بررسی اثر فرآیند انعقاد شیمیایی و افزایش آهک بر ارتقای کیفیت پساب خروجی از برکه-های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان

محمدباقر میرانزاده [*۱]، غلامرضا مصطفایی [۲]

خلاصه

سابقه و هدف: در منطقه کاشان به دلیل کمبود منابع آب، یکی از گزینه‌های مطرح استفاده دوباره از فاضلاب تصفیه شده برای مصارف کشاورزی و فضای سبز است. برکه‌های تثبیت فاضلاب یکی از روش‌های ساده و ارزان‌قیمت تصفیه فاضلاب به خصوص در مناطق کویری است. یکی از معایب آنها بالا بودن غلظت مواد معلق به دلیل رشد شدید جلبک‌ها در پساب خروجی است که می‌تواند برای استفاده دوباره در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای مشکل‌آفرین باشد، به همین دلیل بایستی غلظت آنها را کاهش داد.

مواد و روش‌ها: این تحقیق به منظور بررسی اثر مواد منعقدکننده مختلف و آهک بر بهبود کیفیت پساب خروجی از برکه‌های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان در تابستان ۱۳۸۵ انجام گرفت. اثر سه نوع ماده منعقدکننده شامل آلوم، سولفات فریک وکلرور فریک به همراه آهک در دوزهای متفاوت بر عواملی همچون کدورت و مواد معلق از طریق آزمایش جار مورد بررسی و آنالیز قرار گرفت.

نتایج: نتایج تحقیق نشان داد که بهترین ماده برای این منظور سولفات فریک در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر است، به طوری که سبب می‌شود غلظت مواد معلق از ۲۱۵ به ۱۱/۸ میلی‌گرم در لیتر و میزان کدورت از ۱۸۹ NTU (Nephelometric Turbidity Unit) به ۱۴/۹ NTU کاهش یابد. بالاترین درصد حذف به دست آمده مربوط به سولفات فریک در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر بود که میزان آن ۹۴/۵ درصد برای مواد معلق و ۹۲/۱ درصد برای کدورت بود.

نتیجه‌گیری: با استفاده از فرآیند انعقاد شیمیایی می‌توان کیفیت پساب خروجی از برکه‌های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان را به پایین‌تر از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (یعنی مواد معلق کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کدورت کمتر از ۵۰ NTU و PH در محدوده‌ی ۸/۵-۶) رسانید.

واژگان کلیدی: استفاده مجدد، برکه تثبیت، کنترل کیفی، مصارف فضای سبز، فاضلاب، آهک

۱- دانشیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان

۲- استادیار گروه بهداشت محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی کاشان

* نویسنده مسوول: محمدباقر میران زاده

آدرس: کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب راوندی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

پست الکترونیک: miranmn@yahoo.com

تلفن: ۰۹۱۳ ۱۶۱ ۲۸۵۲

دورنویس: ۰۳۶۱ ۵۵۵۰۱۰۱

تاریخ دریافت: ۸۶/۵/۳۱

تاریخ پذیرش نهایی: ۸۷/۴/۳۱

مقدمه

کاشان یکی از شهرهای مرکزی ایران با آب و هوای گرم و خشک و کویری است. در این منطقه آبهای سطحی از جمله رودخانه‌های پرآب وجود ندارد. به همین دلیل برای مصارف مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی تکیه عمده بر روی برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی است. کمبود آب در منطقه، سبب شده که مسوولین به فکر تامین آب از منابع دیگر باشند که یکی از گزینه-ها انتقال آب از راه دور است که در این رابطه پروژه انتقال آب سرشاخه‌های کوهرنگ به کاشان در دست اجرا بوده و مرحله اول آن به بهره‌برداری رسیده است. علاوه بر این، یکی دیگر از گزینه‌ها برای تامین آب مصارف کشاورزی، بازیافت آب از طریق تصفیه‌ی فاضلاب‌های صنعتی و شهری است. به همین منظور دانشگاه علوم پزشکی به دلایل زیست‌محیطی و بهداشتی و همچنین به منظور تامین آب برای مصارف فضای سبز پیرامون خود تصمیم به اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب نموده که در حال حاضر در مدار بهره‌برداری است. متوسط دبی فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه روزانه در

حدود ۱۰۰ متر مکعب است. فرآیند تصفیه از نوع لجن فعال با هوادهی گسترده است. در زمان احداث تصفیه‌خانه استفاده از سیستم کلرزنی برای گندزدایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه پیش-بینی شده بود ولی از آنجا که گندزدایی با کلر دارای معایب مخصوص به خود است و هزینه بهره‌برداری از آن بالا است، از این رو برای گندزدایی پساب به جای استفاده از سیستم کلرزنی با توجه به وجود فضای کافی دو برکه تکمیلی با زمان مانده حدود ۱۰ روز به صورت سری احداث شده که توسط یک دیواره‌ی شنی از همدیگر جداسازی شده‌اند. از این برکه‌ها در حال حاضر بهره-برداری می‌شود و نتایج آزمایشات نشان داده که کیفیت پساب خروجی از نظر کیفیت میکروبی و تخم انگل در حد مجاز برای مصارف کشاورزی و فضای سبز است. در وضعیت کنونی چندین هکتار فضای سبز و درخت‌کاری از جمله درختان پسته و زیتون در زمین‌های متعلق به دانشگاه انجام شده که برای آبیاری آنها استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای در نظر گرفته شده است. در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای وجود مواد معلق در پساب می‌تواند در طولانی‌مدت مشکلاتی را از جمله گرفتگی نازل‌ها و لوله‌ها ایجاد نماید [۵-۱]. در پساب خروجی از برکه‌های تثبیت با توجه به رشد جلبک‌ها به واسطه نور خورشید غلظت مواد معلق بالا می‌باشد که این مساله به عنوان یکی از معایب برکه‌های تثبیت به ویژه برای آبیاری قطره‌ای مطرح است. غلظت مواد معلق در پساب برکه‌ها به ویژه در ماه‌های گرم سال به دلیل تابش شدید نور خورشید رشد جلبک‌ها بالا خواهد بود به طوری که حتی به بالای ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیز می‌رسد. به همین دلیل در صورت استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای غلظت مواد معلق و کدورت در پساب خروجی از برکه‌ها را بایستی به حد مجاز کاهش داد [۴-۱ و ۸-۶]. برای کاهش غلظت مواد معلق پساب برکه‌ها می‌توان هم از روش‌های فیزیکی مثل صافی شنی و میکروصافی‌ها[1] و هم از طریق شیمیایی مثل استفاده از مواد منعقدکننده و یا آهک استفاده نمود. از نظر فنی روش‌های فیزیکی ساده‌تر و ارزان‌تر بوده ولی کارایی آنها از روش‌های شیمیایی به مراتب کمتر است؛ به ویژه در زدایش جلبک‌های ریز آن‌چنان موثر نمی‌باشد. همچنین از نظر بهره‌برداری، استفاده از روش‌های فیزیکی به دلیل مسدودشدن صافی‌ها در اثر تجمع جلبک‌ها و مواد معلق به طور مرتب نیاز به شستشو و تمیز نمودن دارند و حتی در حالت پیشرفته ممکن است نیاز به شستشوی معکوس نیز داشته باشند که بهره‌برداری از آنها را با مشکل مواجه می‌سازد. در مقابل، روش‌های شیمیایی اگر چه پرهزینه‌تر می‌باشند ولی کارایی آنها به ویژه برای زدایش جلبک‌ها و مواد معلق ریز موثرتر است. همچنین در روش‌های شیمیایی مشکلات مربوط به انسداد و گرفتگی صافی‌ها وجود نخواهد داشت [۱، ۳، ۹، ۱۰]. در این تحقیق به بررسی اثر مواد منعقدکننده و آهک بر روی زدایش مواد معلق و کدورت از پساب خروجی برکه‌های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان پرداخته شده است.

1- microstrainer

مواد و روش‌ها

این تحقیق به روش تجربی و از طریق برداشت نمونه از خروجی برکه‌های تثبیت و افزودن مواد منعقدکننده مختلف و آهک به آن و انجام آزمایشات لازم در سال ۱۳۸۵ انجام گرفته است. در ابتدا در حدود ۴۰ لیتر نمونه در ظرف پلاستیکی از خروجی برکه-ها در اواسط فصل تابستان در ساعت بعدازظهر که بیشترین رشد جلبک‌ها در پساب وجود دارد برداشت گردید [۵، ۴، ۷]. نمونه برداشت شده به آزمایشگاه شیمی آب و فاضلاب دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی منتقل گردید. ابتدا کدورت مواد معلق و PH نمونه خام اندازه‌گیری شد. در مرحله‌ی بعد ۳ نوع ماده منعقدکننده رایج شامل آلوم (سولفات آلومینیم)، کلرور فریک و سولفات فریک به طور جداگانه همراه با آهک به فاضلاب در دوزهای متفاوت اضافه گردید و از طریق پیش‌آزمون کمترین غلظت مناسب مواد منعقدکننده و آهک ۵ میلی‌گرم در لیتر محاسبه گردید. این مواد شیمیایی از طریق آزمایش جار در مراحل جداگانه در غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به پساب برکه‌ها افزوده شد. روش کار بر اساس آزمایش جار شامل مراحل آمیزش سریع، آمیزش ملایم و ته‌نشینی انجام گرفت [۱۱، ۱۲]. در پایان هر مرحله از آزمایش جار، غلظت مواد معلق و مقدار کدورت و PH بر اساس دستورالعمل‌های ارایه شده در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب اندازه‌گیری شد و در پایان درصد حذف هر یک از عوامل مورد نظر محاسبه گردید [۲، ۸].

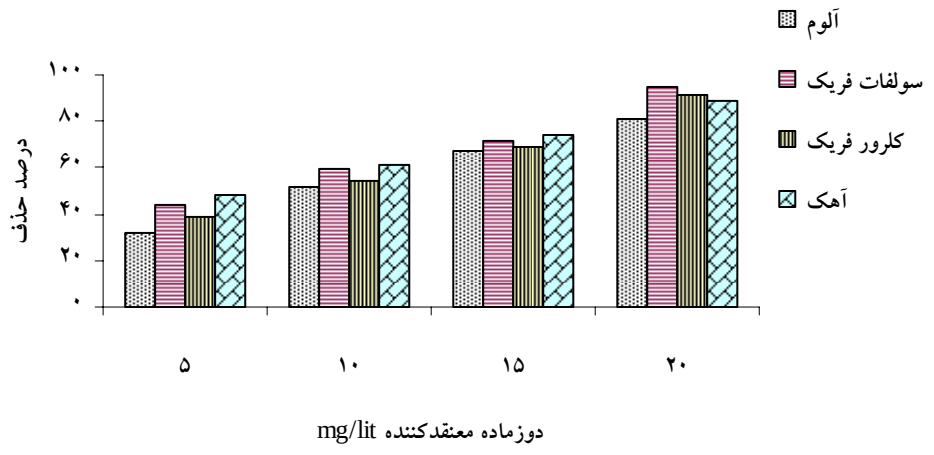
نتایج

یافته‌های تحقیق نشان داد که افزایش مواد منعقدکننده و آهک به پساب برکه ها می تواند منجر به کاهش مقدار کدورت و مواد معلق شده و تغییرات PH را به همراه داشته باشد. در جدول شماره یک نتایج مربوط به غلظت مواد معلق و کدورت و PH در پساب برکه‌ها قبل و بعد از آزمایش جار در دوزهای متفاوت مواد منعقدکننده و آهک ارایه شده است و نشان می‌دهد که در پساب برکه‌ها قبل از افزودن ترکیبات شیمیایی غلظت مواد معلق برابر ۲۱۵ میلی‌گرم در لیتر بوده است. در دوز ۵ میلی‌گرم در لیتر کمترین غلظت مواد معلق بعد از آزمایش جار مربوط به آهک به

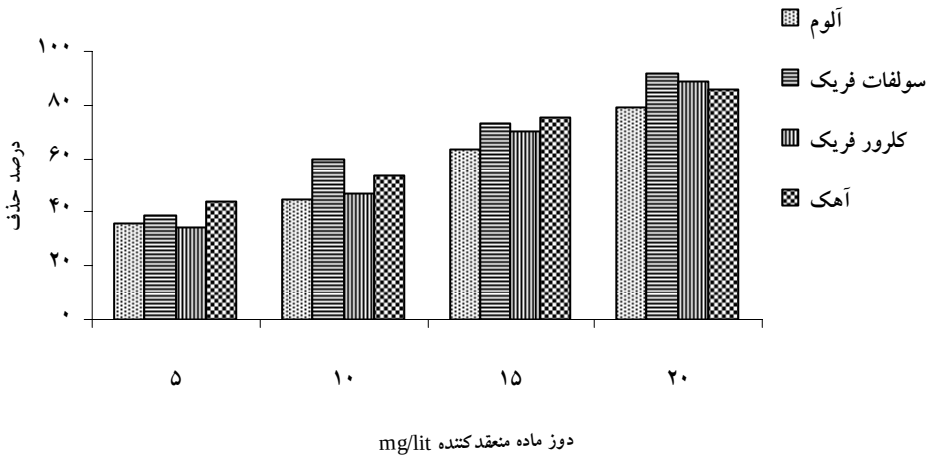
میزان ۱۱۱ و بیشترین آن مربوط به آلوم به میزان ۱۴۶ میلی‌گرم در لیتر است. در دوز ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیز کمترین غلظت مواد معلق مربوط به آهک است. بیشترین غلظت مربوط به آلوم است که در این مرحله اثربخشی آهک از سولفات فریک بالاتر بوده است. در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، کمترین غلظت مواد معلق مربوط به سولفات فریک (۱۱/۸ میلی‌گرم در لیتر) و بیشترین آن مربوط به آلوم (۳۹/۳ میلی‌گرم در لیتر) است. همان طوری که در این جدول مشخص است میزان کدورت در پساب برکه‌ها قبل از افزایش مواد منعقدکننده برابر NTU ۱۸۹ بوده است. در دوز ۵ میلی‌گرم در لیتر کمترین میزان کدورت مربوط به آهک برابر NTU ۱۰۶ و بیشترین آن مربوط به کلرور فریک و برابر NTU ۱۲۴ می‌باشد. در دوز ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیز کمترین میزان کدورت در مورد آهک و بیشترین آن در مورد آلوم به دست آمده است. در مرحله چهارم که دوز ماده منعقدکننده به ۲۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یافته است در مورد سولفات فریک میزان کدورت از NTU ۱۸۹ به NTU ۱۴/۹ (بیشترین کارایی) و در مورد آلوم از NTU ۱۸۹ به NTU ۳۹/۳ (کمترین کارایی) کاهش یافته است. اطلاعات موجود در این جدول نشان می‌دهد که در پساب برکه‌ها قبل از افزایش مواد شیمیایی میزان PH برابر ۷/۹ بوده است که در محدوده‌ی کمی قلیایی قرار دارد. بعد از آزمایش جار نیز در مورد آلوم و کلرور فریک و سولفات فریک، PH کمی کاهش یافته است ولی در مورد آهک میزان PH شدیدا افزایش یافته است به طوری که در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به بالای ۱۰ نیز رسیده است که نشان‌دهنده حالت قلیایی است. نمودارهای شماره (۱ و ۲) نشان‌دهنده درصد زدایش مواد معلق و کدورت در دوزهای متفاوت مواد شیمیایی فوق‌الذکر بر پساب برکه‌ها است. همان طوری که از روی نمودارهای شماره (۱ و ۲) مشخص است بیشترین کارایی برای دو عامل فوق‌الذکر در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات فریک به دست آمده که میزان آن در مورد مواد معلق ۹۴/۵ و کدورت ۹۲/۱ درصد است. کمترین کارایی نیز در دوز ۵ میلی‌گرم در لیتر بوده که میزان آن برای مواد معلق ۳۲ درصد (آلوم) و کدورت ۳۴/۴ درصد (کلرور فریک) می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمایشات پساب برکه‌های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان قبل و بعد از افزایش مواد منعقدکننده و آهک در دوزهای متفاوت

مشخصات پساب قبل از آزمایش	دوز مواد منعقد کننده mg/l	آلوم		کلرور فریک		سولفات فریک		آهک	
		بعد از آزمایش	درصد حذف	بعد از آزمایش	درصد حذف	بعد از آزمایش	درصد حذف	بعد از آزمایش	درصد حذف
مواد معلق ۲۱۵ mg/l	۵	۱۴۶	۳۲	۱۳۲	۳۸/۶	۱۲۰	۴۴	۱۱۱	۴۸/۴
	۱۰	۱۰۳	۵۲	۹۸	۵۴/۴	۸۷	۵۹/۵	۸۴	۶۰/۹
	۱۵	۶۹/۸	۶۷/۵	۶۶/۶	۶۹	۶۱/۷	۷۱/۳	۵۴/۸	۷۴/۵
	۲۰	۳۹/۹	۸۱/۴	۱۹/۳	۹۱	۱۱/۸	۹۴/۵	۲۶/۶	۸۹
کدورت ۱۸۹NTU	۵	۱۲۲	۳۵/۵	۱۲۴	۳۴/۴	۱۱۶	۳۸/۶	۱۰۶	۴۳/۹
	۱۰	۱۰۴	۴۴/۹	۱۰۰	۴۷	۹۵	۵۹/۵	۸۷/۸	۵۳/۵
	۱۵	۶۸/۴	۶۳/۸	۵۵/۷	۷۰/۵	۵۰/۱	۷۳/۵	۴۷	۷۵/۱
	۲۰	۳۹/۳	۷۹/۲	۲۱/۳	۸۸/۷	۱۴/۹	۹۲/۱	۲۷/۴	۸۵/۵
PH = ۷/۹	۵	۷/۵	-	۷/۲	-	۷/۲	-	۸/۵	-
	۱۰	۷/۱	-	۶/۹	-	۷	-	۸/۸	-
	۱۵	۶/۸	-	۶/۶	-	۶/۸	-	۹/۴	-
	۲۰	۶/۴	-	۶/۵	-	۶/۳	-	۱۰/۵	-



نمودار ۱- کارآیی دوزهای مختلف مواد منعقدکننده در زدایش مواد معلق از پساب برکه های تثبیت علوم پزشکی کاشان



نمودار ۲- کارایی دوزهای مختلف مواد معنقدکننده در زدایش کدورت از پساب برکه های تثبیت علوم پزشکی کاشان

بحث

از مقایسه نتایج آزمایشات، با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران (مواد معلق کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر ــ کدورت کمتر از ۵۰ NTU و PH در محدوده ۸/۵-۶) جهت استفاده پساب در مصارف کشاورزی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بهترین کیفیت پساب در دوز مواد شیمیایی ۲۰ میلی‌گرم در لیتر حاصل شده است [۱۵]. یعنی برای هر چهار ماده شیمیایی کیفیت پساب از نظر مواد معلق و کدورت با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران مطابقت دارد ولی در مورد کیفیت پساب برای آبیاری قطره‌ای فقط در صورت استفاده از آلوم، کیفیت پساب خارج از حد استاندارد برای آبیاری قطره‌ای است و در مورد سه ماده شیمیایی دیگر غلظت مواد معلق کمتر از ۳۰ میلی-گرم در لیتر است که منطبق بر استاندارد آبیاری قطره‌ای است [۱، ۹، ۱۰]. از نظر مقایسه بین این سه ماده شیمیایی نیز بهترین کارآیی مربوط به سولفات فریک است به طوری که در مورد این ماده غلظت مواد معلق به ۱۱/۸ میلی‌گرم در لیتر و کدورت به ۱۴/۹ NTU کاهش یافته است. علاوه بر این، در صورت استفاده از آهک چون PH نهایی پساب بسیار قلیایی و خارج از حد استاندارد است، از این رو در صورت استفاده از آهک به عنوان ماده تصفیه‌کننده، در پایان بایستی PH را یا از طریق افزایش اسید به حد مجاز کاهش داد یا اینکه پساب را با آب چاه مخلوط نمود تا PH مورد نظر حاصل شود که مورد اول بسیار هزینه‌بر است و مورد دوم نیز ممکن است آب چاه به اندازه کافی برای این منظور وجود نداشته باشد. [۱۳، ۱۴، ۱۵]. در سایر کشورها نیز مطالعات اسوالد (Oswald) نشان داده که با استفاده از صافی شنی و در پی آن شناورسازی با هوای محلول (Dissolved Air

Flotation) غلظت مواد معلق در پساب برکه‌ها از ۳۲۶ به ۱۱ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته است و نشان می‌دهد که استفاده از دو روش فوق‌الذکر بیش از ۹۵درصد مواد معلق را زدایش نموده است که در مقایسه با نتایج این تحقیق فرآیند انعقاد شیمیایی با استفاده از سولفات فریک نزدیک به ۹۵درصد در زدایش مواد معلق موثر است [۵، ۹، ۱۸-۱۶]. تحقیقات Annachhatre در کشور تایلند نیز نشان داده که با استفاده از فرآیند انعقاد شیمیایی، زدایش مواد معلق از پساب برکه‌ها به میزان ۹۶ درصد موثر بوده است [۱۰]. همچنین مطالعات در کشور آفریقای جنوبی نیز نشان داده که استفاده از مواد منعقدکننده در دوز ۱۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر (بدون ذکر نام ماده منعقدکننده) در زدایش مواد معلق از پساب برکه‌ها به میزان ۸۴ تا ۹۳ درصد موثر بوده است. نتایج به دست آمده از تحقیقات فوق‌الذکر بسیار نزدیک به نتایج این تحقیق است [۱۳، ۱۷، ۱۸]. مطالعات میدلبروک (Middlebrooks) بر روی زلال‌سازی پساب برکه‌ها نشان داده که استفاده از صافی سنگی به ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متر، بیشترین زدایش مواد معلق از پساب برکه‌ها به میزان ۵۰ تا ۷۰ درصد بوده است که مقایسه آن نسبت به روش‌های شیمیایی نشان‌دهنده پایین بودن بهره‌وری روش‌های فیزیکی است [۵، ۹، ۱۷].

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری نمود که بهترین ماده منعقدکننده برای کاهش مواد معلق و کدورت پساب از برکه‌های تثبیت دانشگاه علوم پزشکی کاشان، سولفات فریک است. لازم به ذکر است که کیفیت پساب برکه‌ها در صورت استفاده از مواد شیمیایی در دوز ۲۰ میلی‌گرم در لیتر علاوه بر مصارف کشاورزی برای تخلیه به آبهای سطحی و چاه جاذب نیز مناسب بوده و با استاندارد محیط زیست مطابقت دارد که در این مورد خاص به دلیل کمبود آب در منطقه، برتری با مصارف کشاورزی و فضای سبز است.

References:

[1] Rowe DR, Abdel-Magid IM. Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. Boca Raton: CRC Press; 1995. P.264-345.

[2] Crites R. TChobanoglous G. Small and Decentralized Wastewater Management System. New York: Mc Graw-Hill; 1998. P.125-260.

[3] Waste Stabilization Pond. WHO EMRO Technical Publication .NO.16. Alexanderia. 1987.

[4] Mara D, Pearson H. Design Manual for Waste Stabilization Ponds in Mediterranean countries. European Investment Bank. Leeds.2002. P105-177.

[5] Middlebrooks EJ. Upgrading Pond Effluent . Proceeding in 2nd IAWQ International Specialist Conference. California; 1993. P419-425.

[6] Reed SC, Crites RW, Middlebrooks EJ. Natural System for Waste Management and Treatment. 2nd ed. New York: Mc-Graw Hill; 1995. P321-370.

[7] Gloyna EF. Wase Stabilization Pond. Geneva: WHO;1971. P 56-79.

[8] APHA. AWWA. WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater .19th ed. Washington: American Public Health Association;1995.

[9] Oswald WJ. Introduction to Advanced Integrated Waste Stabilization Ponds. Water Science Technology .1991; 24(5): P.1-7.

[10] Annachhatre AP. Chemical coagulation for pond effluent. Available at: http:/www.serd.ait.ac.th/twhnhng/News Letter. Accessed march 27,2007.

[11] Nelson KL. Environmental Engineering Wastewater Treatment Plant. Available at: nelson environment.com/projecstype/tss removal. Accessed May 20,2007.

[12] Stephenson R L, Blackburn JB. Industrial Wastewater System Handbook. Boca Raton: CRC Press; 1998. P237-245.

[۱۳] سازمان حفاظت محیط زیست ایران. استانداردهای استفاده مجدد از پساب. تهران: سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۱۳۷۸.

[۱۴] میرانزاده محمد باقر. برکه های تثبیت فاضلاب. کاشان: مرسل، دانشگاه علوم پزشکی کاشان؛ ۱۳۸۲. صص. ۴۵-۶۷.

[۱۵] میرانزاده محمد باقر. بررسی کارایی برکه های تثبیت تلفیقی در تصفیه فاضلاب شهری . پایان نامه دکتری حرفه‌ای بهداشت محیط. تهران: دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده بهداشت، ۱۳۷۹.

[۱۶] میرانزاده محمد باقر. بررسی کارایی صافی شنی در زدایش مواد معلق از پساب برکه ها. آب و محیط زیست. شماره ۵۰. خردادماه ۱۳۸۱.

[۱۷] عظیمی علی‌اکبر، زمانزاده میرزمان. تصفیه آب‌های سطحی درکشورهای درحال‌توسعه. تهران: دانشگاه تهران. ۱۳۸۲. صص.۸۲-۹۰.

[18] Frank NK. Nalco Water Handbook. 2nd ed. New York: Mc Graw-Hill; 1998. P13-17.