

Performance of Pilot-Scale Attached Growth Baffled Waste Stabilization Ponds in Coliform Removal

Hossein Sasani¹, Naser Mehrdadi², Behnoush Aminzadeh³, Afshin Takdastan⁴

¹ PHD Student in Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

² Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz JundiShapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

(Received December 18, 2016 Accepted May 9, 2017)

Abstract

Background and purpose: Waste stabilization pond is one of the conventional wastewater treatment processes especially in warm climate regions. This study investigated the effect of baffle and attached growth on improvement of coliform removal efficiency.

Materials and methods: This research was carried out in pilot scale adjacent to wastewater treatment plant in Ahvaz, Iran. The pilot composed of a control system and three other systems. In control system two ponds were serially connected. Dimension and configuration of other three systems were similar to those of the control system. However, the ponds in these systems were equipped with various baffles and fixed bed media. Within four months, the capability of each system in coliform removal was evaluated in various detention times and coliform die-off coefficient (K_b) of each pond was determined.

Results: During sampling with average detention time of 8.7 day, the average of coliform removal was 69% in control system, while it in two, three and four baffles system these values were 80, 84 and 86%, respectively. Also, K_{b20} average in the first pond of control system was 0.11 d^{-1} and in other systems with increasing of baffles and media packages number to two, three and four it increased to 0.16, 0.17 and 0.18 d^{-1} , respectively. Furthermore, K_{b20} in second pond was higher than first pond of each system.

Conclusion: Use of baffles and fixed bed media improved coliform removal efficiency. The efficiency of two and three baffles system was more than that of the control system and was found to be better than four baffles system technically and economically

Keywords: waste stabilization ponds, attached growth, baffle, coliform

J Mazandaran Univ Med Sci 2017; 27 (151): 155- 165 (Persian).

ارزیابی کارایی برکه های تثبیت بافلدار با رشد چسبیده در حذف کلی فرم ها در مقیاس پایلوت

حسین ساسانی¹ ناصر مهرداد² بهنوش امین زاده³ افشین تکدستان⁴

چکیده

سابقه و هدف: برکه های تثبیت یکی از فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب به ویژه در مناطق گرمسیر می باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثر تعداد بافل ها و سطح رشد چسبیده در بهبود بازدهی این فرآیند در حذف کلی فرم ها بوده است. **مواد و روش ها:** این مطالعه تجربی در مقیاس پایلوت و در مجاورت تصفیه خانه فاضلاب شهر اهواز انجام شد. پایلوت این تحقیق از یک سیستم شاهد و سه سیستم دیگر تشکیل شد. در سیستم شاهد دو برکه به صورت سری به هم متصل شدند. چیدمان و ابعاد سه سیستم دیگر مشابه سیستم شاهد بود با این تفاوت که برکه های سایر سیستم ها به بافل و مدیای با بستر ثابت مجهز شدند. در مدت چهار ماه قابلیت سیستم ها در حذف کلی فرم ها در زمان ماند های مختلف ارزیابی و ثابت مرگ باکتری ها در هر برکه تعیین شد.

یافته ها: در مدت نمونه برداری با میانگین زمان ماند 8/7 روز، بازده حذف کلی فرم ها در سیستم شاهد به طور میانگین 69 درصد و در سیستم های دو، سه و چهار بافل به ترتیب 80، 84 و 86 درصد تعیین گردید. میانگین ثابت مرگ باکتری ها در برکه اول سیستم شاهد 0/11 بر روز و با افزایش تعداد بافل ها و بسته های مدیا به دو، سه و چهار به ترتیب 0/16، 0/17، 0/18 بر روز به دست آمد. به علاوه این ثابت در برکه دوم بیش تر از برکه اول به دست آمد.

استنتاج: استفاده از بافل و مدیای با بستر ثابت بازده کلی حذف کلی فرم ها را بهبود داد. اثر سیستم دو و سه بافل در حذف کلی فرم ها نسبت به سیستم شاهد قابل توجه و در قیاس با سیستم چهار بافل، از نظر اقتصادی موجه تر بود.

واژه های کلیدی: برکه های تثبیت، رشد چسبیده، بافل، کلی فرم ها

مقدمه

موفقیت استفاده شده است (1) و در حدود نیمی از تصفیه خانه های فاضلاب ایالات متحده و نیوزلند را برکه ها تشکیل می دهند (2، 3). ارزان تر بودن فرآیند برکه های تثبیت در مقایسه با سایر فرآیندهای تصفیه

فرآیند برکه های تثبیت فاضلاب جزء فرآیندهای طبیعی تصفیه فاضلاب بوده که در کشورهای در حال توسعه به ویژه در مناطق گرمسیر اهمیت بسیار بالایی دارد. با این وجود از این فرآیند در مناطق معتدل نیز با

Email: sasaniossein@ut.ac.ir

مؤلف مسئول: حسین ساسانی - تهران، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

1. دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

2. استاد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

3. استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

4. دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات فناوری های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: 1395/9/28 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1395/10/5 تاریخ تصویب: 1396/2/19

فاضلاب مهم‌ترین برتری این فرآیند می‌باشد. به طوری که از نظر هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری نسبت به سایر فرآیندها ارزان‌تر می‌باشد (4). این برکه‌ها به راحتی راهبری می‌شوند و با توجه به تأمین اکسیژن توسط جلبک‌ها فاقد تجهیزات برقی و مکانیکی می‌باشند و بنابراین نیروی کار با مهارت پایین برای بهره‌برداری آن کافی است. با این وجود، برکه‌ها در مقایسه با فرآیندهای انرژی محوری مثل لجن فعال به زمین وسیع‌تری نیاز دارند. به علاوه کیفیت پساب خروجی به دلیل حضور جلبک‌ها تنزل یافته و به این معایب تولید بو و از دست دادن آب ناشی از تبخیر را نیز می‌توان اضافه نمود (5). برای بهبود کیفیت آن می‌توان از فرآیندهایی نظیر انعقاد و لخته‌سازی، میکرواسترینر، برکه‌های تکمیلی و فیلترهای سنگی استفاده نمود (6). و تلندها نیز می‌توانند در جهت تکمیل عملیات تصفیه به برکه‌ها اضافه شوند (7). استفاده از تلند در بهبود کیفیت پساب سیستم‌های بی‌هوازی نظیر سپتیک تانک نیز کارایی قابل قبولی از خود نشان داده است (8). بهبود عملکرد هیدرولیکی برکه‌ها نیز سبب افزایش حذف آلاینده‌هایی نظیر پاتوژن‌ها می‌گردد (9). روش دیگر قرار دادن بافل‌ها در برکه‌هاست که با افزایش زمان ماند و کاهش عدد پراکندگی عملکرد برکه بهبود می‌یابد (10). در تصفیه شیرابه که به مراتب از فاضلاب شهری آلوده تر است رآکتورهای بافلدار کارایی بالایی داشته و دست کم شیرابه را جهت استفاده در کشاورزی تصفیه می‌نماید (11). علاوه بر کارگذاری بافل‌ها، با قرار دادن مدیا در برکه‌ها سطح بیش‌تری برای رشد فیلم میکروبی فراهم شده و می‌توان بارگذاری بیش‌تری را اعمال نمود (12، 13). استفاده از فرآیندهای رشد چسبیده در سال 1893 در انگلستان با ارائه صافی چکنده مطرح شد (14). عمدتاً فرآیندهای مبتنی بر رشد چسبیده شامل دیسک‌های بیولوژیکی چرخان، بیورآکتورهای با بستر مستغرق، رآکتورهای بیوفیلمی شناور و فرآیندهای تلفیقی چسبیده و معلق می‌باشند (15). سطح موجود در

کف و دیواره برکه نیز با فراهم نمودن محیطی برای رشد چسبیده میکروب‌ها نیز در حذف مواد آلی از فاضلاب در برکه‌های اختیاری موثر است (16). بنابراین تشکیل فیلم میکروبی بر بافل‌ها و سطوح جامد سبب کاهش آلاینده‌های فاضلاب می‌گردد. Nielson و همکاران در تحقیقی، عملکرد سه مدل برکه بی‌هوازی بافلدار (با سه نوع آرایش متفاوت بافل‌گذاری اما سطح غوطه‌ور مشابه) در مقایسه با یک مدل بدون بافل از نقطه نظر بارگذاری مواد آلی و هیدرولیکی را بررسی نمودند (17).

Pearson و همکاران اثر پیکربندی و عمق برکه‌های اختیاری و تکمیلی و هم چنین اثر بافل‌ها را بر عملکرد برکه در حذف آلاینده‌ها بررسی کرده و نتیجه گرفتند که وجود بافل در برکه تکمیلی سبب بهبود بازده آن در حذف مواد آلی و پاتوژن‌ها شده است (18). حمدی عباس و همکاران در تحقیقی به بررسی اثر نسبت طول به عرض و تعداد بافل‌ها روی عملکرد برکه‌های تثبیت پرداختند و مشخص کردند که نسبت طول به عرض 4:1 با دو و سه بافل، مناسب‌ترین شکل هندسی برکه‌های تثبیت می‌باشند (19).

Babu در مطالعه‌ای بر چهار پایلوت که یک مورد بدون بافل و سه مورد دیگر مجهز به 15 بافل دارای سطح مشابه ولی با آرایش متفاوت ساخته شد، مشخص نمود که آرایش برکه‌ای که در آن بافل‌ها به موازات جریان نصب شدند تأثیری در بهبود عملکرد تصفیه نداشته است. به علاوه برکه مجهز شده به بافل‌های با جریان عمودی از نظر کاهش جریان اتصال کوتاه موثرترین برکه‌ها می‌باشند (20). الساعد و همکاران در سیستمی متشکل از برکه بی‌هوازی، برکه اختیاری دارای بافل و مدیای سنگی و برکه تکمیلی 77 درصد فیکال کلی فرم را حذف نمودند. در حالی که برکه تثبیت متعارف شاهد در این تحقیق 69 درصد را حذف نمود (21). در این مطالعه اثر تعداد بافل‌ها و مقدار مدیا روی کارایی برکه‌ها در حذف کلی فرم از خروجی ته

نشینی اولیه تصفیه‌خانه فاضلاب چنیبه در شهر اهواز بررسی شده است.

مواد و روش ها

این مطالعه به روش تجربی انجام شده است.

کیفیت فاضلاب

تصفیه‌خانه فاضلاب چنیبه تنها تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اهواز بوده که با مساحت 13 هکتار 140000 نفر از جمعیت شهر اهواز را پوشش داده و با فرآیند لجن فعال متعارف در حدود 390 لیتر در ثانیه فاضلاب دریافتی را تصفیه می نماید (22). در این تصفیه‌خانه فاضلاب پس از عبور از واحدهای آشغالگیر، دانه گیر و ته‌نشینی اولیه وارد حوض هوادهی شده تا پس از حذف مواد آلی وارد واحد کلرزنی شده و به رودخانه تخلیه گردد. به منظور انجام تحقیق، از پساب خروجی واحد ته نشینی اولیه به عنوان فاضلاب خام پایلوت استفاده شده است. در جدول شماره 1 میانگین کیفیت این فاضلاب در دوره نمونه برداری (از اسفند 1394 تا خرداد 1395) ارائه شده است.

مشخصات پایلوت

پایلوت این تحقیق از یک سیستم شاهد و سه سیستم دیگر تشکیل شده بود. در تصویر شماره 1 پلان پایلوت طراحی شده نشان داده شده است. سیستم شاهد از دو برکه اختیاری تشکیل گردید که به صورت سری به هم متصل شدند. ابعاد برکه اول و دوم به ترتیب $(4 \times 1 \times 1)$ متر و $(4 \times 1 \times 0/8)$ متر بود. سیستم‌های دیگر

جدول شماره 1: مشخصات کیفی فاضلاب ورودی به پایلوت*

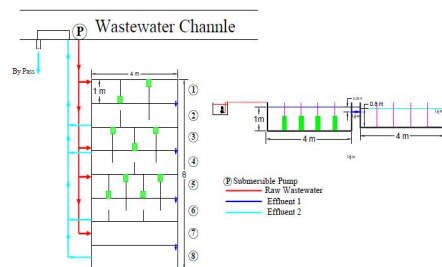
ردیف	پارامتر	واحد	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	میانگین	انحراف معیار
1	BOD ₅	mg/l	167	132	124	171	148/5	20/5
2	COD	mg/l	274	236	172	252	233/3	31/2
3	TSS	mg/l	86	62	63	48	64/8	11/9
4	TP	mg/l	4/8	4/4	3/9	4/3	4/4	0/3
5	TKN	mg/l	35	33/4	29/7	31	32/3	2/4
6	TC	MPN/100ml	$8/5 \times 10^{12}$	$8/7 \times 10^{12}$	$7/9 \times 10^{12}$	$7/8 \times 10^{12}$	$8/2 \times 10^{12}$	$4/0 \times 10^{11}$
7	pH	-	7/7	7/3	7/2	7/8	7/5	0/23

همان ابعاد و اندازه سیستم شاهد را داشتند با این تفاوت که برکه‌های این سیستم‌ها به ترتیب دارای دو، سه و چهار عدد بافل بودند. جنس بافل‌ها چوب سه لایه بود که با استفاده از رنگ روغن پوشش داده شدند و مطابق تصویر شماره 1 به صورت عرضی (70 درصد عرض هر برکه) در برکه‌ها نصب گردیدند. به منظور آب‌بندی برکه‌ها ابتدا سطوح داخلی با ملات ماسه و سیمان پلاستر شده سپس با استفاده از عایق‌های رطوبتی ساخت شرکت پشم و شیشه ایران با مدل LA4 پوشیده شدند. از پوکه معدنی با میانگین قطر 3 سانتی‌متر و سطح ویژه $100 \text{ m}^2/\text{m}^3$ به عنوان مدیای رشد چسبیده در برکه‌های اختیاری بافلدار استفاده شد. پوکه‌ها درون سبدهای پلاستیکی به ابعاد $60 \times 30 \times 30$ سانتی‌متر قرار داده شدند. در کنار هر بافل از برکه‌های اول، با قرار دادن سه سبدهای حاوی پوکه معدنی روی هم، محیط مناسب رشد چسبیده نیز فراهم شد. بدین ترتیب در برکه‌های با تعداد بافل بیش‌تر، مدیای بیش‌تری نیز به عنوان بستر ثابت رشد چسبیده به کار رفت.

راه اندازی و راهبری پایلوت

جهت راه‌اندازی پایلوت و به منظور جلوگیری از ایجاد شرایط بی‌هوای در آن، ابتدا نیمی از برکه‌ها از آب لوله‌کشی و هم‌چنین پساب خروجی تصفیه‌خانه پر شد و سپس با استفاده از پمپ مستغرق از نوع پروانه باز ساخت کارخانه Leo، فاضلاب ته‌نشین شده با دبی 0/6 متر مکعب در روز وارد برکه‌ها گردید.

* تعداد نمونه ها در هر ماه 3 عدد می باشد.



تصویر شماره 1: پلانی از طرح پایلوت

دمای 105 درجه سلسیوس مطابق دستورالعمل 2540 D، DO با استفاده از DO متر مدل HQ40d ساخت شرکت Hach مطابق دستورالعمل O-B 4500 ، TP به روش اسپکتروفتومتری مطابق دستورالعمل P D 4500- pH به روش دستگاهی با استفاده از pH متر مدل 720 ساخت شرکت WTW مطابق دستورالعمل H B 4500- اندازه گیری شدند. برای اندازه گیری TKN ابتدا به روش هضم و تقطیر، ازت آلی مطابق دستورالعمل 4500. N_{org} و سپس ازت آمونیاکی مطابق دستورالعمل 4500- NH₃ سنجدیده و مجموع آن ها تحت عنوان کل نیتروژن کج‌لدال (TKN) ثبت شد. پارامتر کل کلی فرم نیز بر اساس روش تخمیر 15 لوله‌ای مطابق دستورالعمل B 9221، با توجه به توانایی تخمیر قند لاکتوز در دمای 35 درجه سلسیوس توسط خانواده کلی فرم ها و استفاده از جداول شمارش کلی فرم ها در 100 میلی لیتر نمونه اندازه گیری شد (23).

یافته ها

غلظت کلی فرم خروجی از سیستم ها

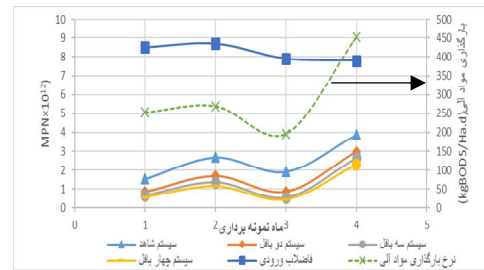
نمودار شماره 1 غلظت کل کلی فرم ها و بارگذاری مواد آلی در طول دوره نمونه برداری را نشان می دهد. مطابق این نمودار، غلظت کل کلی فرم های خروجی از همه سیستم ها در چهار ماه نمونه برداری بیش تر از حد مجاز تخلیه به آب های سطحی و مصارف کشاورزی (1000MPN/100 ml) بوده و ضریبی از 10^{12} می باشد. در طول دوره چهارماهه بهره برداری، غلظت کل کلی فرم ها در خروجی روندی تقریباً صعودی داشته که این موضوع به کاهش زمان ماند برکه ها از 12 روز در ماه اسفند به 6 روز در ماه خرداد مربوط می باشد. البته اثر مثبت افزایش دمای فاضلاب از میانگین 21 درجه سلسیوس در اسفندماه به میانگین 25 درجه سلسیوس در خرداد ماه در حذف کلی فرم ها را نمی توان نادیده گرفت. نتایج به دست آمده از نمونه برداری ها نشان

طی یک ماه، وضعیت برکه ها از نظر رنگ و غلظت اکسیژن محلول پایش گردید. پس از یک ماه رنگ فاضلاب برکه ها سبز شد که این نشان دهنده تشکیل جلبک های فوتوسنتز کننده بود. غلظت اکسیژن محلول نیز در حدود 1/5 تا 2 میلی گرم در لیتر بود. در دوره چهار ماهه بهره برداری از پایلوت، محدوده pH فاضلاب ورودی 7/3 تا 7/8 گزارش گردید. هم چنین میانگین دمای فاضلاب برکه ها در اسفندماه 21 درجه سلسیوس بود که با تغییر فصل و افزایش دما در ماه های بعدی به ترتیب تا 22، 24 و 25 درجه سلسیوس افزایش یافت. در این شرایط، نمونه برداری از خروجی هشت برکه در ساعت 10:00 صبح در سه روز پایانی هر ماه و به مدت چهار ماه انجام شد و آزمایش شمارش کل کلی فرم ها روی نمونه ها صورت گرفت. پس از فاز راه اندازی در سه ماه بعدی دبی های 0/75، 1، و 1/2 متر مکعب در روز به سیستم ها اعمال و همانند شرایط مرحله راه اندازی، در پایان هر ماه روی خروجی هشت برکه آزمایش شمارش کل کلی فرم ها، صورت گرفت.

رویه انجام آزمایش ها

همه آزمایش ها و تحلیل ها بر اساس دستورالعمل استاندارد انجام گرفت. COD به روش هضم برگشتی باز مطابق دستورالعمل 5220B، BOD₅ به روش دستگاهی مطابق با دستورالعمل 5210 D TSS با عبور دادن نمونه از کاغذ صافی با مش 0/45 میکرون و خشک کردن در

می دهد که طی دو ماه اول اثر منفی کاهش زمان ماند بر اثر مثبت افزایش دما در حذف پاتوژن ها چیرگی داشته و به همین دلیل افزایش غلظت پاتوژن ها در پساب خروجی از هر سیستم اتفاق افتاده است. اما در ماه سوم کیفیت میکروبی پساب بهبود یافته که این موضوع با توجه به افزایش 4 درجه ای دما و شدت روشنایی و افزایش سرعت وزش باد قابل توجیه است (3). نکته دیگر بهبود کیفیت میکروبی پساب خروجی از سیستم های بافلدار با رشد چسبیده در مقایسه با سیستم شاهد است. طبق نمودار شماره 1 غلظت کلی فرم ها در خروجی سیستم های دو، سه و چهار بافل نسبت به سیستم شاهد به ترتیب 36/8، 48/9 و 56 درصد کاهش یافته است که این موضوع به اثر بافل ها بر افزایش رفتار جریان نهرگونه در برکه ها مربوط است که سبب بهبود کیفیت پساب شده است (20).

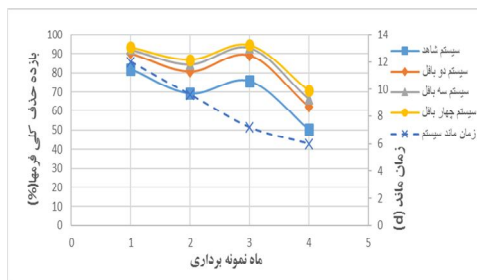


نمودار شماره 1: غلظت کلی فرم ها و بارگذاری مواد آلی در طول دوره نمونه برداری

بازده حذف کلی فرم مدفوعی

در نمودار شماره 2 تغییرات بازده حذف کلی فرم ها برای هر سیستم در طول دوره بهره برداری نشان داده شده است. مطابق با این نمودار، در طول نمونه برداری با کاهش زمان ماند سیستم ها از 12 روز به 6 روز، بازده سیستم ها در حذف پاتوژن ها در دو ماه اول روندی نزولی داشته به طوری که سیستم شاهد از 82 درصد در اسفندماه به 69 درصد در فروردین ماه کاهش یافته است. با این وجود با توجه به گرم شدن هوا و افزایش سرعت بادهای منطقه ای در ماه سوم با وجود کاهش

زمان ماند، بازده حذف کلی فرم ها اندکی بهبود یافته و به 76 درصد رسیده و مجدداً در ماه چهارم به 50 درصد کاهش یافته است. این کاهش بیان گر این است که حتی اثرات مثبت ناشی از افزایش دما در ماه چهارم نتوانست اثر سوء کاهش زمان ماند را تعدیل نماید. بازده سیستم دوبافل در اسفندماه به میزان 9 درصد از بازده سیستم شاهد بیش تر بوده و تا 17 درصد در خرداد ماه افزایش یافته است. این نتیجه ناشی از آثار بافل ها و مدیای موجود در برکه دو بافل بوده که با کاهش زمان ماند اثرات بیش تری از خود نشان داده است. با بررسی نمودار شماره 2 مشخص می گردد بازده سیستم سه بافل در اسفندماه به میزان 10 درصد از بازده سیستم شاهد بیش تر بوده و تا 19 درصد در خرداد ماه افزایش یافته است. این بهبود در سیستم چهار بافل نیز مشاهده شده به طوری که بازده حذف کلی فرم ها در اسفندماه و خردادماه به ترتیب به میزان 12 و 29 درصد نسبت به سیستم شاهد ارتقاء یافت. به طور کل، میانگین بازده حذف سیستم های دو، سه و چهار بافل در طول دوره به ترتیب 80، 84 و 86 درصد تعیین گردید در حالی که این شاخص برای سیستم شاهد 69 درصد به دست آمد. بنابراین افزایش تعداد بافل ها و سطح رشد چسبیده سبب بهبود عملکرد برکه ها در حذف پاتوژن ها گردید.

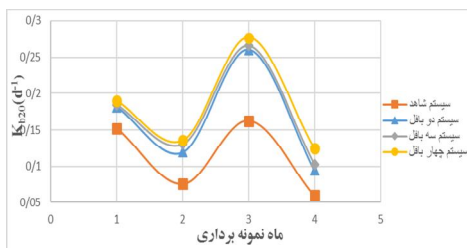


نمودار شماره 2: بازده حذف کلی فرم ها و زمان ماند سیستم ها در طول دوره نمونه برداری

ثابت مرگ باکتری ها

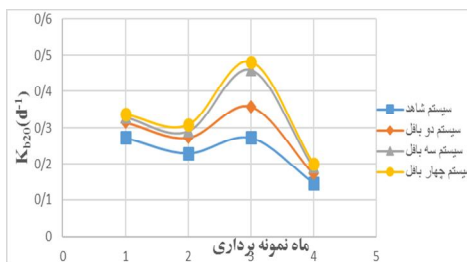
یکی از مزایای برکه های تثبیت کاهش عوامل بیماری زای موجود در فاضلاب می باشد. مهم ترین

روابط فوق و به روش سعی و خطا ثابت مرگ باکتری‌ها در دمای 20 درجه تعیین و با توجه به دمای فاضلاب مقدار واقعی آن اصلاح گردید. نمودار شماره 3 ضریب مرگ باکتری‌ها در برکه اول سیستم‌ها در طول دوره نمونه برداری را نشان می‌دهد. طبق این نمودار بیشترین مقدار این ضریب در ماه سوم اتفاق افتاده که در این ماه زمان ماند و دمای فاضلاب به ترتیب 4 روز و 24 درجه سلسیوس گزارش شده است اما کمترین مقدار آن در ماه دوم بوده و پارامترهای زمان ماند و دمای فاضلاب آن به ترتیب 5/3 روز و 22 درجه سلسیوس می‌باشد.



نمودار شماره 3: ضریب مرگ باکتری‌ها در برکه اول سیستم‌ها در طول دوره نمونه برداری

در نمودار شماره 4 نیز بیشترین و کمترین مقادیر این ضریب به ترتیب در ماه‌های دوم و سوم حادث شده بنابراین اگرچه در طول چهار ماه نمونه برداری با افزایش بارگذاری هیدرولیکی زمان ماند کاهش یافته اما تغییرات این ضریب به صورت اکیداً نزولی کاهش نیافته و در ماه سوم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. علت این امر همان طور که ذکر شد بهبود شرایط بهبود شرایط اقلیمی از نظر دما، شدت روشنایی و سرعت وزش باد می‌باشد.



نمودار شماره 4: ضریب مرگ باکتری‌ها در برکه دوم سیستم‌ها در طول دوره نمونه برداری

عواملی که سبب انهدام این میکروب‌ها در برکه‌های تثبیت می‌شوند عبارتند از: دما، تابش خورشیدی، pH، کمبود مواد غذایی، ارگانیزم‌های شکارگر و مواد سمی (24، 25). از طرفی غلظت پاتوژن‌ها در خروجی برکه‌ها تابع تعداد برکه‌های سری، شکل هندسی، زمان ماند و تعدادی از فاکتورهای داخلی و خارجی برکه‌ها است (26). مرگ و میر پاتوژن‌ها از رابطه کینتیکی درجه یک پیروی می‌کند (27). واقعیت حاکم بر عملکرد برکه‌ها بیانگر این است که رفتار هیدرودینامیکی برکه‌ها شبیه جریان نهرگونه ایده آل بوده و نه رژیم اختلاط کامل بر آن حاکم است، بلکه نوع جریان پراکنده با آن تطابق دارد. از این رو برای تعیین ثابت مرگ باکتری‌ها از رابطه ونر-ویلیام استفاده می‌گردد (28).

$$N = N_0 \frac{e^{-\alpha x} e^{-\beta x^2}}{(1+\alpha)^2 e^{-\beta x} - (1-\alpha)^2 e^{-\beta x}} \quad \text{رابطه 1}$$

$$\alpha = \sqrt{1 + 4K_d \cdot L} \quad \text{رابطه 2}$$

همان‌طور که در روابط 1 و 2 نشان داده شده است، به منظور تعیین ضریب مرگ باکتری‌ها (K_d) به پارامتر d (عدد پراکنندگی) نیاز می‌باشد. روش آزمایشگاهی تعیین عدد پراکنندگی آزمایش تحلیل ردیاب است. اما از آن جاکه این آزمایش‌ها خسته کننده، زمان بر و پرهزینه می‌باشند (29، 30) محققین روابطی را بر اساس شکل هندسی و ویژگی‌های هیدرولیکی برکه‌ها به منظور تخمین عدد پراکنندگی پیشنهاد دادند. یکی از روابطی که به خوبی در تخمین عدد پراکنندگی مورد استفاده قرار گرفته روش اسپرلینگ است که در رابطه 3 ارائه می‌گردد (31).

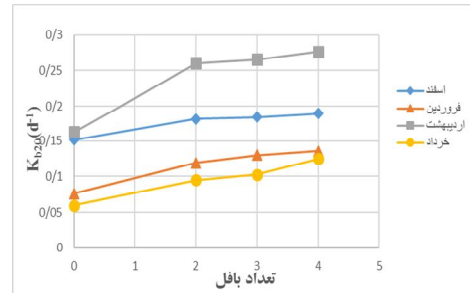
$$\alpha = \frac{1}{L} \quad \text{رابطه 3}$$

در حوض‌های بافلدار نسبت $\frac{L}{B}$ را می‌توان با رابطه زیر محاسبه نمود (5):

$$\frac{L}{B} = \frac{B}{L} (n + 1)^2 \quad \text{رابطه 4}$$

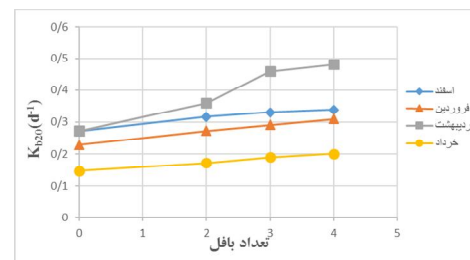
در رابطه 4 پارامترهای L ، B و n به ترتیب طول، عرض و تعداد بافل‌های هر برکه می‌باشند. با استفاده از

نمودار شماره 5 اثر تعداد بافل بر تغییرات ضریب مرگ باکتری‌ها را نشان می‌دهد.



نمودار شماره 5: ضریب مرگ باکتری‌های برکه های اول سیستم‌ها بر اساس تعداد بافل در ماه‌های نمونه‌برداری

مطابق این نمودار میانگین K_{b20} در طول چهار ماه برای سیستم شاهد، دو بافل، سه بافل و چهار بافل به ترتیب، 0/11، 0/16، 0/17 و 0/18 بر روز تعیین گردید. بنابراین اضافه کردن دو بافل و دو بسته مدیا اثر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش ضریب مرگ باکتری‌ها داشته و سیستم‌های سه و چهار بافل نسبت به سیستم دو بافل به طرز ملایمی این ضریب را افزایش دادند. نمودار شماره 6 تغییرات این ضریب برای برکه دوم هر سیستم در طول دوره نمونه برداری را نشان می‌دهد.



نمودار شماره 6: ضریب مرگ باکتری‌های برکه‌های دوم سیستم‌ها بر اساس تعداد بافل در ماه‌های نمونه‌برداری

به طوری که میانگین آن برای سیستم‌های شاهد، دو، سه و چهار بافل به ترتیب 0/23، 0/28، 0/32 و 0/33 بر روز به دست آمد. طبق این نتایج، افزایش این ثابت در سیستم دو و سه بافل قابل توجه بوده در حالی

که برای سیستم چهار بافل به صورت ملایمی نسبت به سیستم سه بافل اتفاق افتاده است. به علاوه از مقایسه نمودار شماره 5 و 6 مشخص می‌گردد، کاهش 20 سانتی متری عمق برکه دوم نسب به برکه اول سبب افزایش ضریب مرگ باکتری‌ها گردید که می‌توان این بهبود را به افزایش نفوذ نور خورشید مربوط دانست.

بحث

در این مطالعه بازده حذف کلی فرم‌ها در برکه‌های تثبیت اختیاری شاهد با نسبت طول به عرض 4 به 1 در زمان ماندهای 7/2 تا 12 روز در حدود 76 درصد تعیین گردید و با کاهش زمان ماند به 6 روز بازده حذف به 50 درصد کاهش یافت که این مقدار برای برکه‌های اختیاری پایین بوده و برای این فاضلاب نامناسب است. نتایج این تحقیق تا حدودی نتایج به دست آمده از مطالعه الساعد را تأیید می‌کند که با استفاده از برکه تثبیت با نسبت طول به عرض 3 به 1 بازده حذف کلی فرم‌ها را 69 درصد تعیین نمود (21). بهبود مشاهده شده در قیاس با این مطالعه می‌تواند ناشی از نسبت طول به عرض 4 به 1 باشد که باعث افزایش زمان ماند واقعی جریان می‌گردد. هم‌چنین عمق برکه دوم در مطالعه حاضر 80 سانتی‌متر بوده که نسبت به پایلوت راشد 20 سانتی متر کم‌تر است و باعث افزایش نفوذ نور خورشید و بهبود حذف کلی فرم‌ها شده است. به طور کلی افزایش تعداد بافل‌ها و سطح رشد چسبیده باعث بهبود بازده حذف پاتوژن‌ها گردید. به طوری که بازده حذف کلی فرم‌ها در سیستم‌های دو، سه و چهار بافل به ترتیب 11، 15 و 17 درصد بیش‌تر از سیستم شاهد به دست آمد. در تحقیق انجام شده توسط الساعد یز در اثر افزودن قلوه سنگ بازده حذف کلی فرم‌ها در حدود 8 درصد افزایش یافت که این نرخ با توجه به ابعاد پایلوت و نیز سطح ویژه کم تر قلوه سنگ نسبت به پوکه‌های معدنی، قابل توجه است (21). در کل در برکه‌های بافلدار با رشد

قابل توجه بود، اما سیستم چهار بافل نسبت به سیستم سه بافل بهبود اندکی در حذف کلی فرم ها از خود نشان داد. بنابراین در طراحی برکه‌های با ابعاد گسترده، با کارگذاری دو یا سه بافل می‌توان در نرخ بارگذاری هیدورلیکی بالاتری کار نمود و یا سبب ارتقاء برکه‌های موجود شد.

با توجه این که وتلند جزء فرآیندهای طبیعی و ارزان قیمت بوده و قابلیت بالایی در حذف انواع آلاینده ها از جمله BOD، COD، TSS، پاتوژن ها و فلزات سنگین از فاضلاب دارد (8، 33)، در راستای توسعه سیستمی مبتنی بر تصفیه طبیعی و با هزینه کم، در مطالعه آینده اثر اضافه نمودن وتلند بر برکه تثبیت بافلدار با رشد چسبیده در حذف پاتوژن‌ها و سایر آلاینده‌های فاضلاب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت آب و فاضلاب شهر اهواز به دلیل ارائه امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی و از حمایت‌های مادی و معنوی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران جهت انجام این پژوهش در قالب رساله دکتری سپاسگزاری می‌گردد.

چسبیده‌ت‌نشینی، فیلتراسیون، جذب، تشکیل دانه‌ها، موجودات مهاجم نسبت داده شده به محیط هوایی و سطح رشد چسبیده مهم‌ترین عوامل بهبود بازدهی حذف کلی فرم‌ها می‌باشند (24-26). نوآوری این تحقیق بررسی اثر توأم تعداد بافل‌ها و سطح رشد چسبیده در تعیین مقادیر بازده حذف کلی فرم‌ها و ضریب مرگ باکتری‌ها در این نوع برکه هاست. میانگین K_{b20} در برکه اول سیستم شاهد در طول دوره چهار ماهه 0/11 بر روز بوده و در سیستم‌های دو بافل، سه بافل، و چهار بافل به ترتیب 31/3، 34/5 و 37/2 درصد رشد داشته است. این در حالی است که میانگین این ثابت در برکه دوم سیستم شاهد در طول دوره چهار ماهه 0/23 بر روز بوده و برای سیستم‌های دو بافل، سه بافل، و چهار بافل به ترتیب 18/2، 28 و 30/5 درصد افزایش یافت. این نتایج با مقادیر به دست آمده در مطالعه Sperling که بر داده‌های 186 برکه تثبیت اختیاری و تکمیلی صورت گرفته هم خوانی دارد. در آن مطالعه مقادیر K_{b20} برای برکه‌های اختیاری اولیه بین 0/1 تا 1 بر روز و برای برکه‌های اختیاری ثانویه بین 0/1 تا 0/7 گزارش شده بود (32). در کل، اثر توأم کارگذاری بافل و محیط رشد چسبیده در بهبود بازدهی حذف کلی فرم‌ها در مورد سیستم‌های دو و سه بافل نسبت به سیستم شاهد

References

- Mara D, Pearson H. Waste Stabilization Ponds .Design Manual for Mediterranean Europe. Lagoon Technology International:1998.
- Mara D. Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Earthscan publishing. 2003.
- EPA(United State Environmental Protection Agency). Principles of Design and Operations of Wastewater Treatment Pond Systems for Plant Operators, Engineers, and Managers. USA: Cincinnati, Ohio, 2011.
- Fazelipour M, Takdastan A, Sekhvatjo M.2011, Survey on chlorine application in sequencing batch reactor waste sludge in order to sludge minimization. Asian Journal of Chemistry2011; 23(6): 2994-2998.
- Von Sperling M. Waste Stabilization Ponds.vol 2. london: IWA Publishing, 2007.

6. Middlebrooks E. Upgrading pond effluents: An overview, *Water. Sci Technol.* 1995; 31(12): 353-368.
7. Senzia MA, Mashauri DA, Mayo AW. Suitability of constructed wetlands and waste stabilisation ponds. *Physics and Chemistry of the Earth* . 2003;28(20-27) :1117-1124.
8. Emamjomeh M , Jamali H, Moradnia M, Mousavi S , Karimi Z. Sanitary Wastewater treatment using combined anaerobic and phytoremediation Systems. *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2015; 26(138): 140-150 (Persian).
9. Verbyla M, Mihelcic J. A review of virus removal in wastewater treatment pond systems. *Water Res.* 2015; 71:107-124.
10. Muttamara S , Puetpaiboon U. Roles of baffles in waste stabilization ponds. *Water Sci Technol* . 1997; 35(8): 275-284.
11. Yousefi Z, Zazouli M, Mohammadpour R A , Ghorbanian M. The Effect of Anaerobic Baffled Reactor Modified by Anaerobic Filter (ABR-AF) on Solid Waste Leachate Treatment. *J Mazandaran Univ Med Sci* . 2015; 21 (86): 27-36 (Persian).
12. Juanico M. Should waste stabilization ponds be designed for perfect-mixing or plug-flow? *Water Sci Technol.* 1991; 23(7-9): 1495-1502.
13. Zhao Q, Wang B. Evaluation on a pilot-scale attached growth pond system treating domestic wastewater. *Water Res.* 1996; 30(1): 242-245.
14. Pazoki M, Takdastan A, Jaafarzadeh A. Investigation of minimization of excess sludge production in sequencing batch reactor by heating some sludge. *Asian Journal of Chemistry* 2010; 22(3): 1751-1756.
15. Gullicks H, Hasibul H, Dipesh D, Moretti C , Hung Y. Biofilm fixed film systems; *Water.* 2011; 3, 843-868.
16. Polprasert C , Agarwalla B. Significance of biofilm activity in facultative pond design and performance. *Water Sci Technol.* 1995; 31(12): 119-128.
17. Nielson S, Middlebrooks, Porcella D. Effects of Baffles on the Performance of Anaerobic Waste Stabilization Ponds. *Water Research Laboratory College of Engineering Utah State University Logan, Utah 84322. Reports. Paper 172.* April 1973.
18. Pearson H, Mara D, Arridge H. The Influence Of Pond Geometry And Configuration On Facultative And Maturation Waste Stabilization Pond Performance and Efficiency. *Water Sci Tech.* 1995; 31 (12): 129-139.
19. Abbasa H, Nasr R , Seif H. Study of waste stabilization pond geometry for the waste water treatment efficiency. *Ecological Eng.* 2006; 28(1): 25-34.
20. Babu M. Effect of algal biofilm and operational conditions on nitrogen removal in wastewater stabilization ponds, [PHD thesis]: Delft University the Netherlands; 2011.
21. Al Saed R, Abu-Madi M, Zimmo O. Novel Design Concept for Facultative Ponds Using Rock Filters to Reclaim the Effluent. *J. Environ Eng.* 2011; 137(4):129-137.
22. Nejad, M.H., Takdastan, A, Jaafarzadeh, N, Mogadam, M.A., Mengelizadeh, N. Removal of orthophosphate from municipal wastewater using chemical precipitation process in ahvaz wastewater treatment plant, Iran. *Asian Journal of Chemistry* 2013; 25(3): 2565-2568.
23. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of water*

- and wastewater. 22th ed. Washington, DC: American Public Health Association(APHA); 2012.
24. Mara D , Johnson M. Aerated rock filters for enhanced ammonia and fecal coliform removal from facultative pond effluents. *J Environ Eng.* 2006; 132(4):574–577.
 25. Johnson M, Camargo Valero M , Mara D. Maturation ponds, rock filters and reedbeds in the UK: Statistical analysis of winter performance. *Water Sci Technol.* 2007; 55(11): 135–142.
 26. Ansa E, Awuah E, Andoh A, Banu R, Dorgbetor W, Lubberding H and Gijzen H. A Review of the mechanisms of fecal coliform removal from algal and duckweed waste stabilization pond systems. *Am J Environ Sci (AJEP)* . 2014; 11(1):28-34.
 27. Curtis T, Mara D, Silva S. The effect of sunlight on fecal coliforms in ponds: implications for research and design. *Wat Sci Tech.* 1992; 26 (7–8):1729–1738.
 28. Wehner JF, Wilhelm RH. Boundary conditions of flow reactor. *Chem Eng Sci.*1956; 6 (2): 89–93.
 29. Oragui JI , Cawley L, Arridge HM , Mara DD, Pearson HW, Silva SA. Pathogen removal kinetics in a tropical experimental waste stabilization pond in relation to organic loading, retention time and pond geometry. In: International Association on Water Quality. Third IAWQ International Specialist Conference and Workshop Waste Stabilisation Ponds Technology and Applications London, IAWQ, 1995. p.235-43, Tab.
 30. Agunwamba J C. Egbuniwe N and Ademiluyi J. O. Prediction of the dispersion number in waste stabilization ponds. *Water Res.* 1992; 26(1): 85-89.
 31. Sperling M. Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds. *Water Res.* 1999; 33 (6).1435–1448.
 32. Von Sperling M. Modelling of coliform removal in 186 facultative and Maturation ponds around the world. *Water Res.* 2005; 39(20). 5261–5273.
 33. Yousefi Z, Mashayekh Salehi A , Mohammadpour R A. Efficacy of Hybrid Constructed Wetland in Removing Lead and Cadmium from Wastewater. *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2013; 23(97): 258-269 (Persian).