Evaluation of Waste Stabiliztion Ponds Performance in Cold Climates

Arbabi, M., Zahedi, M.R., and Hashemi, H.

Abstract

Waste stabilization ponds are known as a cheap and cost - effective wastewater treatment system in many countries world wide. Their effluents are microbiologically safer than those of other treatment processes for agricultural and aquacultural reuse.

This study was carried out in WSP's area with cold climates (40 cm surface ice thickness of ponds in winter).

Analyzed parameters on the raw wastewater and the effluent of each pond included tests for fecal coliforms, helminth eggs (Engelberg index), and physico-chemical values such as temperature, pH, BOD, COD, DO, phosphorous, sulphide, iron, TS, TDS, SS, alkalinity, hardness and turbidity.

The study was undertaken over winter, spring and summer seasons of 1997-1998. The necessary investigations were also implemented on effluent quality for agricultural and aquacultural reuse and on the effect of temperature, retention time, pH and BOD variations. The results showed that despite some problems in design and operation of the WSP in Shahrekord, they are effecient in removal of helminth eggs and meet the WHO guideline value for restricted and unrestricted irrigation (< 1 per litre). However, the faecal coliform number was reduced to 10^4 per 100 ml which was more than WHO guideline value for unrestricted irrigation (< 1000 per 100 ml).

The physico - chemical quality of the effluents of the ponds to be used for crop irrigation is safe. The disposal of the effluents into receiving waters, however, should be monitord more carefully.

An increase in the retention time of a series of ponds causes a proportionate reduction in faecal coliforms and parasite eggs whereas variations in temperature, pH, BOD_5 and surface organic loading somehow affect the removal of coliforms and helminth eggs.

بررسی کارایی برکه‌های تثبیت فاضلاب در آب و هوای سرد

محسن اربابی * محمدرضا زاهدی ** حشمت‌ا... هاشمی ***

چکیده

برکه‌های تثبیت فاضلاب به عنوان یکی از روش‌های ارزان قیمت و اقتصادی تصفیه فاضلاب در اکثر کشورهای دنیا مشهور شده‌اند و پساب حاصل از آنها از نظر کیفیت میکروبیولوژیکی به منظور استفاده در آبیاری گیاهان زراعی، نسبت به سایر سیستم‌های تصفیه فاضلاب از کیفیت بهتری برخوردار است.

این تحقیق بر روی برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد در شرایط آب و هوایی سرد (۴۰سانتی‌متر ضخامت یخبندان سطح برکه‌ها در فصل زمستان) انجام گرفت. پارامترهای آنالیز شده بر روی فاضلاب خام و پساب خروجی از هر کدام از برکه‌ها شامل آزمایش‌های کلیفرم‌ها و تعداد تخم‌های انگل (شاخص انگلبرگ [1]) و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی از قبیل درجه حرارت، pH، BOD، COD، DO، فسفات، سولفات، آهن، TS، TDS، SS، قلیائیت، سختی و کدورت می‌باشد.

مطالعه در طول فصل‌های زمستان، بهار و تابستان انجام گرفت. بررسی‌های لازم در مورد کیفیت پساب خروجی به منظور استفاده در آبیاری و نیز تأثیر درجه حرارت، زمان ماند فاضلاب، تغییرات pH، تغییرات BOD و بار آلی سطحی در حذف کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل در این برکه‌ها انجام گرفت.

این مطالعه نشان داد که برکه‌های تثبیت شهرکرد علی‌رغم مشکلاتی که از نظر طراحی و بهره‌برداری دارند توانسته‌اند تعداد تخم‌های انگل را زیر سطح مقدار رهنمون توصیه شده WHO برای آبیاری محدود و یا نامحدود کشاورزی (۱ ≤ در هر لیتر) به راحتی حذف نمایند، ولی تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در پساب نهایی تا 10^4 در صدمیلی‌لیتر کاهش یافته که بیشتر از مقدار رهنمون برای آبیاری نامحدود (۱۰۰۰ ≤ درصد میلی‌لیتر) می‌باشد. در خصوص استفاده از پساب حاصل از برکه‌های فوق از نظر فاکتورهای فیزیکوشیمیایی برای آبیاری مشکلی وجود ندارد ولی اگر پساب فوق به آب‌های پذیرنده تخلیه شود بایستی استاندارد مملکتی پساب بیشتر مورد تأکید و رعایت قرار گیرد.

---

* - عضو هیأت علمی دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد و مجری طرح

** - معاونت بهداشتی و درمانی و رئیس مرکز بهداشت استان چهارمحال و بختیاری

*** - مدیر فنی و توسعه شرکت آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری

1- Engelberg Index

مقدمه

پژوهش‌های زیادی در خصوص تصفیه فاضلاب با استفاده از برکه‌های تثبیت در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه انجام شده و تجربیات بهره‌برداری در طول مدت ۵۰ سال نشان می‌دهد که یک سیستم برکه تثبیت با طراحی خوب فرایندی مطمئن، اقتصادی و آسان جهت تصفیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی به شمار می‌رود. مزایایی در خصوص سیستم‌های برکه تثبیت نسبت به سایر فرایندهای تصفیه فاضلاب شناخته شده است. یک مزیت بسیار مهم توانایی این برکه‌ها در حذف بالای عوامل بیماری‌زا است که سودمندی بسیاری در بهداشت عمومی دارد. پساب سیستم مزبور مطمئن‌تر از پسابی است که از طریق بسیاری از فرایندهای دیگر ایجاد می‌گردد و امکان استفاده مجدد آن را در کشاورزی و پرورش آبزیان نیز فراهم می‌آورد. به علاوه، فرایند برکه برای جمعیت‌های کم و زیاد مناسب است [۴].

در حقیقت، نقش برکه تثبیت در حل مشکلات دفع فاضلاب در کشور ایران نباید از سوی مدیران ملی، مقامات بهداشتی، مهندسان و اقتصاددان‌ها، دست‌کم گرفته شود. این نوع سیستم تصفیه فاضلاب با هزینه‌های ساختمانی و بهره‌برداری اندک، نه تنها قابل رقابت با سایر فرایندهای پیچیده تصفیه می‌باشد، بلکه در جایی که زمین ارزان قیمت در دسترس باشد سرمایه گذاری بسیار کمتری را نیز می‌طلبد (در اکثر مناطق ایران در اطراف شهرها زمین بایر وجود دارد). به علاوه فن‌آوری مورد نیاز آن، به خوبی با نیازهای اقتصاد در حال توسعه کشور ما متناسب می‌باشد و فشار محسوسی را بر منابع فنی و نیروهای انسانی تحمیل نمی‌کند.

این مطالعه سعی دارد اطلاعاتی در خصوص فرایند تصفیه فاضلاب به روش برکه‌های تثبیت را در آب و هوای سرد به کلیه افراد درگیر در رابطه با طراحی، ساخت و بهره‌برداری شامل مدیران شهری و ملی که انتخاب و سرمایه گذاری سیستم تصفیه فاضلاب مورد نیاز را بر عهده دارند، ارائه نماید.

مواد و روش‌ها

سازمان بهداشت جهانی (WHO) تواتر نمونه‌برداری و آنالیز فاضلاب در برکه‌های تثبیت و سایر تصفیه‌خانه‌های کوچک فاضلاب را به صورت زیر اعلام کرده است:

- هر شش ماه یکبار فاضلاب ورودی و خروجی و در صورت نیاز، فلزات سنگین و سایر مواد سمی کنترل شود.
- با تواتر هفتگی و یا ماهیانه در پساب خروجی، مجموع کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی اندازه گیری شود [۳].

برای نمونه‌برداری از برکه‌های تثبیت شهرکرد، نمونه‌ها به ترتیب از فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه و از خروجی هر کدام از برکه‌ها و به صورت دو هفته یکبار جمع‌آوری شدند.

شکل ۱ شمای سیستم تصفیه‌خانه بیولوژیکی شهرکرد و محل‌های برداشت نمونه را نشان می‌دهد.

نمونه‌ها در سه فصل زمستان، بهار و تابستان برداشت شدند. درجه حرارت نمونه‌ها در محل نمونه گیری و با استفاده از دماسنج جیوه‌ای اندازه گیری شده و بقیه پارامترها پس از حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه آنالیز شدند.

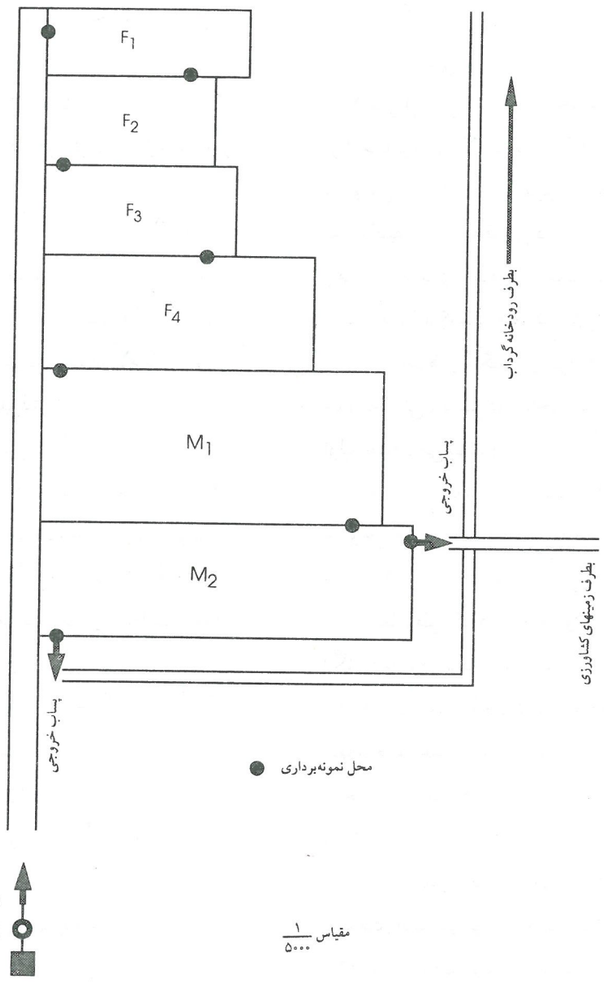
آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی بر اساس دستورالعمل روش‌های استاندارد[1] انجام گرفت. برای اندازه گیری کدورت از دستگاه DR/2000 استفاده شد.

شمارش و شناسایی کلیفرم‌های کل[2] و کلیفرم‌های مدفوعی[3] با استفاده از روش چند لوله‌ای[4] صورت گرفت [۶ و ۷]. ابتدا رقت‌های مورد نیاز از نمونه‌ها درست شده و سپس با استفاده از روش MPN[5] آزمایش‌ها انجام گرفت. گستره رقت در مورد فاضلاب خام و پساب‌های خروجی از برکه‌ها از 10^{-3} تا 10^{-8} بود.

برای شمارش تعداد کل کلیفرم‌ها، از محیط کشت لاکتوز برات ۰/۵٪ و با انکوباسیون ۳۷°C به مدت ۴۸ ساعت و برای شمارش کلیفرم‌های مدفوعی از محیط کشت‌های بریلیانت گرین، بایل براث و ترپتون واتر و با استفاده از انکوباتوروبن ماری ۴۴/۵°C به صورت دوتایی استفاده شد [۶ و ۷].

برای شمارش تعداد تخم‌های انگل (نماتود، سستودو ترماتود) در فاضلاب خام و نمونه‌های باکدورت بالا از روش

1- Standard Methods
2- Total Coliforms
3- Fecal Coliforms
4- Multiple Tube Method
5- Most Probable Number



شکل ۱- ترتیب قرارگرفتن برکه‌های تثبیت شهرکرد و محل‌های نمونه‌برداری

جدول ۱- عمق، مساحت، حجم و زمان ماند تئوریک در برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد

حوضچه	A	F_1	F_2	F_3	F_4	M_1	M_2	جمع
عمق (m)	۲/۲	۲	۱/۸	۱/۷	۱/۶۵	۱/۵	۱/۵	-
مساحت (ha)	۱/۸	۱/۰۷	۱/۳۲	۱/۴	۲/۵	۴/۲۵	۳/۴	۱۵/۷۴
حجم (m^3)	۳۶۱۱۵	۱۹۵۰۰	۲۲۴۲۳	۲۲۵۳۵	۳۹۵۴۸	۶۲۰۱۵	۴۹۰۸۷	۲۵۱۲۲۳
زمان‌ماند تئوریک (روز)	۴/۱۳	۲/۲۳	۲/۵۷	۲/۵۸	۴/۵۳	۷/۱	۵/۶۲	۲۸/۷۶

بلنجر[1] و برای نمونه‌های نسبتاً صاف و پساب نهایی از روش لیدز II[2] استفاده شد [۸]. در روش بلنجر از لام شمارش مک‌مستر[3] با حجم منطقه شمارش ۰/۱۵ میلی‌لیتر استفاده شد. این لام ساخت شرکت وبر[4] انگلستان است.

سپس تعداد تخم‌های انگل در هر لیتر نمونه از رابطه زیر محاسبه شد.

$$N = \frac{\gamma xA}{PV} \qquad (۱)$$

N: تعداد تخم‌های انگل در هر لیتر

x: میلی‌لیتر نمونه در لوله بعد از سانتریفوژ نهایی

A: تعداد تخم‌های انگل شمارش شده در لام‌ها

p: حجم لام مک مستر (میلی‌لیتر)

V: حجم نمونه فاضلاب به لیتر

در روش لیدز IIاز لام سجویک رافتر[5] با حجم نهایی یک میلی‌لیتر استفاده می‌شود. این لام ساخت شرکت گراتیکولس[6] انگلستان می‌باشد. تعداد تخم‌های انگل شمارش شده در هر لام در یک لیتر گزارش می‌شود و یا می‌توان برای محاسبه تعداد تخم‌ها از رابطه زیر استفاده کرد [۶]:

$$N = \frac{C \times 1000\,mm^3}{A \times D \times F} \qquad (۲)$$

N: تعداد تخم انگل در هر لیتر

C: تعداد تخم‌های شمارش شده

A: مساحت خانه‌های شمارش شده (mm^2)

D: عمق هر خانه (mm)

F: تعداد خانه‌های موجود در روی لام (۵۰×۲۰ عدد)

نتایج

برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد در مساحتی حدود ۱۶ هکتار با حجم کل ۲۵۱۲۲۳ مترمکعب و با زمان ماند حدود ۳۰ روز (تئوریک) حدود ۸۷۲۸ مترمکعب فاضلاب خانگی (فاضلاب حدود ۵۰۰۰۰ نفر) را مورد تصفیه قرار می‌دهد (جدول ۱).

بررسی حذف کلیفرم‌ها و تخم‌های انگل در برکه‌های تثبیت شهرکرد

- مقادیر میانگین هندسی کلیفرم‌های کل و مدفوعی به همراه متوسط درجه حرارت به ترتیب در جداول ۲ و ۳ آمده است. میانگین هندسی کلیفرم‌ها در فاضلاب خام بیش از 10^9 در ۱۰۰ میلی‌لیتر و در پساب خروجی بیش از 10^4 در ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد. در درجه حرارت بالا مثل تابستان که برکه‌ها باکیفیت بالاتری کار می‌کنند حداقل تعداد کلیفرم‌های مدفوعی به 10^2 در ۱۰۰ میلی‌لیتر هم رسیده است. میانگین تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در پساب خروجی بیش از مقدار رهنمون آن برای آبیاری نامحدود می‌باشد. درصد حذف کلیفرم‌ها در برکه‌های فوق ۵ لگاریتم واحد می‌باشد.

- تخم‌های انگل در برکه‌های تثبیت عمدتاً از طریق عمل ته‌نشینی و بیشتر در استخرهای بی‌هوازی و استخر اختیاری اولیه حذف می‌شوند [۴].

میانگین تعداد تخم‌های انگل در فاضلاب خام و در خروجی هرکدام از استخرها به همراه راندمان حذف آنها در جدول ۴ آورده شده است.

همان طور که در این جدول ملاحظه می‌شود تخم‌های انگل عمدتاً در برکه بی‌هوازی و اختیاری و بعد از زمان ماند حدود یک هفته حذف شده‌اند و در استخرهای بعدی تعداد آنها به صفر عدد در لیتر رسیده است. بنابراین راندمان حذف تخم‌های انگل در استخرهای سری شهرکرد ۱۰۰درصد می‌باشد.

برای حدود اطمینان بالاتر از ۹۵درصد در مورد حذف تخم‌های انگل می‌توان از رابطه پیشنهادی آریس و همکاران (۱۹۹۲) در یک سری از برکه‌های تثبیت استفاده کرد [۴].

$$R = 100[1 - 0/14\exp(-0/38 \times \theta)] \qquad (۳)$$

R: درصد کاهش تخم انگل

θ: زمان ماند فاضلاب در برکه بر حسب روز

با استفاده از رابطه بالا و با احتساب زمان ماند ۲۸/۸ روز برای برکه‌های تثبیت شهرکرد راندمان حذف تئوریک تخم‌های

1- Bailenger
2- Leeds II
3- Mcmaster
4- Weber Scientific International Ltd.
5- Sedgewick - Rafter
6- Graticules Ltd.

جدول ۲- میانگین هندسی تعداد کلیفرم‌های کل در ۱۰۰میلی‌لیتر نمونه فاضلاب خام و خروجی هرکدام از استخرها در برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد

فصل	زمستان ۱۳۷۶	بهار ۱۳۷۷	تابستان ۱۳۷۷	میانگین هندسی هشت ماهه
متوسط درجه حرارت نمونه	۴/۹	۱۸/۳۸	۲۲/۱	
متوسط درجه حرارت محیط	-۱/۲	۱۴/۹	۲۲/۹	
فاضلاب خام	7×10^8	$4/6\times10^9$	$1/4\times10^{10}$	$3/6\times10^9$
خروجی استخر A	$8/4\times10^7$	2×10^9	$6/8\times10^9$	1×10^9
خروجی استخر F_1	8×10^7	$7/6\times10^8$	$3/3\times10^9$	$5/9\times10^8$
خروجی استخر F_2	$2/6\times10^7$	$2/7\times10^8$	$1/5\times10^9$	$2/2\times10^8$
خروجی استخر F_3	$7/1\times10^6$	$1/1\times10^8$	$8/7\times10^8$	$8/8\times10^7$
خروجی استخر F_4	$1/8\times10^6$	3×10^6	$1/2\times10^7$	4×10^6
خروجی استخر M_1	$4/2\times10^5$	$5/9\times10^5$	6×10^4	$2/5\times10^5$
خروجی استخر M_2	$7/7\times10^4$	$2/4\times10^5$	$3/7\times10^4$	$8/8\times10^4$
راندمان حذف (٪)	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹۹	۹۹/۹۹۷
حداقل خروجی	$9/2\times10^3$	$4/3\times10^4$	$2/3\times10^4$	$9/2\times10^3$
حداکثر خروجی	$2/4\times10^6$	$9/3\times10^5$	$3/7\times10^4$	$2/4\times10^6$

جدول ۳- میانگین تعداد کلیفرم‌های مدفوعی در ۱۰۰میلی‌لیتر نمونه فاضلاب در طول دوره دی ماه ۱۳۷۶ تا مرداد ۱۳۷۷ در برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد

فصل	زمستان ۱۳۷۶	بهار ۱۳۷۷	تابستان ۱۳۷۷	میانگین هندسی هشت ماهه
متوسط درجه حرارت نمونه	۴/۹	۱۸/۳۸	۲۲/۱	
متوسط درجه حرارت محیط	-۱/۲	۱۴/۹	۲۲/۹	
فاضلاب خام	7×10^8	$4/2\times10^9$	$1/1\times10^{10}$	$3/2\times10^9$
خروجی استخر A	$8/4\times10^7$	$1/5\times10^9$	$5/6\times10^9$	$8/9\times10^8$
خروجی استخر F_1	2×10^7	$5/6\times10^8$	$3/2\times10^9$	$3/3\times10^8$
خروجی استخر F_2	$3/1\times10^6$	5×10^7	$1/5\times10^9$	$6/1\times10^7$
خروجی استخر F_3	1×10^6	$9/1\times10^6$	$8/1\times10^8$	$1/9\times10^7$
خروجی استخر F_4	$4/2\times10^5$	$1/3\times10^6$	$2/2\times10^6$	$1/1\times10^6$
خروجی استخر M_1	1×10^5	$8/5\times10^5$	3×10^4	$1/3\times10^5$
خروجی استخر M_2	$2/4\times10^4$	$2/1\times10^4$	$3/7\times10^3$	$1/2\times10^4$
راندمان حذف (٪)	۹۹/۹۹۶	۹۹/۹۹۹	۹۹/۹۹۹	۹۹/۹۹۹
حداقل خروجی	$6/1\times10^3$	$1/1\times10^3$	1×10^2	1×10^2
حداکثر خروجی	$2/4\times10^6$	$9/1\times10^4$	$2/7\times10^4$	$2/4\times10^6$

توجه: درجه حرارت برحسب درجه سانتی‌گراد

تعداد کلیفرمها برحسب تعداد در هر ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه

جدول ۴- میانگین حسابی فصلی و هشت ماهه تعداد تخم‌های انگل (نماتود، سستود، ترماتود) در یک لیتر فاضلاب خام و پساب خروجی هر کدام از استخرها در برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد

فصل / محل نمونه‌برداری	زمستان ۱۳۷۶			بهار ۱۳۷۷		
	نماتود	سستود	ترماتود	نماتود	سستود	ترماتود
فاضلاب خام	۶/۹۲	۰/۲۵	مشاهده نشد	۱۲/۴	مشاهده نشد	مشاهده نشد
خروجی استخر A	۰/۵	مشاهده نشد	"	۳/۹۲	"	"
خروجی استخر F_1	مشاهده نشد	"	"	۱/۶۲	"	"
خروجی استخر F_2	"	"	"	مشاهده‌نشد	"	"
خروجی استخر F_3	"	"	"	"	"	"
خروجی استخر F_4	"	"	"	"	"	"
خروجی استخر M_1	"	"	"	"	"	"
خروجی استخر M_2	"	"	"	"	"	"
راندمان حذف (٪)	۱۰۰			۱۰۰		
فصل / محل نمونه‌برداری	تابستان ۱۳۷۷			میانگین حسابی ۸ ماهه		
	نماتود	سستود	ترماتود	نماتود	سستود	ترماتود
فاضلاب خام	۴۳/۹۵	مشاهده نشد	۰/۳۴	۱۸/۴۶	۰/۰۸۴	۰/۰۸۳
خروجی از استخر A	۱۵/۵	۰/۳۴	مشاهده نشد	۵/۶۷	۰/۰۸۴	۰
خروجی از استخر ۱	۳/۵۶	مشاهده نشد	"	۱/۵۶	"	۰
خروجی از استخر ۲	۰/۵۲	"	"	۰/۱۳	"	۰
خروجی از استخر ۳	مشاهده نشد	"	"	۰	۰	۰
خروجی از استخر ۴	"	"	"	۰	۰	۰
خروجی از استخر ۱	"	"	"	۰	۰	۰
خروجی از استخر ۲	"	"	"	۰	۰	۰
راندمان حذف (٪)	۱۰۰			۱۰۰		

نماتودها شامل آسکاریس لامبریکوئیدس، آنتروبیوس ورمیکولاریس
سستودها شامل: هیمنولیپس ناناو فاسیولاهپاتیکا
ترماتودها مشاهده نشد
- تعداد تخم انگل‌ها در یک لیتر نمونه گزارش شده‌اند
- روش بلنجر برای فاضلاب خام و خروجی از حوضچه‌های A، F_1، F_2، F_3، F_4 و M_1
- روش لیدز II برای خروجی از حوضچه M_2

انگل برابر ۹۹/۹۹۹ درصد یا ۵ لگاریتم واحد می‌باشد.

میانگین تعداد تخم‌های انگل در فاضلاب خام ۱۹ عدد در لیتر و در پساب نهایی صفر می‌باشد.

بررسی پارامترهای طراحی و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی

معمولاً برای استخرهای بی‌هوازی به علت تأمین عمق کافی و ایجاد شرایط بی‌هوازی، بارآلی حجمی و برای برکه‌های اختیاری و تکمیلی به علت تأمین سطح کافی و استفاده از نور خورشید برای حذف عوامل پاتوژن و فعالیت جلبک‌ها، بار آلی سطحی را در نظر می‌گیرند [۴].

- حداکثر حذف BOD در برکه‌های تثبیت در استخرهای بی‌هوازی به علت عمق زیاد آن‌ها و از طریق عمل ته‌نشینی

جدول ۵- میانگین کلی pH، BOD_5 (mg/L) محلول، COD (mg/L)، بار آلی سطحی (λS و kg BOD_5/ha.day) و بار آلی حجمی (λV و kg BOD_5/m^3.day) به همراه راندمان حذف BOD_5 در یک سری از برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد در طول دورهٔ دی ماه ۱۳۷۶ تا مردادماه ۱۳۷۷

نمونه یا استخر	میانگین حسابی ۸ ماهه					راندمان حذف BOD_5 (٪)
	pH	BOD_5	COD	λS	λV	
فاضلاب خام	۶/۵	۲۳۹/۵۴	۲۵۰/۰۲	-	-	-
A	۶/۷	۱۵۴/۷۹	۲۲۱/۳۴	-	۵۷/۸۳	۳۵/۳۸
F_1	۶/۹	۱۴۳/۷۷	۲۰۱/۸۵	۱۲۷۴/۳۸	-	۷/۱۱
F_2	۶/۹	۱۲۰/۵۴	۱۶۹/۵۰	۹۵۰/۹۸	-	۱۶/۱۶
F_3	۷/۰۳	۱۱۲/۱۷	۱۵۷/۲۸	۷۵۱/۴۰	-	۶/۹۴
F_4	۷/۰۴	۱۰۲/۰۴	۱۴۰/۷	۳۹۱/۵۵	-	۹/۰۳
M_1	۷/۳۴	۸۹/۸۱	۱۲۴/۵۲	۲۰۹/۵۳	-	۱۱/۹۸
M_2	۷/۳۹	۵۹/۸۳	۸۵/۸۶	۲۳۰/۵۳	-	۳۴/۹۹
حداقل	۴/۵	۲۰	۳۰	۱۱۲/۹۴	۴۰/۲۸	۷۵/۰۲
حداکثر	۸/۵	۳۲۶	۵۰۳	۲۰۲۲/۷	۷۳/۴۶	

صورت می‌گیرد [۴]. BOD فاضلاب شامل ۷۰درصد مواد معلق و ۳۰درصد مواد محلول است [۵]. لذا مواد معلق در اثر عمل ته‌نشینی در برکه بی‌هوازی حذف می‌شوند.

جدول ۵ میانگین BOD_5 و راندمان حذف آن را در برکه‌های تثبیت شهرکرد نشان می‌دهد. میانگین BOD_5 فاضلاب خام و پساب نهایی به ترتیب ۲۴۰ و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر است. در آبیاری با استفاده از پساب، مقدار BOD_5 طبق استاندارد داخلی تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشکلی ندارد و طبق استاندارد محیط زیست ایران میزان BOD_5 پساب برای تخلیه به آب‌های جاری ۳۰میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

میزان BOD_5 محلول پساب نهایی در برکه‌های تثبیت شهرکرد در فصل تابستان کاهش چشمگیری داشته است. درصد حذف BOD_5 در یک‌سری از برکه‌های تثبیت شهرکرد ۷۵درصد و راندمان حذف در برکه بی‌هوازی ۳۵/۴ درصد می‌باشد. در صورتی که راندمان حذف BOD_5 برای برکه بی‌هوازی در $20^{\circ}C$، ۶۰ درصد و در $25^{\circ}C$، ۷۵درصد و در یک سری از برکه‌های تثبیت با طراحی خوب، بیش از ۹۰درصد گزارش شده است [۴].

میانگین مقادیر COD در برکه‌های شهرکرد در جدول ۵ آمده است. میانگین COD در پساب نهایی ۸۶میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. استاندارد محیط زیست ایران برای COD در پساب برای تخلیه به رودخانه ۶۰میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

میانگین مقدار pH در فاضلاب خام، ۶/۵ و در پساب نهایی برکه‌های تثبیت شهرکرد ۷/۳۹ می‌باشد (جدول ۵).

- نتایج حاصل از آنالیز پارامترهای فیزیکوشیمیایی در فاضلاب و پساب خروجی هرکدام از برکه‌ها در جدول ۶ آمده است. در این جدول مقادیر اکسیژن محلول، فسفات، آهن، سختی کل، قلیائیت کل، کدورت، کل جامدات، کل جامدات محلول و جامدات معلق نشان داده شده است. میانگین اکسیژن محلول بالای صفر در مورد فاضلاب خام به علت مخلوط شدن فاضلاب خام با رواناب‌های سطحی و نفوذ و ریزش به داخل شبکه، مخصوصاً در محل تصفیه‌خانه و در فصول بارندگی می‌باشد. البته اکسیژن محلول، بیشتر در برکه‌های اختیاری و تکمیلی دارای اهمیت است.

- میانگین میزان فسفات بر حسب فسفر در فاضلاب خام ۵ میلی‌گرم در لیتر و در پساب نهایی ۴/۶۸میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. میزان فسفات بر حسب فسفر در فاضلاب‌های شهری بین ۱۵-۴میلی‌گرم در لیتر است [۵].

جدول ۶- میانگین هشت ماهه تعدادی از پارامترهای شیمیایی مهم در فاضلاب خام و خروجی برکه‌های تثبیت فاضلاب شهرکرد در طول دوره دی ماه ۱۳۷۶ تا مردادماه ۱۳۷۷

آزمایش / نمونه یا استخر	اکسیژن محلول (mg/L O_2)	فسفات (mg/L) PO^{-3}_{4}	سولفات (mg/L) SO^{-2}_{4}	کدورت (FTU)	کل جامدات (mg/L)	آهن (mg/L) Fe^{+2}	سختی کل (mg/L) caco۳	قلیائیت کل (mg/L) caco۳	سختی کل (mg/L) caco۳	کل جامدات محلول (mg/L)	کل جامدات معلق (mg/L)
فاضلاب خام	۳/۷۳	۱۵/۲۳	۲۲۶/۴	۸۴/۳۴	۷۹۶/۰۸	۲/۵۱	۳۷۲/۰۰	۳۳۱/۳۴	۲۵۰	۵۰۷/۶۷	۲۸۸/۴۱
A	۰/۴۵	۱۵/۷۵	۲۱۰/۸	۱۱۱/۱۷	۸۰۱/۴۱	۲/۲۳	۳۶۱/۷۵	۳۲۳/۴۱	۳۰۹/۸	۴۵۷/۵۸	۳۴۴/۳۵
F_1	۰/۳۲	۱۶/۲۹	۲۰۲/۹	۹۹/۵	۷۸۰/۶۷	۱/۶۷	۳۵۰/۹۱	۳۱۱/۷۵	۴۰۰	۵۰۲/۳۳	۳۷۸/۳۴
F_2	۰/۷	۱۶/۰۴	۱۷۹/۵	۹۶/۱۶	۷۳۴/۸۳	۱/۴۱	۳۴۹/۷۵	۳۰۰/۲۵		۵۰۵/۱۶	۲۲۹/۶۷
F_3	۳/۹۸	۱۵/۷۷	۱۷۶/۲	۱۱۱/۰۸	۷۴۲/۶۷	۱/۰۳	۳۵۰/۲۵	۲۹۳/۰۰		۴۵۵/۰۸	۲۸۷/۷۵
F_4	۴/۱۳	۱۴/۸۲	۱۶۲/۷	۱۰۰/۷۵	۷۲۸/۵۸	۰/۸۵	۳۳۸/۵	۲۸۲		۴۳۵/۳۷	۲۹۳/۲
M_1	۵/۴۷	۱۳/۷۴	۱۵۴/۱	۸۳/۸۳	۶۲۲/۰۰	۰/۷۲	۳۲۶/۵۸	۲۷۹/۴۱		۳۸۹/۳۳	۲۳۲/۶۷
M_2	۶/۷۶	۱۴/۳۶	۱۶۶/۱	۶۴/۵	۶۵۶/۳	۰/۴۵	۳۰۹/۸	۲۵۱/۹		۳۹۷/۵	۲۵۸/۸
حداقل خروجی	۳/۶۷	۴/۵	۱۴	۳۱	۲۰۰	۰/۱۸	۲۵۰	۲۰۰		۱۳۵	۶۰
میانگین خروجی	۶/۷۶	۱۴/۳۶	۱۶۶/۱	۶۴/۵	۶۵۶/۳	۰/۴۵	۳۰۹/۸	۲۵۱/۹		۳۹۷/۵	۲۵۸/۸
حداکثر خروجی	۱۰	۲۸	۴۷۵	۱۰۰	۱۱۶۸	۱	۴۰۰	۳۷۰		۶۴۴	۵۲۴

راندمان حذف فسفر در برکه‌های شهرکرد حدود ۶/۴ درصد است. در صورتی که در برکه‌های با طراحی خوب، اگر میزان حذف BOD بیش از ۹۰درصد باشد میزان حذف فسفر ۴۵درصد است [۴].

- راندمان حذف سولفات در برکه‌های شهرکرد ۲۷درصد می‌باشد. میانگین آن در پساب نهایی ۱۶۶میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. میانگین آهن کل در فاضلاب خام ۲/۵۱ و در پساب نهایی حاصل از برکه‌های شهرکرد ۰/۴۵میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

از بین فلزات سنگین، آهن یکی از فراوانترین فلزات در پوسته زمین است و به مقدار ۵۰-۰/۵میلی‌گرم در لیتر در آب‌های شیرین یافت می‌شود. آهن یک عنصر ضروری در تغذیه انسان است و میزان آن در گستره ۵۰-۱۰ میلی‌گرم در لیتر در تغییر است [۹]. همچنین آهن برای رشد بیولوژیک لازم است و عدم حضور مقادیر کافی آن، رشد جلبک‌ها را محدود می‌کند [۵].

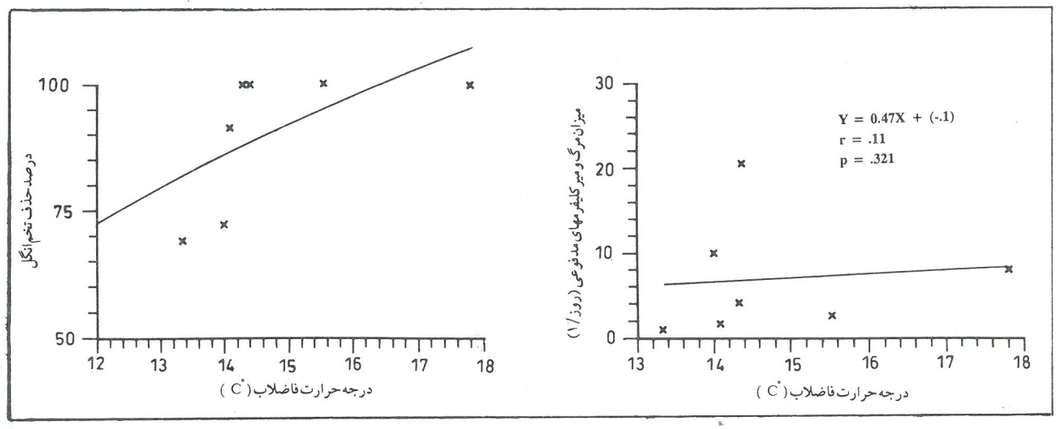
از طرفی چون فاضلاب ورودی به سیستم تصفیه‌خانه شهرکرد صرفاً یک فاضلاب خانگی است، بنابراین سایر فلزات سنگین به جز آهن مورد آنالیز قرار نگرفتند.

بررسی پارامترهای مؤثر در حذف کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل در برکه‌های تثبیت شهرکرد

- ارتباط زمان ماند تجمعی با حذف کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل:

کاهش لگاریتمی کلیفرم‌های مدفوعی با افزایش زمان ماند تجمعی دارای یک ارتباط منطقی است و با افزایش زمان ماند تجمعی در یک‌سری از برکه‌های تثبیت فوق میزان حذف کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل افزایش می‌یابد. زیاد شدن زمان ماند در برکه‌ها باعث افزایش اثرات نور خورشید در نابودی کلیفرم‌ها و همچنین کاهش منابع

نمودار ۱- ارتباط زمان ماند تجمعی با کاهش کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل در برکه‌های تثبیت شهرکرد



نمودار ۲- ارتباط درجه حرارت فاضلاب با کاهش کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل در برکه‌های تثبیت شهرکرد

غذایی و انرژی باکتری‌ها به ویژه کلیفرم‌های مدفوعی شده و سرعت ته‌نشینی تخم‌های انگل نماتود افزایش می‌یابد (نمودار ۱).

- ارتباط درجه حرارت با میزان حذف کلیفرم‌های مدفوعی:

نور خورشید به همراه افزایش غلظت DO از طریق عمل فتوا کسیداسیون و همچنین افزایش درجه حرارت استخر و افزایش pH در نهایت باعث مرگ و میر باکتری‌های مدفوعی می‌شود [۴].

تغییرات درجه حرارت محیط و یخبندان سطح برکه‌ها در فصل‌های سرد در برکه‌های تثبیت شهرکرد باعث نوسان حذف کلیفرم‌های مدفوعی شده و راندمان حذف آنها راکاهش می‌دهد (نمودار ۲).

- ارتباط pH با میزان نابودی کلیفرم‌های مدفوعی:

نمودار ۳ این ارتباط را نشان می‌دهد.

- ارتباط بین BOD_5 با میزان حذف کلیفرم‌های مدفوعی:

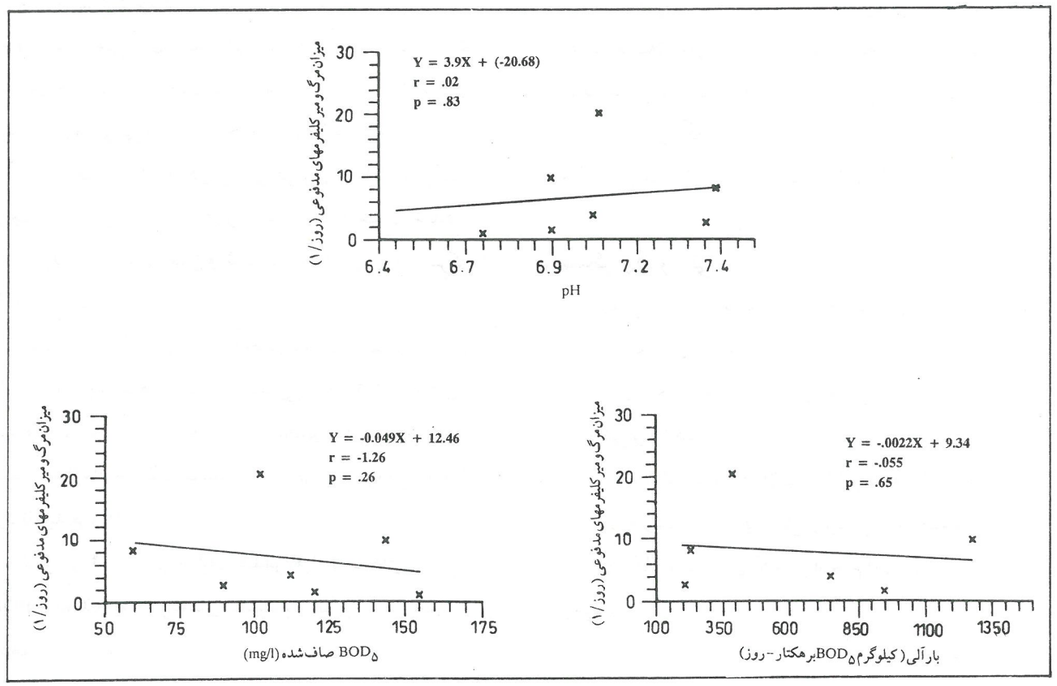
باکاهش BOD در استخرهای سری و در حقیقت تجزیه مواد آلی و ترکیبات کربن و نیتروژن، میزان مرگ و میر کلیفرم‌های مدفوعی افزایش می‌یابد زیرا باکتری‌ها برای فعالیت خود احتیاج به منابع کربن و نیتروژن دارند و با محدود شدن این منابع باکتری‌ها قادر به ادامه زندگی نخواهند بود و مخصوصاً باکتری‌های گروه کلیفرم در دسترسی به این منابع نمی‌توانند با باکتری‌های دیگر به رقابت بپردازند و خیلی زود از بین می‌روند [۱ و ۳].

نمودار ۳ ارتباط بین کاهش BOD_5 با میزان حذف (مرگ و میر) کلیفرم‌های مدفوعی را در برکه‌های شهرکرد نشان می‌دهد.

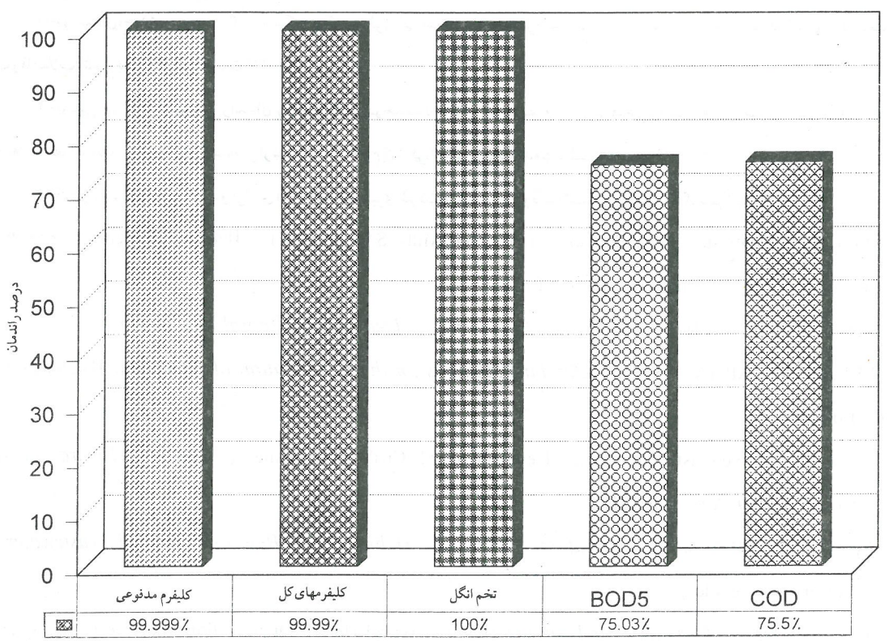
نتیجه گیری

پساب حاصل از برکه‌های تثبیت شهرکرد برای استفاده در آبیاری گیاهان زراعی از نظر تعداد تخم‌های انگل نماتود هیچ مشکلی ندارد زیرا تعداد تخم‌های انگل در پساب نهایی صفر بوده و این تعداد کمتر از رهنمون توصیه شده WHO (۱≥ عدد در لیتر) برای آبیاری با استفاده از پساب می‌باشد.

میانگین هندسی کلیفرم‌های مدفوعی در پساب نهایی 10^4 درصد میلی‌لیتر است و این مقدار بیشتر از مقدار رهنمون‌های توصیه شده برای آبیاری نامحدود (۱۰۰۰≥ عدد درصد میلی‌لیتر) می‌باشد. ولی راندمان حذف کلیفرم‌های مدفوعی در



نمودار ۳- ارتباط pH و BOD و بار آلی سطحی با کاهش کلیفرم‌های مدفوعی و تخم‌های انگل در برکه‌های تثبیت شهرکرد



نمودار ۴- راندمان حذف کلیفرم‌های مدفوعی، کلیفرم‌های کل، تخم انگل‌ها، BOD_5 و COD در برکه‌های تثبیت شهرکرد

برکه‌های شهرکرد ۵ لگاریتم واحد است و این مقدار قابل توجهی است. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش زمان ماند تجمعی در برکه‌های شهرکرد باعث افزایش مرگ و میر کلیفرم‌های مدفوعی و حذف تخم‌های انگل شده است.

میزان حذف BOD_5 در برکه بی‌هوازی به علت عمق کم آن چندان زیاد نیست. لذا برای رسیدن به یک میزان حذف ایده‌آل BOD_5، بایستی عمق و شیب دیواره‌های کناری برکه فوق اصلاح گردد.

استفاده از پساب نهایی برکه‌های تثبیت شهرکرد برای آبیاری از نظر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آنالیز شده مشکلی ندارد ولی برای تخلیه پساب به آب‌های پذیرنده بایستی استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران در مورد پساب را مورد تأکید قرار داد.

نمودار ۴ راندمان حذف کلیفرم‌ها، تخم‌های انگل، BOD_5 و COD را در برکه‌های تثبیت به طور اجمال نشان می‌دهد.

بنابراین توجه و برنامه‌ریزی بر روی این قبیل سیستم‌های تصفیه فاضلاب از طرف مدیران منطقه‌ای، محلی و مقامات بهداشتی به خاطر هزینه‌های پایین احداث، راه‌اندازی، بهره‌برداری و نگهداری آنها و همچنین راندمان بالای آنها در حذف عوامل پاتوژن بیش از پیش تأکید می‌گردد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از خدمات و همکاری سازمان‌ها و مراکز زیر صمیمانه قدردانی می‌شود:

- دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد - معاونت محترم آموزشی و پژوهشی
- شرکت آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری
- معاونت محترم بهداشتی و رئیس مرکز بهداشت استان
- وکلیه همکارانی که در انجام این طرح ما را یاری فرمودند.

منابع و مراجع

۱- موحدیان، ح. (ترجمه)، ۱۳۶۹، "عملکرد میکروبیولوژیکی استخرهای چندمرحله‌ای برای استفاده از پساب خروجی در کشاورزی"، مجله آب و فاضلاب، شماره‌های ۳ و ۴، صفحات ۴۷-۳۶.

۲- اربابی، م.، ۱۳۷۳، "بررسی راندمان برکه‌های تثبیت در حذف تخم انگل‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی و مقایسه آن با سایر سیستم‌های تصفیه فاضلاب شهر اصفهان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، دانشکده بهداشت.

۳- قنادی، م.، "برکه‌های تثبیت و مزایای آن"، هفته‌نامه خبری شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، شماره ۴۸، شهر آب.

4- Mara, D.D., Alabaster, G.P., Pearson, H. W., and Mills, S.W. (1992). " *Waste Stabilization Ponds* " Lagoon Technology International, Leeds, England.

5- Metcalf & Eddy (1991). " *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal and Reuse* ",

6- WEF, ANWA, APHA. (1992). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ". 18th. Edition.

7- University of Newcastle upontyne, Department of Civil Engineering. (1988). " *Environmental Engineering Laboratory Methods* ".

8- Ayres, R.M. (1989). " *Enumeration of Parasitic Helminths in Raw and Treated Wastewater* ". (A brief practical guide).

9- W.H.O. (1993). " *Guidlines for Drinking Water* ", World Health Organization, Volume (I), Geneva, Switzerland.