Effect of Rock Filters on The Efficiency of Waste Stabilization Ponds

Mesdaghinia, A. (Ph.D), Faculty of Public Health, Tehran Univ. of Med. Sci.
Ghaysary, A. (Ph.D. Student), Faculty of Public Health, Tehran, and W.W.C.E Co.
Kazemi, M.A., Water and Wastewater Consulting Engineers
Memarpour, B., Isfahan Water and Wastewater Co.
Kazemzadeh, N., Isfahan Water and Wastewater Co.

Abstract

Waste stabilization pond (WSP) has great reputation for its low capital investment, less energy consumption and operation costs, and therefore has found great application in municipal and industrial wastewater treatment. However, because of the main drawbacks of WSP such as longer hydraulic detention time, low microorganism density and large land area requirement for pond construction, its further utilization is limited. Moreover, there has been great need for organic pollutant removal.

This study was undertaken to investigate the feasibility of improving WSP performance and reduction of land area through the addition of attached growth media (AGM) or so called rock filter waste stabilization pond (RFWSP). The experiments were conducted using an anaerobic pond (A_2) followed by two facultative ponds (F_1) and (F_2) operated at conventional facultative form. The operation of these ponds was in series.

Better removal of organic pollutants had been obtainded in RFWSP than in the conventional WSP during the comparative studies in one year operation. The removal efficiencies of BOD_5, COD , SS , TSS, VSS and FC were 17±3, 20±4, 19±3, 18±2 and 50±4% respectively and it was concluded that land requirement is reduced too.

تأثیر بستر قلوه سنگی بر روی راندمان برکه‌های تثبیت فاضلاب

علیرضا مصداقی‌نیا* علی قیصری** محمدعلی کاظمی***

باقر معمارپور**** ناصر کاظم‌زاده*****

چکیده

در تصفیه فاضلاب به کمک روشهای مصنوعی و وسائل الکترومکانیک، علاوه بر مصرف انرژی زیاد، به علت مشکلات بهره‌برداری، در برخی موارد نمی‌توان فاضلاب را به طور مطلوب تصفیه کرد و نهایتاً علاوه بر هدر رفتن انرژی آلودگی محیط زیست هم تشدید می‌شود. این موضوع علاوه بر سرمایه اولیه بالا باعث هزینه بهره‌برداری زیاد نیز می‌شود. بنابراین به مرور زمان متوجه خواهیم شد در هر جایی که امکان‌پذیر باشد، مخصوصاً برای کشورهای در حال توسعه، احتمالاً بهترین گزینه برای تصفیه فاضلاب استفاده از روشهای طبیعی نظیر برکه‌های تثبیت، نیزارهای مصنوعی و غیره می‌باشد. برکه‌های تثبیت در بیشتر مناطقی که زمین ارزان و آب و هوای مناسب وجود دارد احتمالاً بهترین روش تصفیه فاضلاب و باکیفیت پساب مناسب می‌باشد.

نیاز به زمین زیاد در برکه‌های تثبیت در بسیاری از نقاط به عنوان بزرگترین و تنها عیب این فرایند مطرح می‌شود. نیاز به زمین زیاد، افزایش مخارج احداث تصفیه‌خانه‌های بزرگ، تبخیر و نفوذ باعث شده بعضی از طراحان و متخصصین نسبت به انتخاب برکه‌های تثبیت دچار تردید شوند. هدف این تحقیق استفاده از بستر قلوه سنگی در برکه‌های تثبیت اختیاری (RFWSP[1]) با ایجاد یک سیستم رشد چسبیده در برکه (AGWSP[2]) به منظور افزایش راندمان آنها و کاهش معایب عنوان شده می‌باشد. برای این منظور یک سری برکه آزمایشی شامل یک واحد بی‌هوازی (A_2) و دو واحد اختیاری که یکی مجهز به فیلتر قلوه‌سنگی بود (برکه F_1) و دیگری حالت متعارف داشت (برکه F_2)، احداث و به مدت یکسال با تغییر بار سطحی در سه مرحله پارامترهایی از قبیل BOD_5، COD، SS، DO، TSS، VSS، pH، کلیفرمها و فرم‌های مختلف ازت مورد آزمایش قرار گرفتند. برکه تثبیت F_1 نسبت به F_2 افزایش راندمان ۳±۱۷ درصد برای BOD_5، ۴±۲۰درصد برای COD، ۳±۱۹ درصد برای SS، ۲±۱۸ درصد برای VSS و ۴±۵۰ درصد برای کلیفرمها را نشان داد که به همین نسبت امکان کاهش زمین مورد نیاز نیز وجود دارد.

---

* استاد و رياست دانشکدهٔ بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران

** دانشجوی دکترای بهداشت محیط ، کارشناس ارشد مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

*** مدیر عامل و کارشناس ارشد مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب

**** کارشناس ارشد شرکت آب و فاضلاب اصفهان

***** کارشناس ارشد شرکت آب و فاضلاب اصفهان

1- Rock filter waste stabilization pond

2- Attached growth waste stabilization pond

مقدمه

در سالهای اخیر تحقیقات زیادی برای تصفیه فاضلاب به کمک فن‌آوری پیشرفته و همچنین استفاده از روشهای ساده و کم هزینه و با بهره‌برداری و نگهداری آسان در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه انجام شده است. برکه‌های تثبیت فاضلاب با طراحی خوب را می‌توان فرایندی مطمئن، کارامد، اقتصادی، امکان‌پذیر و آسان جهت تصفیه فاضلاب شهری در نظر گرفت [۵]. بی دلیل نیست که بیش از یک سوم تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در آمریکا از نوع برکه تثبیت می‌باشد و تا سال ۱۹۸۳ بیش از ۷۰۰۰ واحد برکه تثبیت در آمریکا احداث شده است (USEPA). در کشورهای فرانسه و آلمان به ترتیب بیش از ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰ برکه تثبیت و در چین بیش از ۱۰۰۰۰ برکهٔ تثبیت در مناطق شهری و روستایی در حال بهره‌برداری می‌باشد [۲ و ۶]. در حال حاضر اکثر کشورهای جهان حتی آن دسته از کشورهائی که زمستان طولانی دارند توجه خاصی به این سیستم تصفیه دارند. برخی از محققین مخصوصاً آسوالد [۳] عقیده بر این دارند که در قرن آینده با توجه به مسائل زیست‌محیطی، کاهش منابع انرژی و تأمین غذا، گزینه‌ای که بیشتر باید برای تصفیه فاضلاب مورد توجه قرار گیرد برکهٔ تثبیت می‌باشد [۳].

از آنجایی که برکه‌های تثبیت نیاز به زمین نسبتاً زیادی دارند (بزرگترین عیب آن) که علاوه بر افزایش هزینه خرید زمین و احداث، مقداری آب هم از طریق نفوذ و تبخیر از دست می‌رود و باعث محدودیت کاربرد آن می‌گردد، بنابراین هر طرح و تحقیقی که بتواند این عیب را کاهش دهد می‌تواند کاربرد این روش را افزایش دهد.

در این مطالعه با اضافه کردن یک بستر قلوه سنگی و ایجاد یک محیط رشد چسبیده[1] در برکه‌های تثبیت و تشکیل بیوفیلم روی قلوه سنگ، کاهش مواد آلی و سایر آلوده‌کننده‌ها افزایش یافته و در نتیجه زمین مورد نیاز هم کمتر خواهد شد. در گذشته اظهار نظرهای محدودی در مورد تأثیر رشد چسبیده در عملکرد برکه‌های تثبیت شده است. تشکیل بیوفیلم بر روی موانع موجود در برکه توسط کیلانی و اوکانرومبی و همچنین اظهار نظر تأثیر رشد چسبیده بر روی سطح مدیا توسط پل پراسرت [۴] و ژائو و وانگ [۶] در کاهش مواد آلوده‌کننده بررسی شده است. تأثیر رشد چسبیده در افزایش راندمان برکه‌های تثبیت قطعی است ولی این روش مدرن و مفید نیاز به تحقیقات بیشتری دارد تا بتوان دقیقاً در مورد میزان تأثیر آن اظهار نظر نمود.

روش کار

پایلوت تجربی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت در شکل (۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌شود برای تحقق اهداف طرح ابتدا یک انشعاب ۱۰۰میلی‌متری از کانال اصلی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه شمال اصفهان گرفته شد و فاضلاب خام به طور پیوسته وارد برکه بی‌هوازی (A_2) با عمق ۲/۲ متر شده و خروجی این واحد وارد دو برکه اختیاری (F_1 و F_2) با ابعاد ۱/۶×۱۲/۳×۲۶/۳ متر می‌شد. یکی از این دو برکه اختیاری شامل فیلترهای قلوه سنگی است و دیگری ساده و به عنوان شاهد عمل می‌کند. به منظور ایجاد یک سیستم رشد چسبیده در برکه (AGWSP)[2] از قلوه سنگ‌هایی با قطر متوسط ۱۵سانتی‌متر، با دانسیته $2/6 g/cm^3$[3]، درجه پوکی ۹۳درصد[3] و تخلخل ۴۸ درصد[4] استفاده شد. بستر قلوه سنگی حدود ۱۳مترمربع سطح و ۲۶مترمکعب حجم داشت که نسبت حجم فیلتر قلوه سنگی به حجم کل برکه تثبیت تقریباً برابر ۱۰ درصد بود.

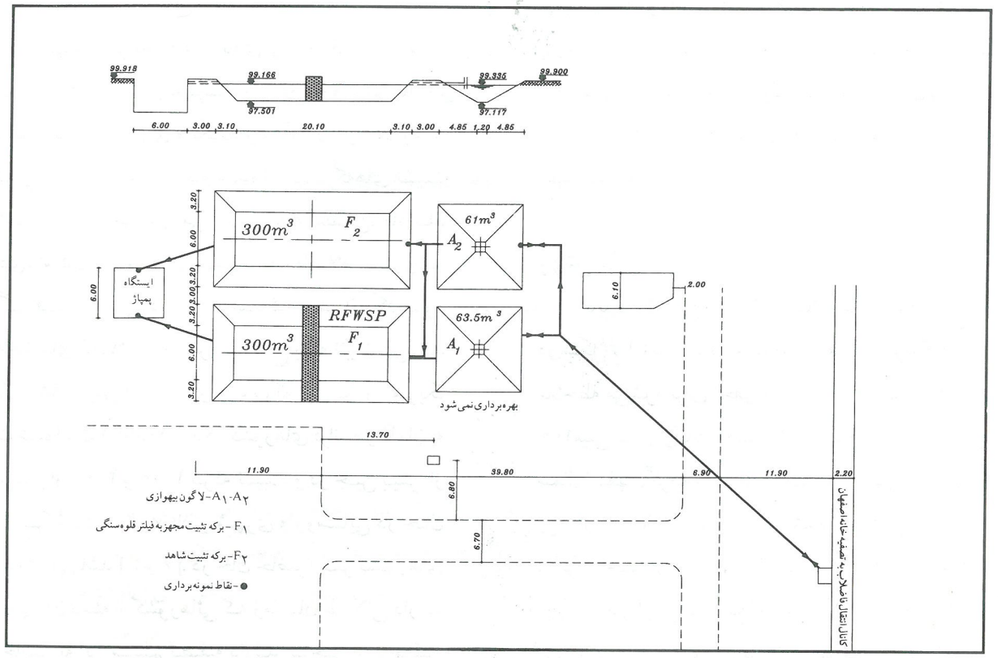
این سیستم از شهریورماه ۱۳۷۵ مورد بهره‌برداری قرار گرفت و حدود یک ماه به طول انجامید تا برکه‌ها فعال گشته و رنگ سبز در آنها غالب شد. بعد از آن در دو مرحله میزان فاضلاب ورودی به سیستم تغییر داده شد به نحوی که فاضلاب ورودی در هر دو مرحله مساوی ولی با مقادیر مختلف بودند ($QF_1 = QF_2$). در مرحله سوم تحقیق، فاضلاب ورودی به برکه نمونه F_1 به یک و نیم برابر افزایش پیدا کرد ($QF_1 = 1/5QF_2$) و در نتیجه بار سطحی فیلتر افزایش و زمان

1- Attached - growth media

2- Attached growth waste stabilization pond

3- Void ratio

4- Porosity



شکل ۱- شماتیک برکه‌های تثبیت پایلوت و شاهد

ماند در F_1 کاهش پیداکرد. در طی این مراحل از نقاط مشخص شده در شکل (۱) نمونه‌برداری و آزمایشهای BOD_5، COD، SS، DO، pH، کلیفرم کل و کدورت بر اساس کتاب روشهای استاندارد آزمایشهای آب و فاضلاب [۲] انجام گرفت. ضمناً در طی این مراحل اثر درجهٔ حرارت متوسط هوا در فصول مختلف بر عملکرد سیستم نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

مراحل مختلف تحقیق و تشکیل بیوفیلم

با تشکیل بیوفیلم بر روی قلوه سنگها و فعال شدن برکه‌ها که حدود دو ماه به طول انجامید، در مرحلهٔ اول فاضلابی که از برکه بیهوازی (A_2) خارج می‌شد به میزان ۰/۶ مترمکعب در ساعت وارد هرکدام از برکه‌های شاهد و قلوه سنگی می‌شد و این وضعیت حدود پنج ماه ادامه داشت. در چنین شرایطی که عمدتاً در فصل زمستان بود، زمان ماند در هر برکه اختیاری حدود ۲۱ روز و بار سطحی فیلتر قلوه سنگی ۱/۱ مترمکعب بر مترمربع در روز بود. به مرور با تشکیل بهتر بیوفیلم و افزایش ضخامت آن و سازگار شدن سیستم، بر راندمان برکه با بستر قلوه سنگی افزوده شد. در مشاهدات میکروسکوپی برخی از جلبک‌ها، پروتزوئرها و باکتریها بر روی قلوه سنگ‌ها مشاهده گردید. لایه بیوفیلم در فیلتر قلوه سنگی دارای قسمت هوازی و بیهوازی بود. همان طورکه می‌دانیم باکتریها نقش اساسی را در تجزیه مواد آلی در برکه‌های تثبیت متعارف با رشد معلق دارند. آنها همچنین در برکه تثبیت با رشد چسبیده نقش اساسی را در تجزیه مواد آلی دارند. جلبک‌های موجود بر روی قلوه سنگ‌ها و همچنین جلبک‌های معلق در برکه تثبیت با مصرف محصول نهایی متابولیسم باکتریها که CO_2 و NH_4-N می‌باشند، اکسیژن در محیط برکه تثبیت آزاد می‌کنند.

در مرحلهٔ دوم تحقیق میزان دبی به برکه F_1 و F_2 به دو برابر افزایش پیداکرد. در چنین شرایطی که در فصل بهار و تابستان بود زمان ماند در هر برکه اختیاری حدود ۱۰/۵ روز و بار سطحی فیلتر قلوه سنگی ۲/۲ مترمکعب بر مترمربع در روز شد. پس از

یک ماه و نیم که این شرایط در برکه‌ها حکمفرما بود دبی برکه F_1 به ۱/۸ مترمکعب در ساعت و بار سطحی به ۳/۳ مترمکعب بر مترمربع در روز افزایش یافت، در حالی که دبی برکه F_2 به همان میزان قبلی یعنی ۱/۲ مترمکعب در ساعت باقی ماند. در این گزارش فقط برخی از نتایج حاصل از مرحلهٔ اول و دوم تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

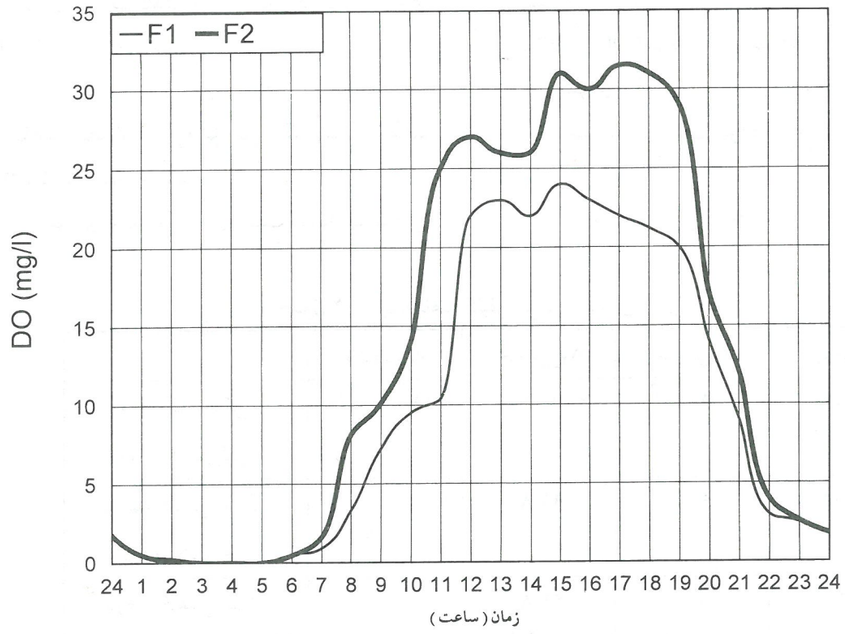
تغییرات pH و اکسیژن محلول

pH و اکسیژن محلول هر روز یک مرتبه بر روی پساب خروجی برکه‌های F_1 و F_2 اندازه گیری می‌شد. در تمام نمونه‌های اندازه گیری شده اکسیژن محلول خروجی از برکه F_1 کمتر از F_2 بود. علت آن فعالیت بیشتر باکتریها و افزایش راندمان در برکه F_1 می‌باشد که در نتیجه اکسیژن بیشتری مصرف می‌شود.

در تاریخ‌های ۱۳۷۶/۳/۲۸ و ۱۳۷۶/۵/۱۴ به مدت ۲۴ ساعت نمونه‌برداری ساعتی از پساب خروجی برکه‌های F_1 و F_2 انجام گرفت و تغییرات pH و اکسیژن محلول در مدت فوق‌الذکر مشخص گردید. حداکثر و حداقل pH و اکسیژن محلول در برکه‌های F_1 و F_2 در جدول (۱) و شکل (۲) آمده است.

جدول ۱- حداقل و حداکثر pH و اکسیژن محلول در برکه‌های F_1 و F_2 در نمونه‌برداری ۲۴ ساعته

فاکتور / برکه	pH		DO (mg/l)	
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
F_1	۷/۷	۹/۴	۰	۲۳
F_2	۸/۱	۹/۸	۰	۳۱



شکل ۲- تغییرات اکسیژن محلول ساعتی در خروجی برکه‌های F_1 و F_2

همان‌گونه که مشاهده می‌شود حداکثر اکسیژن محلول در برکه F_2 به حدود ۳۰ میلی‌گرم در لیتر که بیش از سه برابر حالت فوق اشباع است می‌رسد. حداکثر اکسیژن محلول زمانی اتفاق می‌افتد که شدت نور زیاد بوده و فعالیت جلبک‌ها افزایش پیدا می‌کند که در چنین شرایطی pH هم ماکزیمم است. شدت تولید اکسیژن در چنین شرایطی به حدی است که حباب‌های گاز اکسیژن سطح فاضلاب در برکه را شیری رنگ می‌کنند و کاملاً خروج آنها را می‌توان از سطح پساب با چشم ملاحظه نمود. در چنین شرایطی که رنگ پساب برکه‌ها شیری رنگ بود، ملاحظه شد که با بهم زدن مکانیکی سطح فاضلاب در برکه رنگ سبز ظاهر می‌شود که این به لحاظ خروج گاز اکسیژن از سطح برکه‌ها بود. البته واضح است که چنین شرایطی را با هیچ هواده مکانیکی نمی‌توان به دست آورد.

در چندین نوبت از نقاط مختلف برکه‌های F_1 و F_2 و از اعماق مختلف جهت اندازه گیری اکسیژن محلول نمونه‌برداری شد که به طور کلی در هر دو برکه از سمت ورودی به خروجی اکسیژن محلول افزایش می‌یابد و این به دلیل کاهش تدریجی مواد آلی و افزایش فعالیت جلبک‌ها می‌باشد. با افزایش ارتفاع، اکسیژن محلول به شدت کاهش پیدا می‌کند و در کف برکه‌های F_1 و F_2 به مقدار صفر می‌رسد.

مقایسه کاهش تعداد کلیفرم کل در برکه تثبیت شاهد و برکه تثبیت با رشد چسبیده

یکی از مزایای عمده برکه‌های تثبیت فاضلاب کاهش شدید میکروارگانیسم در پساب آنها می‌باشد. به همین دلیل است که معمولاً چنین پسابهایی نیاز به کلرزنی ندارد. مکانیسم‌های اصلی حذف باکتریها در برکه‌های تثبیت عبارتنداز: الف) حرارت و زمان، ب) pH بالا (بیشتر از ۹) و ج) شدت نور زیاد [۲ و ۶].

برای تعیین نقش برکه تثبیت با رشد چسبیده در افزایش راندمان حذف کلیفرم‌ها در چندین نوبت از فاضلاب خام، خروجی‌های A_2، F_1 و F_2 اقدام به نمونه‌برداری شد که متوسط آنها در جدول (۲) نشان داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود اضافه نمودن یک سیستم رشد چسبیده به برکه تثبیت متعارف، علاوه بر این که در افزایش راندمان حذف مواد آلی مؤثر است، آلودگی‌های میکروبی را نیز به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد (حدود ۵۰ درصد افزایش راندمان)، به نحوی که استفاده از پساب را برای بسیاری از مقاصد کشاورزی میسر می‌سازد.

کاهش BOD_5 و COD

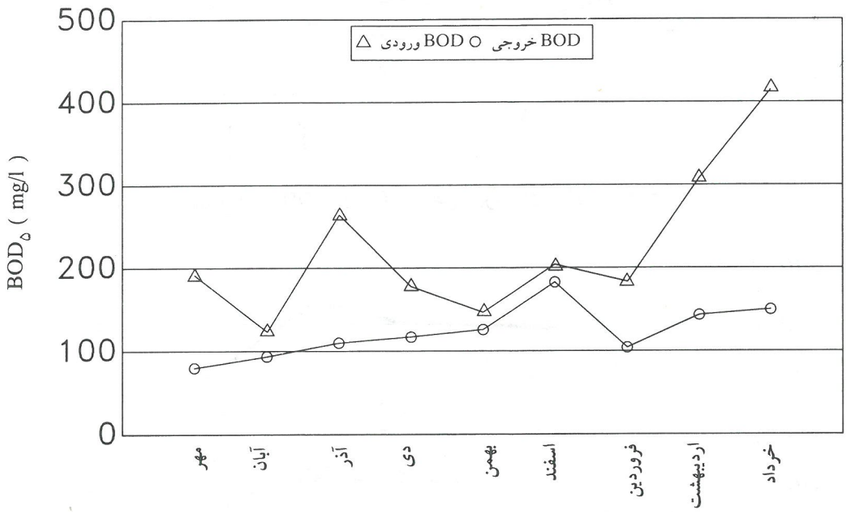
منظور اصلی از ایجاد یک محیط رشد چسبیده در برکه تثبیت افزایش راندمان آن در حذف آلوده کننده‌های مهم نظیر BOD_5 و COD می‌باشد. خوشبختانه با اطلاعات تجربی و نتایج آزمایشهای به دست آمده مشخص شد که کارایی برکه تثبیت با رشد چسبیده در حذف آلوده کننده‌های فوق‌الذکر رضایت بخش می‌باشد.

متوسط کاهش BOD_5 و COD برای مراحل اول و دوم

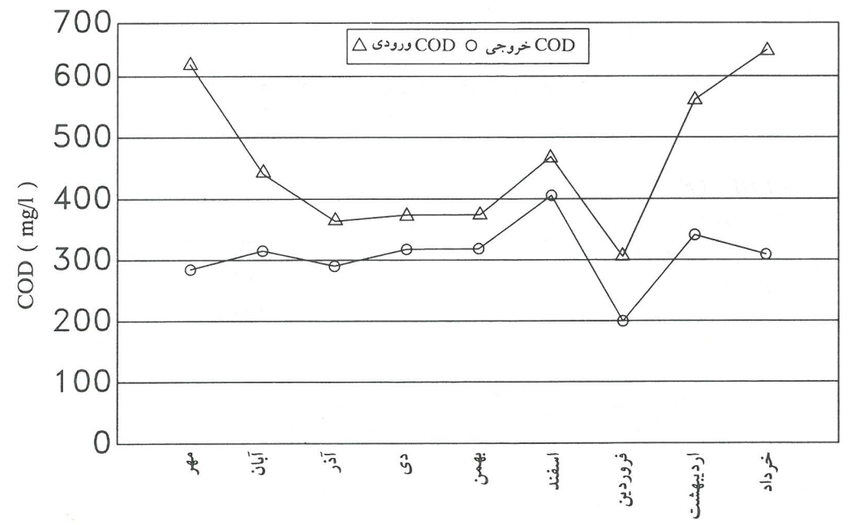
جدول ۲- مقایسه کاهش کلیفرم کل در برکه‌های F_1 و F_2

	فاضلاب خام	خروجی A_2	خروجی F_1	خروجی F_2
مقدار کلیفرم کل در ۱۰۰ میلی‌لیتر	$۱۹/۸\times۱۰^{۶}$	$۳۷/۷\times۱۰^{۳}$	$۱۰/۹\times۱۰^{۳}$	$۳۱/۳\times۱۰^{۳}$
درصد کاهش نسبت به فاضلاب خام		۹۹/۸	۹۹/۹۵	۹۹/۸۴
درصد کاهش نسبت به واحد قبلی		۹۹/۸	۷۱	۱۷

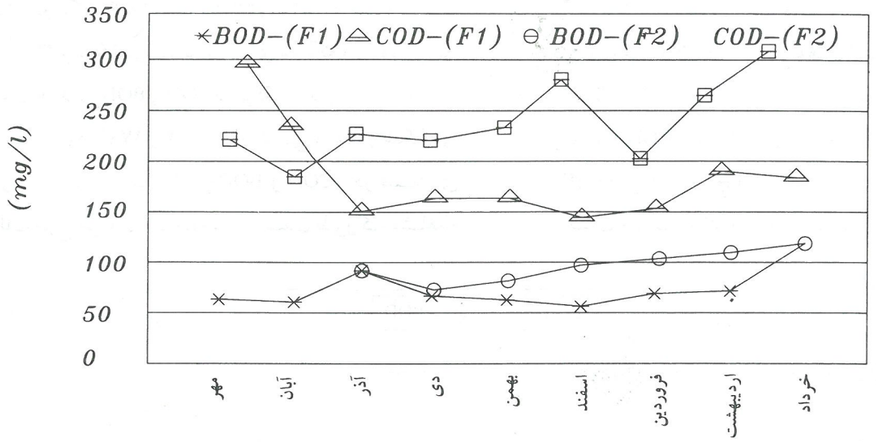
تحقیق، در برکهٔ F_1 به ترتیب ۴۴/۱۵ و ۳۸/۳۵درصد و در برکهٔ F_2 برابر ۳۲ و ۱۶/۵ درصد اندازه گیری شده که متوسط افزایش راندمان حذف BOD_5 و COD در برکهٔ F_1 نسبت به برکهٔ F_2 به ترتیب حدود ۳±۱۷ و ۴±۲۰درصد می‌باشد. در شکلهای شماره (۳) تا (۷) تغییرات BOD_5 و COD را در قسمتهای مختلف طرح می‌توان ملاحظه نمود. همان طور که مشاهده می‌شود با اضافه کردن یک سیستم رشد چسبیده هوازی و بیهوازی می‌توان راندمان برکه‌های تثبیت را به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش داد. لازم به ذکر است که اعداد و ارقام BOD_5 و COD اعلان شده مربوط به پساب فیلتر نشده برکه‌های F_1 و F_2 می‌باشد. نتایج تجربی نشان می‌دهد که پساب فیلتر شده (حذف جلبک) راندمانی به مراتب بیشتر از مقادیر بالا دارد.



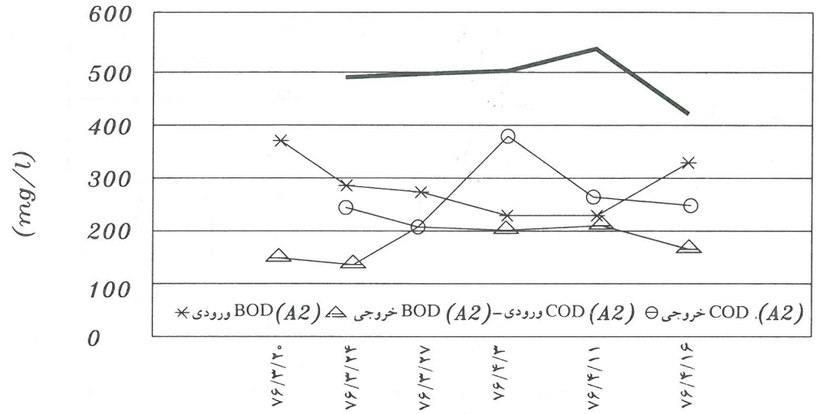
شکل ۳- BOD_5 ورودی و خروجی از برکهٔ A_2 (مرحله اول)



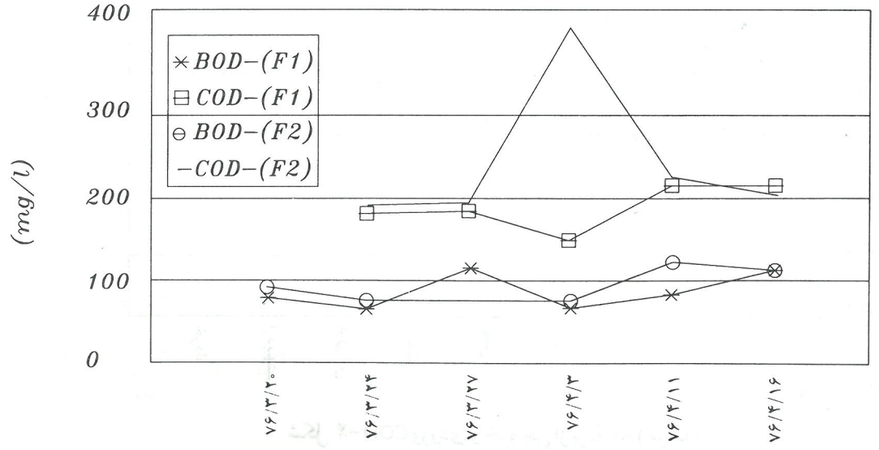
شکل ۴- COD ورودی و خروجی از برکهٔ A_2 (مرحله اول)



شکل ۵- BOD_5 و COD خروجی از برکه‌های F_1 و F_2 (مرحله اول)



شکل ۶- BOD_5 و COD ورودی و خروجی از برکهٔ A_2 (مرحله دوم)



شکل ۷- BOD_5 و COD خروجی از برکه‌های F_1 و F_2 (مرحلهٔ دوم)

در شرایط آب و هوایی و همچنین بارآلی و هیدرولیکی مناسب (حداکثر ۱/۵ مترمکعب بر مترمربع در روز)، راندمان حذف BOD_5 و COD در این طرح تحقیقاتی به ۴۵درصد افزایش یافت.

استفاده از برکهٔ بی‌هوازی در چنین سیستم‌هایی ضروری می‌باشد. زیرا در صورتی که مواد معلق و قابل ته‌نشین به قسمت فیلتر قلوه سنگی وارد گردند، امکان مسدود شدن آنها وجود دارد. به علاوه رسوبات موجود در کف برکه با تجزیه شدن و تولید مواد آلی جدید در سیستم هوازی و بیهوازی برکهٔ اختیاری ایجاد اختلال می‌کنند.

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت برکه‌های تثبیت فاضلاب در مناطقی که شرایط مناسب وجود دارد، لازم است عیب عمده این فرایند تصفیه (که نیاز به زمین زیاد می‌باشد) برطرف گردد. بدین منظور و با توجه به تأثیری که سیستم‌های رشد چسبیده به صورت هوازی و بیهوازی در تصفیه فاضلاب دارند، استفاده از بستر قلوه سنگی در برکه‌های تثبیت (AGWSP) مورد آزمایش و تحقیق قرار گرفت. نتایج آزمایشها نشان می‌دهد که افزایش راندمان در حذف آلوده کننده‌ها در چنین شرایطی مطلوب می‌باشد و می‌توان انتظار داشت پساب مناسبتری حاصل گردد. بنابراین امکان کاهش زمان ماند و زمین مورد نیاز برای احداث تصفیه‌خانه به روش برکه تثبیت وجود دارد.

از آنجایی که این موضوع یک بحث جدید در مورد برکه‌های تثبیت می‌باشد و تا حدود زیادی پارامترهای طراحی و کارایی سیستم مشخص شده، ولی توصیه می‌شود محققین و علاقمندان به منظور کسب تجربیات بیشتر و تکمیل اطلاعات مورد نیاز برای طراحی این سیستم تصفیه فاضلاب تحقیقات بیشتری به عمل آورند.

منابع و مراجع

1- APHA, WPCF and AWWA, (1992). " *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* ", 18th ed., American Public Health Association, Washington, DC.

2- Mara, D.D., Mills, S. W., Pearson, H.W., and Alabaster, G.P. (1992). " *Waste Stablization Ponds: A Viable Alternative for Small Community Treatment Systems* ", J. IWEM, 6 (1): 72-78.

3- Oswald, W.J. (1993). " *Pond in the Twenty - First Century* ", Proc. 2th IAWQ Int. Spec.Conf., pp. 1-8.

4- Polprasert, C. and Agarwalla, B.K. (1993). " *Significance of Biofilm Activity in Facultative Pond Design and Performance* ", Proc. 2th IAWQ Int. Spec. Conf., pp. 142-151.

5- WHO, (1987). " *Waste Stabilization Pond* ", Emro Technical Publication No.10.

6- Zhao, Q. and Wang, B, (1995). " *Evaluation on a Pilot - Scale Attached - Growth Pond System Treating Domestic Wastewater* ", Wat. Res., 30 (1): 242 - 245.