by rubble-stones to the depth of 0.5m and the interval was filled by screened sand, porosity degree ($\alpha=0.39$), maximum 10% of them measuring 2mm, with the hydraulic conductivity $Ks=1575 F^3$, covered by 10cm peat. The study took one year, from Sept. 2009 to Sept. 2010. The plant used in this

1. M.Sc. of Environmental Eng., Dept. of Environmental and Energy, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran (Corresponding Author) (+98 021) 36662014 Salari 306@yahoo.com
2. Faculty Member, Dept. of Environmental and Energy, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran
3. Prof., Dept. of Chemical Eng., Sharif University of Technology, Tehran
4. Assoc. Prof., Faculty of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Science, Tehran
5. Managing Director of Water and Wastewater Co., Tehran

- ۱- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران، (نویسنده مسئول) ۰۲۱) ۳۶۶۶۲۰۱۴ Salari 306@yahoo.com
- ۲- عضو هیئت علمی، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران
- ۳- استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
- ۴- دانشیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران
- ۵- مدیر عامل شرکت آب و فاضلاب استان تهران

constructed Wetland, was the common straw, scientifically named as Phragmites Australis and role of the pilot constructed Wetland was considered refining pollution, using this type of plant. It was supposed that the said project decreases the items P, N and some other parameters including TSS, COD and BOD and brings them within limits of the ecological standards. Tests were carried out according to the method, showing following results: (1) BOD input & output averages is 57 ± 31 and 8 ± 4 mg/l respectively, while its average elimination percentage is 79 ± 15 . (2) COD input & output averages is 97 ± 47 and 24 ± 12 mg/l respectively, while its average elimination percentage is 70 ± 16 . (3) TSS input & output averages is 40 ± 47 and 5 ± 4 mg/l respectively, while its average elimination percentage is 76 ± 16 . (4) TN input & output averages is 13 ± 6 and 4 ± 3 mg/l respectively, while its average elimination percentage is 59 ± 26 . (5) TP input & output averages is 7 ± 7 and 8 ± 9 mg/l respectively, while its average elimination percentage is 86 ± 12 .

Keywords: Naturd Wastewater Treatment, Artificial Wetlands, Rural Wastewater.

۱- مقدمه

گروه، تالاب با جریان سطحی^۶ و تالاب با جریان زیر سطحی^۷ تقسیم می‌شوند [۴].

تالابهای با جریان افقی زیرسطحی شامل کانال‌ها یا ترانشه‌های با کف به نسبت نفوذناپذیر هستند. داخل این ترانشه‌ها توسط یک محیط متخلخل خنثی مانند خاک^۸، شن^۹، سنگ^{۱۰}، و گراول^{۱۱} پر شده و در قسمت فوقانی آن، گیاهان برآمده مناسب کاشته شده است [۵].

از سال ۱۹۷۰ میلادی تاکنون در کشورهای مختلف از جمله آلمان، هند، چین، استرالیا و آمریکا مطالعات زیادی انجام شده است. در آوریل ۱۹۹۷ نخستین تالاب مصنوعی به وسیله آهن^{۱۲} و کونگ^{۱۳} با هدف تصفیه فاضلاب خانگی با جریان سطحی به 20×20 متر ساخته شد [۶]. در سال بعد نوع توسعه یافته آن توسط آهن و همکاران با جریان زیر سطحی با ابعاد 16×15 متر احداث شد [۷]. چی‌ها و فان و همکاران^{۱۴} تأثیر انواع تالاب در حذف آلاینده‌ها را مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد راندمان حذف BOD_5 ، $89/9 \pm 6/7$ درصد است و درصد حذف آمونیاک $93/5 \pm 3/5$ است. فسفر نیز به میزان کلی $76 \pm 12/2$ درصد توسط گونه‌های مختلف نی حذف شد [۸]. توسط آقای نوردین^{۱۵} در سال ۲۰۰۶ مطالعه‌ای در دانشگاه مالزی برای تصفیه فاضلاب بسیار قوی انجام داد. نتایج نشان داد که مکانیسم‌های ته‌نشینی و فیلتراسیون نسبت به فرایندهای بیولوژیکی که با گیاهان و جمعیت باکتریایی مرتبط است دارای تأثیر بیشتری در حذف TS است [۹].

تالاب زمین‌هایی 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 و خاک به جز در چند میلی‌متری سطح آن، بی‌هوازی است [۲]. تولیدکنندگان اولیه و اصلی در تالابها، گیاهان آبی یا جلبک‌های غیر پلانکتونی هستند. به بیان دیگر تالاب، زمین پر آبی با عمق کمتر از $0/6$ متر است که امکان رشد گیاهان از آب، نظیر دم‌گره، علف بوریا، نی، جگن را فراهم می‌کند. این گیاهان سطوحی را برای چسبیدن فیلم‌های باکتری فراهم و به کاهش عامل‌های آلاینده فاضلاب کمک می‌کنند. این گیاهان همچنین اکسیژن را به ستون آب انتقال و رشد جلبک را با محدود کردن نفوذ نور آفتاب کنترل می‌کنند. تالاب را می‌توان به دو دسته عمده تالابهای طبیعی و تالابهای مصنوعی تقسیم‌بندی کرد [۳].

تالابهای طبیعی^۱ بدون دخالت انسان ایجاد و به‌عنوان آبهای پذیرنده عمل می‌کنند، دارای خاکهای آلی معین، با شرایط احیا شده^۲ هستند. تالاب مصنوعی توسط انسان ایجاد می‌شود برای تصفیه انواع متنوعی از فاضلابهای شهری، صنعتی، کشاورزی، سیلابها، آبهای سطحی آلوده و دریاچه‌ها مناسب هستند [۴]. این تالابها بر حسب نحوه جریان فاضلاب در آنها، به سه گروه سیستم تالاب مصنوعی با جریان افقی^۳، جریان عمودی^۴ و مرکب^۵ طبقه‌بندی می‌شوند [۵].

در تالاب مصنوعی با جریان افقی که این پژوهش بر اساس آن انجام شد، فاضلاب موازی با امتداد بستر جریان می‌یابد و در حین حرکت به انتهای پایلوت تصفیه می‌گردد. در این نوع تالاب بر حسب این که آب در بالا یا در زیر سطح خاک قرار گیرد به دو

⁶ Free Water Surface (FWS)

⁷ Subsurface flow (SF or SSF) (SFS)

⁸ Solid

⁹ Sand

¹⁰ Rock

¹¹ Gravel

¹² Ahn

¹³ Kong

¹⁴ Chihhao fan et al.

¹⁵ nordin

¹ Natural Wetlands

² Reduced

³ Horizontal flow

⁴ Vertical flow

⁵ Combined systems

در سال ۲۰۰۱ تحقیقی توسط پارک و همکاران^۱ در استفاده از تالاب با ترکیبی از جریان سطحی و زیر سطحی و با استفاده از نی فرآگماتیس ژاپونیکا^۲ در تالابی به ابعاد ۴۰ متر طول و ۲۰ متر عرض به روش هوازی انجام گرفت. در این روش نتایج حاصل از تصفیه ۱۰۰ تن فاضلاب خانگی در سال برای حذف BOD، SS، T-N، و T-P مورد پایش قرار گرفت و بازدهی حذف در این پارامترها به ترتیب ۲۳، ۳۰، ۸۰ و ۸۴ درصد بود [۱۰].

اس دی والاس^۳ استفاده از تالابها را برای تصفیه فاضلاب صنایع مانند روغن، معادن، محصولات غذایی، صنایع هوایی و غیره مورد مطالعه قرار داد که این مطالعه اهمیت استفاده از تالاب را در تصفیه فاضلاب صنایع در آینده نشان می‌دهد [۱۱]. بی پاسی و همکاران^۴ نیز در سال ۱۹۹۸ مطالعه‌ای را روی نی فرآگماتیس تالاب زیر سطحی ناپیوسته با جریان افقی، روی فاضلابهای خانگی و محصولات زائد فصلی انجام دادند که در این حالت BOD₅ از ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به زیر ۲۰ میلی‌گرم در لیتر رسید [۱۲].

در ایران نیز تحقیقات زیادی در زمینه استفاده از تالاب برای تصفیه فاضلاب صورت گرفته است که بررسی عملکرد سیستم 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 ۹۷/۷ و ۹۲/۵ درصد است. همچنین میزان جامدات معلق و کدورت به طور قابل توجهی کاهش یافته است [۱۳]. در مطالعه دیگری بررسی حذف فلزات سنگین توسط تالابهای مصنوعی انجام شد که در آن حذف کروم در تالاب مصنوعی ۹۹/۹۹ درصد به دست آمد و با زیاد شدن زمان ماند در حالت مذکور، راندمان حذف کروم نیز افزایش یافت [۱۴].

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 BOD₅، TSS، TKN، TP و TC به ترتیب ۹۷، ۹۲، ۹۷/۵، ۹۷ و ۹۵/۷۵ درصد گزارش شده است [۱۵]. بررسی تجمع و جذب جیوه و آرسنیک فاضلاب شهری و صنایع در سه گونه از گیاهان آبی فرآگماتیس استرالیس^۵، اسکیرپوس^۶، تیفا لاتیفولیا^۷، در بافتهای هوایی وزمینی آنها در دزفول نشان داده است که تجمع As و Hg در بافت زمینی آنها بیشتر از بافت هوایی است. در ضمن در این میان به ترتیب

فرآگماتیس استرالیس و اسکیرپوس، بیشتر از تیفا لاتیفولیا در جذب این دو عنصر نقش دارند که نسبت جذب در بافت زمینی به هوایی در آرسنیک ۸۵/۳ و در جیوه ۱۰۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برای فرآگماتیس استرالیس و برای اسکیرپوس، ۱۹/۷ در آرسنیک و ۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در جیوه است [۱۶].

یک نمونه دیگر از مطالعات انجام شده در ایران، بررسی تجمع و جذب نیتروژن و فسفر در سه غلظت و در چهار گونه از گیاهان آبی فرآگماتیس استرالیس، اسکیرپوس، تیفا لاتیفولیا و آلیسما پلانتاگو^۸ در شرایط هوازی و نیمه هوازی در دزفول بوده که نتایج حاکی از آن بود که فرآگماتیس استرالیس و تیفا لاتیفولیا بیشترین پتانسیل را برای جذب مواد نوتریتی از فاضلاب خانگی تحت شرایط هوازی و نیمه هوازی دارند [۱۷]. مورد دیگر حذف فلزات سنگین مانند مس و کروم توسط نی فرآگماتیس استرالیس و مقایسه آن با یک نمونه شاهد بدون نی است که در آن فلز مس با غلظتهای ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر در زمان ماند ۲ روز و کروم ۲، ۱۰، ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر بررسی گردیده است که نتایج حاصله بیانگر آن است که با افزایش غلظت مس از ۲ به ۱۵ میلی‌گرم در لیتر، بازده حذف در تالاب مصنوعی از ۱۰۰ به ۹۸ درصد و در شاهد از ۹۹/۴ به ۹۳/۵۳ درصد کاهش می‌یابد و کروم در زمان‌های ماند ۱، ۳ و ۵ روز به ترتیب افزایش بازده را نشان داد که البته با افزایش زمان ماند، بازده حذف کروم نیز تا حدود ۹۹/۹۹ درصد افزایش یافته است [۱۸].

در همه تحقیقات مذکور، به نقش تالاب و کارایی آن در حذف پارامترهای مختلف انواع فاضلابها توجه ویژه‌ای شده است. ولی در خصوص بهره‌برداری از این پایلوت به روش سیستم جمع‌آوری فاضلاب با قطر کوچک^۹ گزارش مستندی در مورد ازت و فسفر به صورت صحرائی وجود ندارد. در سیستم SDGS پساب هر واحد مسکونی بعد از اینکه از سپتیک تانک موجود در هر واحد خارج می‌شود، همراه دیگر پسابهای خارج شده از منازل دیگر با لوله‌های با قطر کم وارد خط انتقال روستا شده، سپس به پایلوت وارد می‌شود. این تحقیق با هدف یافتن روشهای نوین برای حذف ازت و فسفر و جلوگیری از ورود آنها به آبهای زیرزمینی و در نهایت پیشگیری از آلودگی آبهای زیرزمینی انجام شد. از طرفی با توجه به این که گیاه موجود در تالابها در فصل زمستان خشک می‌گردد، پایلوت در این تحقیق در فصل زمستان به صورت گلخانه‌ای محافظت شد و بازدهی سیستم و ضرورت بررسی شرایط مذکور در کارایی آن، در یک سیکل یکساله مورد بررسی قرار گرفت.

⁸ *Alisma plantago*

⁹ Small Diameter Gravity System (SDGS)

¹ Park et al.

² *Phragmites Japonica*

³ Wallace

⁴ B Pucci et al.

⁵ *Phragmites Australis*

⁶ *Sirpus*

⁷ *Typha latifolia*

جدول ۱ مشخصات مواد محیطی که برای طراحی این گونه سیستم‌ها به کار می‌روند، آمده است. در شکل ۱ مرحله‌ای از ساخت پایلوت به تصویر کشیده شده است.

پس از احداث پایلوت، فوراً کاشت نی فاراگمیتس استرالیس انجام شد. این گیاه در اکثر نقاط دنیا به وفور یافت می‌شود و دارای تحمل شوری PPT ۴۵ و pH بهینه ۲ تا ۸ و در دمای مطلوب ۱۲ تا ۳۳ درجه سلسیوس به خوبی رشد می‌کند. فاضلاب با دبی ۵۴۰ لیتر در شبانه روز و با زمان ماند هیدرولیکی ۱/۹ روز، پایلوت را تغذیه می‌کرد.

پس از رشد نی‌ها و در مدت تحقیق که از تاریخ ۱۳۸۸/۹/۱۱ تا ۱۳۸۹/۶/۶ به طول انجامید در مجموع ۷۳ نمونه کلی و ۱۵۵ نمونه جزئی از ورودی و خروجی پایلوت برداشت شد و به علت محدودیت برای آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه شرکت فاضلاب منطقه ۳ تهران و آزمایشگاه مرکزی شرکت آب و فاضلاب غرب استان تهران عامل‌های COD, TSS, TP, TN و BOD به روش استاندارد ذکر شده در کتاب استاندارد متد سال ۱۹۹۱ مورد آزمون قرار گرفت [۱۹].

هدف اصلی از انجام این تحقیق تعیین راندمان حذف و کارایی سیستم وتلند نوع زیرسطحی، در حذف P و N در فاضلاب روستای مراد تپه برای مناطق با شرایط آب و هوایی و دیگر پارامترهای مشابه بود. اهداف جزئی آن نیز یکی تعیین راندمان و کارایی سیستم تالاب مصنوعی SFS اصلاح شده در حذف P و N در تصفیه فاضلاب شهری و مورد دیگر تعیین راندمان و کارایی سیستم وتلند مصنوعی اصلاح شده در حذف TSS, COD, BOD در فصلهای سرد و گرم سال بود. فرض بر این بود که سیستم تالاب، هم قادر به حذف ازت و فسفر است و هم تغییرات درجه حرارت در راندمان حذف پارامترهای مزبور مؤثر است.

۲- روش تحقیق

به منظور بررسی کارآمدی سامانه تالاب در تصفیه فاضلاب روستایی، پایلوتی از جنس ورق گالوانیزه به طول ۲۰ و عرض ۰/۳ متر و ارتفاع و عمق به ترتیب ۱ و ۰/۶ متر در روستای مراد تپه از توابع شهرستان کرج در بخش اشتهارد، دهستان رحمانیه با مختصات جغرافیایی طولی ۴۳۶۵۷۶ و عرضی ۳۹۵۴۹۵۷ ساخته شد و زمان تحقیق نیز از شهریور ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ بود. در

جدول ۱- مشخصه‌های نمونه وار مواد محیطی برای طراحی سیستم پایلوت مورد نظر با جریان زیر سطحی

K ₂₀	رسانندگی هیدرولیکی، Ks(Ft ³ /Ft ² .d)	تخلخل α	حداکثر اندازه ۰/۱۰ دانه‌ها (mm)	نوع ماده محیطی
۱/۸۴	۱۳۸۰	۰/۴۲	۱	ماسه متوسط
۱/۳۵	۱۵۷۵	۰/۳۹	۲	ماسه درشت
۰/۸۶	۱۶۴۰	۰/۳۵	۸	ماسه شنی



شکل ۱- پایلوت تالاب در حال ساخت، روستای مراد تپه در سال ۱۳۸۸

۳- نتایج و بحث

۳-۱- BOD

از نتایج به دست آمده از آزمایش‌های BOD مشخص گردید که BOD₅ ورودی دارای مقادیر حداقل و حداکثری است که میانگین آن ۵۷/۸۹ میلی گرم در لیتر و انحراف معیار آن ۳۱/۹۶ میلی گرم در لیتر بود و BOD₅ خروجی نیز دارای حداقل و حداکثری با میانگین ۸/۷۴ میلی گرم در لیتر و انحراف معیار ۴/۷۷ میلی گرم در لیتر بود که حدود $15/71 \pm 79/32$ درصد BOD آن حذف گردید و مقدار BOD خروجی پایلوت از حداکثر ۱۶ میلی گرم در لیتر بیشتر نبود (جدول ۲). با توجه به مساحت ۶ متر مربعی بستر تالاب، بازده حذف به ازای هر متر مربع ۱۳/۲ درصد بود که با افزایش سطح و زمان ماند، با همان دبی و عمق ثابت ۰/۶ متر، به تبع راندمان نیز افزایش یافت. در تمام نمونه‌ها راندمان حذف BOD تابع دما بوده و با افزایش و کاهش دما راندمان نیز کم و زیاد شد. گرچه تغییرات BOD ورودی زیاد بود ولی تغییرات BOD خروجی آن کم و دارای انحراف معیار ۴/۷۷ بود که علت آن نیز ناشی از عملکرد صحیح سیستم و فرایندهای بیولوژیکی مرتبط با حذف BOD آن بود.

با توجه به استانداردهای داخلی محیط زیست کشور که حداکثر مقدار را برای تخلیه در مصارف کشاورزی و آبیاری، ۱۰۰ میلی گرم در لیتر و برای تخلیه در چاههای جذبی و آبهای سطحی ۳۰ میلی گرم در لیتر پیشنهاد داده است، مقدار BOD خروجی پایلوت کمتر از ۳۰ میلی گرم در لیتر بود. بنابراین تخلیه آن از نظر محیط زیست می‌تواند قابل قبول باشد.

۳-۲- COD

از نتایج به دست آمده از آزمایش‌های COD نیز مشخص شد که راندمان حذف COD پایلوت بدون در نظر گرفتن حداقل و حداکثر به طور متوسط ۷۰/۶۴۵ درصد با انحراف معیار ۱۶/۸۱ درصد است (جدول ۲). COD ورودی دارای تغییرات زیادی بود ولی

COD خروجی دارای حداکثری به میزان ۴۶ میلی گرم در لیتر، با میانگین ۲۴/۴۴ میلی گرم در لیتر و انحراف معیار ۱۲/۱۶ میلی گرم در لیتر بود که این راندمان به دلیل عملکرد فرایندهای بیولوژیکی موجود در سیستم به دست آمد. در این حالت نیز با توجه به مساحت ۶ متر مربعی بستر تالاب، بازده حذف به ازای هر متر مربع ۱۱/۷۷ درصد بود که با افزایش سطح و زمان ماند، با همان دبی و عمق ثابت ۰/۶ متر، به تبع راندمان نیز افزایش می‌یابد. در تمام نمونه‌ها راندمان حذف COD، تابع دما بوده و با افزایش و کاهش دما راندمان نیز کم و زیاد می‌گردد.

با توجه به استانداردهای داخلی محیط زیست کشور که حداکثر مقدار COD را برای تخلیه در مصارف کشاورزی و آبیاری ۲۰۰ و برای تخلیه در چاههای جذبی و آبهای سطحی ۶۰ میلی گرم در لیتر پیشنهاد داده است، مقدار COD خروجی پایلوت پایین تر از ۶۰ بود و برای تخلیه، از نظر محیط زیستی قابل قبول بود.

۳-۳- TSS

راندمان حذف TSS بر اساس نتایج حاصله دارای مقدار متوسط ۷۶/۶۴۵ درصد با انحراف معیار ۱۶/۷۹ درصد بود (جدول ۲). مقدار TSS ورودی در یک مورد ۱۸۱ میلی گرم در لیتر بود و خروجی نیز بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۱ و حداکثر ۱۸ میلی گرم در لیتر با میانگین ۵/۸۷ میلی گرم در لیتر و انحراف معیار ۴/۵ میلی گرم در لیتر بود که در این حالت نیز با توجه به مساحت ۶ متر مربعی بستر تالاب، بازده حذف به ازای هر متر مربع ۱۲/۷۷ درصد شد که با افزایش سطح، با همان دبی و عمق ثابت ۰/۶ متر، به تبع راندمان نیز افزایش می‌یابد. علت حذف TSS، فرایند فیلتراسیون بستر است. در تحقیقی که در بررسی عملکرد ترکیب برکه‌های بی‌هوای و وتلند در تصفیه فاضلاب صنایع نساجی در مناطق سردسیر صورت گرفته نیز بازده ۲/۴۲ درصد در دمای ۱۵- درجه سلسیوس به دست آمده که نشان می‌دهد ریشه‌ها به عنوان یک فیلتراسیون، قوی عمل می‌کنند [۲۰].

جدول ۲- تغییرات و درصد حذف BOD، COD، TSS و ورودی و خروجی تالاب پایلوت در روستای مراد تپه، نسبت به زمان درسال ۱۳۸۸-۱۳۸۹

پارامتر	مینیمم	ورودی		خروجی		مینیمم	ماکسیمم	پارامتر
		میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار			
BOD	۱۵	۵۷/۹۸	۳۱/۹۶	۸/۷۴	۴/۷۷	۱	۱۲۰	۹۸/۴۸
COD	۳۲	۹۷/۶۵	۴۷/۴۳	۲۴/۴۴	۱۲/۱۶	۲/۷	۱۹۲	۹۸
TSS	۱۲	۴۰/۱۷	۶/۵۲	۵/۸۷۵	۴/۵	۱	۱۸۱	۹۷/۷۹

بنابر استانداردهای داخلی محیط زیست کشور که حداکثر مقدار TSS را برای تخلیه در مصارف کشاورزی و آبیاری ۱۰۰ و برای تخلیه در چاههای جذبی و آبهای سطحی ۴۰ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد داده است، مقدار TSS خروجی پایلوت کمتر از ۴۰ بود و بنابراین تخلیه آن از نظر محیط زیستی می‌تواند قابل قبول باشد.

TKN - ۴-۳

TKN یا ازت کلدال^۱ ورودی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۳/۱۶ و حداکثر ۲۲/۴۳ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۱۳/۲۳ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۵/۳۴ میلی‌گرم در لیتر بود.

مقدار TKN خروجی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۳۱ و حداکثر ۸/۶ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۴/۶۳ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۲/۶۲ میلی‌گرم در لیتر بود. راندمان حذف TKN بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۹۸/۶ درصد و حداکثر ۹۸/۴۶ درصد و میانگین ۶۱/۴۱ درصد با انحراف معیار ۲۳/۰۷ درصد بود.

NH₃ - ۵-۳

آمونیاک ورودی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۶/۶۸ و حداکثر ۲۲/۵ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۱۳/۳۸ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۴/۹۷ میلی‌گرم در لیتر بود. مقدار NH₃ خروجی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۰۸ و حداکثر ۷/۷۷ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۴/۴۵ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۲/۳۳ میلی‌گرم در لیتر بود. راندمان حذف NH₃ بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۱۷/۶۶ درصد و حداکثر ۹۹/۵۷ درصد و متوسط ۶۰/۴۵ درصد با انحراف معیار ۲۵/۷۳ درصد بود. نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده در مقایسه عملکرد بسترهای تالاب با جریان زیر سطحی افقی و عمودی برای حذف آمونیاک در پسابهای صنعتی نیز نشان می‌دهد که درصد حذف آمونیاک در حالت ترکیبی و به‌طوری‌که چیدمان آن ابتدا افقی و بعد عمودی باشد، در بستر اول ۶۰ درصد و در بستر دوم ۹۵ درصد در خروجی ترکیب خواهد بود که این خود حکایت از آن دارد که تالابها در حذف آمونیاک صنعتی و شهری تقریباً به‌صورت یکسان عمل می‌کنند [۲۱].

NO₂ - ۶-۳

مقدار نیتريت ورودی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۰۱ و حداکثر ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۰/۰۴ میلی‌گرم

در لیتر و انحراف معیار ۰/۳۲ میلی‌گرم در لیتر بود. نیترات خروجی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۰۱ و حداکثر ۰/۸۴ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۰/۱۸ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۰/۳۲ میلی‌گرم در لیتر بود. راندمان حذف نیتريت نیز بر اساس نتایج مزبور منفی بود که به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. پساب خروجی علی‌رغم افزایش مقدار و با در نظر گرفتن این که سایر پارامترها در حد استاندارد هستند، قابلیت استفاده در کشاورزی آبیاری، تخلیه به چاههای جذبی و آبهای سطحی را داشت.

NO₃ - ۷-۳

نیترات ورودی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۱ و حداکثر ۱۴/۴۱ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۲/۲۸ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۴/۲۵ میلی‌گرم در لیتر بود. مقدار نیترات خروجی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۰۴ و حداکثر ۶/۲۷ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۱/۴۹ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۲/۱۵ میلی‌گرم در لیتر بود. راندمان حذف نیترات بر اساس نتایج مزبور منفی بود که به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. با توجه به استاندارد های داخلی محیط زیست، پساب خروجی مزبور علی‌رغم افزایش مقدار، قابلیت تخلیه در آبهای سطحی را دارد ولی نمی‌توان در چاههای جذبی آن را وارد کرد.

ازت آلی - ۸-۳

ازت آلی ورودی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۲۸ و حداکثر ۲/۶ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۱/۱۴ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۰/۹۳ میلی‌گرم در لیتر بود. مقدار ازت آلی خروجی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۰۵ و حداکثر ۱/۳۶ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۰/۵۳ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۰/۴۱ میلی‌گرم در لیتر بود. راندمان حذف ازت آلی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۱ درصد و حداکثر ۸۸/۹۹ درصد و متوسط ۴۷/۶۶ درصد با انحراف معیار ۲۷/۱۵ درصد بود.

به‌طور کلی مشتقات ازت در سیستم، تحت اثر فرایندهای نیتریفیکاسیون^۲ و دنیتریفیکاسیون^۳ ناقص، به یکدیگر تبدیل می‌شوند که البته میزان خروجی آنها بیشتر از ورودی به پایلوت بود که این موضوع در روستای مراد تپه نه تنها ضرر ندارد بلکه به‌دلیل استفاده از پساب در کشاورزی، مفید هم است ولی در جاهایی که

² Nitrification

³ Denitrification

¹ Kejl Dahl

جدول ۳- تغییرات و درصد حذف P، N و رودی و خروجی تالاب پایلوت در روستای مراد تپه، نسبت به زمان در سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸

پارامتر	ورودی		خروجی		راندمان حذف	
	میانگین	ماکسیمم	میانگین	ماکسیمم	میانگین	ماکسیمم
TN	۱۳/۳۷	۳۴/۳۷	۴۸/۸۳	۱۱/۰۷	۵۹/۲۲	۹۷/۸۷
	۶/۹۴	۰/۳۹	۳/۱۷	۰/۸۶	۲۶/۱۱	
	۷/۵۳				۸۶/۱۷	
TP	۷/۲۸	۲۳	۰/۸۹	۳/۳۶	۱۲/۳۷	۹۸/۵

حذف ازت مهم هست می توان با افزایش طول پایلوت راندمان حذف را افزایش داد.

۳-۹- TN

بر اساس نتایج حاصله میانگین ازت کل TN ورودی ۱۳/۳۷ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار آن ۶/۹۴ میلی‌گرم در لیتر و میانگین خروجی آن نیز ۴/۳۸ میلی‌گرم در لیتر با انحراف معیار ۳/۱۷ میلی‌گرم در لیتر بود. راندمان حذف TN به‌طور متوسط ۵۹/۲۲ درصد با انحراف معیار ۲۶/۱۱ درصد بود (جدول ۳). در کلیه موارد مربوط به ترکیبات ازته، راندمان حذف پارامترهای ازت به جز NO_2 و NO_3 مثبت بوده و در دو مورد مزبور منفی بود. به‌طور کلی حذف مواد آلی نیتروژن‌دار در تالاب به دو روش هوازی و بی‌هوازی بود که حذف هوازی توسط اکسیژن موجود در اطراف ریشه‌ها و حذف بی‌هوازی در منطقه دور از ریشه و در کف بستر توسط میکروارگانیسم‌های اختیاری نیتروژن و همچنین توسط فرایندهای نیتریفیکاسیون و دی‌نیتریفیکاسیون انجام می‌گردد.

۳-۱۰- PO_4

مقدار فسفات ورودی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۱/۴ و حداکثر ۲۳ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۷/۵۳ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۷/۸۶ میلی‌گرم در لیتر بود. فسفات خروجی بر اساس نتایج حاصله دارای مقادیر حداقل ۰/۰۵ و حداکثر ۳/۳۶ میلی‌گرم در لیتر، با میانگین ۰/۸۶ میلی‌گرم در لیتر و انحراف معیار ۰/۸۹ میلی‌گرم در لیتر بود. بر اساس نتایج حاصله راندمان حذف به‌طور متوسط ۸۶ درصد با انحراف معیار ۱۲/۳۷ درصد بود که با توجه به استانداردهای داخلی محیط زیست، مقدار P در پساب خروجی مزبور ۳/۳۶ میلی‌گرم در لیتر بود. مطابق تحقیقات انجام

شده توسط ارسی والا^۱ در برکه‌های تثبیت، حذف فسفر به دو روش جلبکی و ترسیب به‌صورت 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 [۲۲]. در این روش حذف فسفر صرفاً در ترسیب در مدیای بستر و جذب در ریشه و مصرف گیاه خلاصه می‌شود [۲۳]. با توجه به مساحت ۶ متر مربعی بستر تالاب، بازده حذف به ازای هر متر مربع ۱۴/۳۳ درصد بود که با افزایش سطح و زمان ماند، با همان دبی و عمق ثابت ۰/۶ متر، به تبع راندمان نیز افزایش می‌یابد. در تمام نمونه‌ها راندمان حذف PO_4 ، تابع دما بوده و با افزایش و کاهش دما راندمان نیز کم و زیاد می‌شد.

با در نظر گرفتن این که سایر پارامترها در حد استاندارد هستند، می‌توان فاضلابی که به‌روش تالابی تصفیه می‌شود را به آبهای سطحی و چاه جذبی وارد کرد.

۴- نتیجه‌گیری

۱- تالابهای مصنوعی در صورت راهبری مناسب، روش مطمئنی برای تصفیه فاضلاب روستایی و حصول استانداردهای محیط زیستی هستند، بنابراین تخلیه پساب آنها از نظر محیط زیستی در اغلب موارد می‌تواند قابل قبول باشد.

۲- بهره‌برداری از تالابهای مصنوعی در صورت در دسترس بودن زمین کافی، روش مناسبی برای تصفیه فاضلاب روستایی مخصوصاً به روش SDGS در مناطق دور دست ایران است.

۳- به‌کارگیری سیستم‌های پیشرفته تصفیه در نقاط دور افتاده کشور مشکلاتی در بر دارد و هزینه مرتبط با به‌کارگیری افراد متخصص در زمینه بهره‌برداری و نگهداری آنها بالا است. در صورتی که تالابها بر خلاف سیستم‌های متداول در حذف ازت و فسفر، کم هزینه هستند.

¹ Arceivala

- ۴- تالابهای مصنوعی یکی از مناسبترین تکنولوژیهای کاربردی برای کشورهای در حال توسعه هستند.
- ۵- بهره‌برداری و نگهداری از تالابها به سهولت امکان پذیر است.
- ۶- راندمان مناسب در حذف آلاینده‌ها و از دیگر مشخصات تالابها است.
- ۷- با افزایش طول پایلوت می‌توان راندمان حذف ازت را افزایش داد.
- ۸- اثر دما روی COD, BOD, PO₄ کاملاً مشهود است و با افزایش و کاهش دما راندمان‌های این پارامترها نیز کم و زیاد می‌شود ولی روی بقیه پارامترها بی تأثیر است.

۵- مراجع

- 1- Crites, R.W.(1994). "Design criteria and practice for constructed wetlands." *Water Science and Technology*, 29 (4),1-5.
- 2- Tchobanaglus, G., Burton, F., and Stensel, D. (1991). *Wastewater engineering treatment, disposal reuse*, 3rd Ed., McGraw-Hill, Metclh and Eddy International Edition Engineering Series.
- 3- Yousefi, Z. (2001). "The role of dark lily on removing Bacteria from sewage plant in a subsurface wetland system." *Research and Scientific J. of Mazandaran University of Medical Science*, 31, 7-15.
- 4- Gholi Badlyans Kandy, G. (2002). *The design of physical, chemical biological sewage*, Water and Electricity Industry Pub., Shahid Abbaspour. (In Persian)
- 5- Razavian, S.O. (2009). "Enuluating the role of artificial wetland in rural wastewater treatment." M.Sc. Thesis, School of Natural and Agriculture Resources, Islamic Azad University, Science and Research Branch. (In Persian)
- 6- Ahn, T. S., and Kong, D. S. (1998). "Application of ecotechnology for nutrients removal." Chou, C.H., and Shao, K.T. (Eds.), *Frontiers in Biology*, IUBS, Seoul, Korea.
- 7- Ahn, T.S., Park, H. J., and Kim, D.S. (2000). "Three types of artificial wetland for wastewater treatment." *Proc." Ecotechnology in Environmental Protection and Fresh Water Lake Management*, Chunchon, Korea, 127-131.
- 8- Fan, Ch., Chang, F.Ch., Ko, Ch.H., Sheu, Y.Sh., Teng, Ch.J., and Chang, T.Ch. (2009). "Urban pollutant removal by a constructed riparian wetland before typhoon damage and after reconstruction." *Ecological Engineering*, 34, 424-243.
- 9- Nordin, N.A. (2006). "Leachat treatment using constructed wetland with magnetic field." M.Sc. Thesis, Malaysia University.
- 10- Park, H.J., Ahn, T.S., and Kim, D.S. (2001). "Artificial wetland for wastewater treatment system." <http://www.nwl.ac.uk/research/cairoworkshop/papers/WASTEWATER/ws2_4.pdf>. (Jan. 25, 2011)
- 11- Wallace, S. D. (2010). "Application of constructed wetland for industrial wastewater treatment Available." <http://www.naturallywallace.com/docs/53_Application%20of%20Industrial%20WW%20Treatment.pdf> (Jan. 25, 2011)
- 12- Pucci, B., Conte, G., Martinuzzi, L., Giovamell., L., and Masi, F. (1998). "Design and performance of a horizontal flow constructed wetland for treatment of dairy and agricultural wastewater in the "chianti" countryside." Ava <[http://www.google.com/search?hl=en&source=hp&q=DESIGN + AND + PERFORMANCE + OF + A + HORIZONTAL + FLOW&btnG=Google+Search&aq=f&aqi=&aql=&oq=](http://www.google.com/search?hl=en&source=hp&q=DESIGN+AND+PERFORMANCE+OF+A+HORIZONTAL+FLOW&btnG=Google+Search&aq=f&aqi=&aql=&oq=)>. (Jan. 25, 2011)
- 13- Naddafi, K., Mofizi, A., Baik, R., and Safariabadi, A. (2009). "A paper about evaluating the effect of artificial reedy system on wastewater treatment in iron ore of Iran-bafgh central mine." *Seminar on Efficiency of Wastewater Treatment System Using Wetland Method in Kermanshah*, (In Persian)
- 14- Manshoury, M., and Vosoughi, M. (2009). "A Paper about removing heavy metals by Artificial Wetlands." *Second National Conference on Environmental Health*, Tehran. (In Persian)
- 15- Rahmani Sani, A., Mehrdadi, N., Azimi, A.A., and Torabian, A. (2007). "A Paper about evaluating performance of artificial wetlands in the discontinuous flow for treatment of municipal wastewater." *J. of Water and Wastewater*, 70, 32-39. (In Persian)
- 16- Afrous, A., Manshoury, M., Liaghat, A., Pazira, E., and Sedghi, H. (2010). "Accumulation of mercury and arsenic in three species of aquatic plants in Dezful, Iran." *IDOSI Publications, World Applied Sciences Journal*, 10 (8), 911-917.
- 17- Afrous, A., Hedayat, N., Liaghat, A., Mohammadpour, M., and Manshoury, M. (2010). "Accumulation and uptake of Nitrogen and Phosphorous by four species of aquatic plants under arid and semi-arid conditions of Dezful, Iran." *IDOSI Publications, World Applied Sciences Journal*, 10 (8), 886-891.
- 18- Manshoury, M., Vosoughi, M., Imandel, K., Borgheie, S.M., and Badkhobi, A. (2000). "Removing heavy metals by artificial wetland." *J. of Water and Wastewater*, 31, 28-40. (In Persian).
- 19- APHA. (1991) *Standard method for the examination of water and wastewater*, 17th Ed., APHA., AWWA. and WEF., Washington D.C.
- 20- Sorayee Zadeh, A., Azimi, A., Mehrdadi, N., and Daihim, H. (2006). "A paper about evaluating the combination of anaerobic ponds and wetland in wastewater treatment of textile industries in cold regions." *The first Conference on Environmental Engineering*, Tehran University, Tehran. (In Persian)
- 21- Kouhestanyan, A., Abaseian, Z., and Hosseini, S. M. (2008). "A paper about comparing between the performance of wetland bed and, vertical and horizontal subsurface flow for removing ammonia from industrial wastewater." *4th Specialty Conference on Environmental Engineering*, Tehran. (In Persian)
- 22- Soil, J., and Arceivala, S. (1998). *Wastewater treatment for pollution control*, Tata McGraw-Hill Publ. New Delhi.
- 23- Otto, R.S., Corvalan, C., Gregory, C.O., and Ramirez-zea, M. (2006). "Plant species and temperature effect on the K-C* first-order model for COD removal in batch-loaded SSF wetlands." *Ecological Engineering*, 40(2)100-112.