عملکرد برکه‌های تثبیت و لاگون‌های هوادهی در کاهش میکروارگانیسم‌های شاخص فاضلاب

سید علی قاسمی [۱] شهناز دانش [۲]

(دریافت ۸۹/۱/۲۱ پذیرش ۹۰/۸/۳)

چکیده

در این مقاله عملکرد دو تصفیه‌خانه فاضلاب شهر مشهد با فرایندهای برکه تثبیت فاضلاب و لاگون هوادهی در کاهش باکتری‌های کلیفرم موجود در فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور به‌مدت یک سال، با فواصل زمانی ۱۵ روزه، از فاضلاب ورودی و پساب خروجی (قبل از واحد گندزدایی) تصفیه‌خانه‌های مذکور نمونه‌هایی برداشت گردید و پارامترهای کیفی مختلفی از قبیل درجه حرارت، pH، تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی، غلظت اکسیژن محلول و کل جامدات معلق در نمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شد. نتایج به‌دست آمده دلالت بر آن داشت که راندمان حذف باکتری‌های کلیفرم در سیستم لاگون‌های هوادهی نسبت به برکه‌های تثبیت در فصلهای پاییز و زمستان، به‌طور معنی‌داری بیشتر است، ولی برکه‌های تثبیت فاضلاب در فصل تابستان عملکرد مطلوب‌تری را در کاهش تعداد میکروارگانیسم‌های گروه کلیفرم ارائه کردند. به‌طور کلی سیستم برکه‌های تثبیت تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی را به‌ترتیب به‌میزان log10 ۲/۱۵-۰/۲۱ و log10 ۲/۳۳-۰/۲۰ کاهش داد. در حالی که میزان کاهش کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در سیستم لاگون‌های هوادهی به‌ترتیب در محدوده log10 ۲/۰۳-۰/۲۹ و log10 ۲/۴۰-۰/۴۲ بود. بررسی‌ها نشان داد که تغییرات شدت نور خورشید، pH و غلظت اکسیژن محلول، مهم‌ترین مکانیسم‌های کاهنده کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در سیستم برکه‌های تثبیت هستند. ولی غلظت اکسیژن محلول در حوض هوادهی و شدت نور خورشید نسبت به عوامل دیگر در کاهش جمعیت باکتری‌های گروه کلیفرم در لاگون‌های هوادهی تأثیر مهم‌تری بر عهده دارند. به‌طور کلی که بدون اعمال روشهای گندزدایی مؤثر، برکه‌های تثبیت و لاگون‌های هوادهی قادر به تأمین استانداردهای میکروبیولوژیکی کاربرد پساب در کشاورزی نیستند.

واژه‌های کلیدی: برکه‌های تثبیت فاضلاب، لاگون‌های هوادهی، کل کلیفرم‌ها، کلیفرم‌های گوارشی، گندزدایی

Waste Stabilization Ponds and Aerated Lagoons Performance in Removal of Wastewater Indicator Microorganisms

Seyed Ali Ghassemi [1] *Shahnaz Danesh* [2]

(Received Apr. 10, 2010 Accepted Oct. 25, 2011)

Abstract

In this work, the performance of two treatment plants in the City of Mashhad, one with an aerated lagoons system and the other one with waste stabilization ponds system were evaluated in regard to their efficiency in reduction of pathogenic microorganisms. For this purpose, over a period of one year (with 15-days intervals), samples were taken from the influent and effluent (prior to disinfection unit) of the above mentioned treatment plants. The samples then were analyzed for parameters such as temperature, pH, density of total coliforms (TC) and fecal coliforms (FC), dissolved oxygen and total suspended solids concentration. The results indicated that the aerated lagoons system was much more efficient in removal of indicator bacteria than the waste stabilization ponds during autumn and winter periods. However during the summer months, the waste stabilization ponds showed a higher efficiency in this regard. In general, the waste stabilization ponds system reduced the density of TC and FC by 0.21-2.15 $\log_{10}$ and 0.20-2.33 $\log_{10}$, respectively. In contrast, the levels of reduction in aerated lagoons system were in the range of 0.29-2.03 $\log_{10}$ for TC and 0.42-2.40 $\log_{10}$ for FC. Results indicated that solar intensity, pH and dissolved oxygen concentration were found to be the most significant parameters that reduced the microorganisms population in waste stabilization ponds, While, in the aerated lagoons system, the dissolved oxygen concentration in aerated basin and solar intensity play the most important role. In general, without receiving an adequate disinfection, the effluent from waste stabilization ponds and aerated lagoons cannot provide the microbiological standards required for irrigation of agricultural crops.

Keywords: Waste Stabilization Ponds, Aerated Lagoons, Total Coliforms, Fecal Coliforms, Disinfection.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، محیط زیست، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول) (۰۵۱۱ ۸۷۶۳۲۳۲) sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir

1. Grad. M.Sc. Student of Civil and Environmental Eng., Ferdowsi University of Mashhad
2. Assoc. Prof. of Civil Eng., Dept. of Eng., Ferdowsi University of Mashhad (Corresponding Author) (+98 0511 8763232 sdanesh@ferdowsi.um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

در سالهای اخیر به‌دلیل رشد جمعیت و توسعه شهرنشینی، صنعت و کشاورزی، مصرف سرانه آب و به تبع آن تولید فاضلاب افزایش چشمگیری یافته است. به‌همین دلیل، استفاده از فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان یک منبع آب پایدار بیش از پیش مورد توجه مدیران صنعت آب کشور قرار گرفته است. استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در کشاورزی و صنعت مزایای متعددی از قبیل فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف، کاهش مصرف کودهای شیمیایی و اثرات زیست محیطی آنها و کاهش اثرات زیست محیطی دفع پساب به منابع آبی را به دنبال دارد [۱]. اما به‌دلیل اینکه فاضلابهای شهری غالباً حاوی تعداد بالایی از عوامل بیماری‌زای بیولوژیکی (باکتری، ویروس و انگل) هستند، از این رو چنانچه مدیریت جامعی در خصوص تصفیه فاضلاب اعمال نگردد می‌تواند موجبات شیوع بیماری‌های خطرناکی از قبیل تیفوئید، اسهال، کزاز، منتژیت و هپاتیت را فراهم آورد [۲]. به‌دلیل تنوع میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا در فاضلاب، اندازه‌گیری مستقیم هر یک از آنها به‌صورت مجزا هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اجرایی مقدور نیست [۳]. لذا استفاده از باکتری‌های شاخص به‌عنوان معیاری کمّی از حضور یا عدم وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا امری اجتناب ناپذیر است. باکتری‌های کلیفرم متداول‌ترین گروه از میکروارگانیسم‌های شاخص در تعیین میزان آلودگی میکربی منابع آب به حساب می‌آیند [۴-۳]. از این رو معیارهای ارزیابی کیفیت میکربی پساب، در اکثر استانداردها و رهنمودهای معتبر بر مبنای فراوانی این گروه از میکروارگانیسم‌ها ارائه گردیده است. به‌عنوان مثال استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران در ارتباط با استفاده مجدد از پساب در کشاورزی، معیار ۴۰۰ CFU/100 mL را به‌عنوان حداکثر مقدار مجاز کلیفرم‌های گوارشی تعیین نموده است [۵]. همچنین مقادیر حداکثر مجاز در نظر گرفته شده برای این پارامتر در استاندارد سابق سازمان بهداشت جهانی[1] و رهنمود سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا[2] برای محصولاتی که به‌صورت خام مصرف نمی‌شوند، به‌ترتیب، کمتر از CFU/100 mL ۱۰۰۰ و کمتر از ۲۰۰ CFU/100 mL است [۶ و ۷].

تراکم کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در فاضلابهای شهری به‌ترتیب معادل 10^{9}-10^{7} و 10^{8}-10^{6} در ۱۰۰ میلی‌لیتر گزارش شده است [۸ و ۹]. یکی از عوامل تأثیرگذار بر کاهش جمعیت میکربی فاضلابهای شهری نوع فرایند تصفیه است. جگالز[3] و لوئز[4] با مطالعه فرایندهای تصفیه طبیعی نشان دادند که برکه‌های تثبیت فاضلاب می‌توانند تعداد کلیفرم‌های گوارشی موجود در فاضلاب شهری را بین ۹۴/۲ تا ۹۹/۹ درصد کاهش دهند [۱۰]. بررسی‌های آلکالده و همکاران[5] نیز که بر روی مجموعه‌ای از برکه‌های تثبیت فاضلاب و مخازن ذخیره متوالی انجام گرفت دلالت بر آن داشت که سیستم مذکور با زمان ماندی در حدود ۱۲۰ روز توانسته است لگاریتم تعداد کلیفرم‌های گوارشی را به‌میزان ۴/۵۶-۶/۰۲ واحد تقلیل دهد [۱۱]. این محققان همچنین به این نتیجه دست یافتند که استفاده از فیلترهای شنی به‌عنوان یک فرایند تصفیه تکمیلی نقش بسیار مؤثری را در کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌های شاخص ایفا می‌کند. کارایی فرایندهای تصفیه اولیه و ثانویه در کاهش جمعیت باکتری‌های شاخص توسط لوسنا و همکاران[6] بررسی شده است [۱۲]. نتایج کار تحقیقاتی ایشان نشان می‌دهد که واحد ته‌نشینی اولیه و فرایند لجن فعال متعارف می‌توانند عوامل بیماری‌زا را به‌ترتیب به میزانی معادل ۰/۵-۰/۳ و ۱/۶-۱/۰ واحد لگاریتمی کاهش دهند. رینوسو و همکاران[7] با مطالعه بر روی خصوصیات میکروبیولوژیکی فاضلاب ورودی و پساب تصفیه‌خانه‌ای در شمال غربی اسپانیا به این نتیجه دست یافتند که استفاده ترکیبی از برکه‌های تثبیت فاضلاب و نیزارها می‌تواند کاهش ۴/۴۰±۱/۵۳ واحدی را در لگاریتم تعداد کل کلیفرم‌ها به‌دنبال داشته باشد[۱۳].

برکه‌های تثبیت فاضلاب و لاگون‌های هوادهی جزء فرایندهای نسبتاً ساده و ارزان تصفیه فاضلابهای شهری هستند که به‌طور گسترده‌ای در کشورهای در حال توسعه و مناطق گرمسیر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳]. کارایی برکه‌های تثبیت فاضلاب و لاگون‌های هوادهی در کاهش میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا ناپایدار بوده و تحت تأثیر عوامل محیطی، خصوصیات کیفی فاضلاب و نیز شرایط بهره‌برداری تغییر می‌کند [۱۴]. درجه حرارت، زمان ماند هیدرولیکی، شدت نور خورشید، غلظت اکسیژن محلول و pH مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر کارایی فرایندهای تصفیه مذکور در کاهش عوامل بیماری‌زا هستند [۱۴-۱۹].

هدف از این تحقیق ارزیابی عملکرد و تعیین عوامل مؤثر بر کارایی برکه‌های تثبیت فاضلاب و لاگون‌های هوادهی در کاهش باکتری‌های کلیفرم موجود در فاضلابهای شهری بود.

[1] World Health Organization (WHO)
[2] U.S Environmental Protection Agency (USEPA)
[3] Jagal
[4] Lues
[5] Alcalde et al.
[6] Lucena et al.
[7] Reinoso et al.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- مواد و روشها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد هم اکنون دارای ۳ تصفیه‌خانه فاضلاب با نام‌های اولنگ، پرکندآباد (۱) و پرکندآباد (۲) است که وظیفه تصفیه در حدود ۱۷ درصد از فاضلاب تولیدی در این شهر را بر عهده دارند [۲۰]. در مطالعه حاضر بررسی‌ها بر روی تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۱) که صرفاً فاضلابهای شهری را دریافت می‌کنند، انجام پذیرفت.

تصفیه‌خانه اولنگ با مساحتی حدود ۶۰۰ هکتار در شرق مشهد واقع گردیده است و جمعیتی معادل ۱۵۰ هزار نفر را تحت پوشش قرار می‌دهد. در حال حاضر دبی متوسط جریان فاضلاب ورودی تصفیه‌خانه اولنگ حدود ۲۲۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز گزارش شده است [۲۰]. در این تصفیه‌خانه از فرایند تصفیه برکه‌های تثبیت فاضلاب استفاده شده است. واحدهای اصلی تصفیه در این تصفیه‌خانه شامل چهار برکه اختیاری و دو برکه جلادهی می‌باشد که در داخل هریک از برکه‌های اختیاری دو چاله هضم وجود دارد. زمان ماند برکه‌های اختیاری و جلادهی به‌ترتیب ۱۶ روز و ۵ روز است [۲۰ و ۲۱].

تصفیه‌خانه پرکند آباد (۱) در حاشیه جنوبی رودخانه فصلی کشف‌رود و در ۱۰ کیلومتری شمال غرب مشهد قرار گرفته است. ظرفیت این تصفیه‌خانه ۱۵۲۰۰ مترمکعب در شبانه روز و جمعیت تحت پوشش آن معادل ۱۰۰ هزار نفر است. فرایند مورد استفاده در این تصفیه‌خانه فاضلاب از نوع لاگون‌های هوایی است. دو لاگون هوادهی، دو حوضچه ته‌نشینی و یک برکه جلادهی، واحدهای اصلی تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) را تشکیل می‌دهند. زمان ماند فاضلاب در لاگون‌های هوادهی، حوضچه‌های ته‌نشینی و برکه جلادهی به‌ترتیب ۵، ۲ و ۴ روز است [۲۲]. میانگین سالانه خصوصیات کیفی فاضلاب ورودی و پساب تصفیه خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۱) به‌ترتیب در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است. با توجه به مقادیر کیفی ارائه شده در جدول ۱، فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه‌ها در طبقه فاضلابهایی با قدرت متوسط قرار می‌گیرد.

۲-۲- نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

در این پژوهش به‌مدت یک سال (۸۹-۱۳۸۸)، نمونه‌هایی با فواصل زمانی ۱۵ روزه (دو نمونه مرکب در هر ماه) از فاضلاب ورودی و پساب خروجی از حوضچه‌های جلادهی تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۱) و قبل از واحد گندزدایی برداشت گردید و پارامترهای درجه حرارت (T)، pH، تعداد کل کلیفرم‌ها (TC)، کلیفرم‌های گوارشی (FC)، غلظت اکسیژن محلول (DO) و جامدات معلق (TSS) در نمونه‌های مذکور اندازه‌گیری شد. علاوه بر این برای بررسی تأثیر سایر پارامترها، از مقادیر غلظت اکسیژن محلول در حوض هوادهی تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱) و کلروفیل a[1] و تراکم جمعیت ارائه شده در گزارش‌های موجود، استفاده گردید [۲۰]. لازم به ذکر است که اطلاعات مربوط به‌شدت نور خورشید (LD) و میزان بارندگی نیز از سازمان هواشناسی ایران اخذ شد [۲۳]. کلیه مراحل نمونه‌برداری، نگهداری و انتقال نمونه‌ها بر اساس توصیه‌های ارائه شده در منابع معتبر انجام پذیرفت [۴].

برای تعیین غلظت جامدات معلق از روش استاندارد ۲۵۴۰D و برای تعیین تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی، از روش کشت میکربی در محیط اختصاصی ائوزین متیل بلو آگار[2] استفاده گردید [۲۲]. همچنین برای اندازه‌گیری درجه حرارت، pH و غلظت اکسیژن محلول در نمونه‌ها از دماسنج، pH متر و DO متر دیجیتال مدل sensION156 محصول شرکت هچ[3] استفاده شد. به‌منظور افزایش دقت و استنادپذیری نتایج، کلیه پارامترها در ۳ تکرار مورد آزمایش قرار گرفت.

[1] Chlorophyll *a*
[2] Eosin Methylene Blue Agar (EMB)
[3] Hach

جدول ۱- میانگین سالانه خصوصیات کیفی فاضلاب ورودی به تصفیه خانه های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد(۱) در طی دوره تحقیق [۱]

پارامتر	واحد	اولنگ				پرکندآباد(۱)			
		بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار
درجه حرارت	°C	۲۷/۸	۱۱/۸	۱۹/۰	۵/۶	۲۲/۸	۱۰/۲	۱۷/۴	۳/۹
pH	-	۸/۲	۷/۶	۷/۸	۰/۲	۷/۷	۷/۲	۷/۴	۰/۱
BOD_5	mg/L	۳۱۵	۱۴۴	۱۸۲	۵۶	۳۰۹	۱۶۸	۲۴۳	۴۷
COD	mg/L	۵۹۵	۳۳۱	۴۳۷	۸۰	۶۱۷	۳۳۱	۴۸۳	۱۰۹
غلظت مواد جامد معلق	mg/L	۴۰۲	۱۹۷	۲۹۰	۶۱	۳۸۳	۱۶۳	۲۶۲	۸۱
نیتروژن کل	mg/L	۲۹/۸	۲۳/۸	۲۶/۲	۱/۵	۳۴/۸	۲۸/۱	۳۲/۱	۱/۴
فسفر کل	mg/L	۷/۹	۴/۳	۶/۰	۱/۱	۸/۶	۴/۲	۶/۵	۱/۳

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- میانگین سالانه خصوصیات کیفی پساب تصفیه خانه های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد(۱) در طی دوره تحقیق

پارامتر	واحد	اولنگ				پرکندآباد(۱)			
		بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار
درجه حرارت	°C	۲۴/۳	۲/۰	۱۳/۲	۶/۳	۲۲/۷	۶/۶	۱۴/۷	۵/۹
pH	-	۸/۸	۷/۵	۸/۰	۰/۳	۷/۸	۷/۳	۷/۶	۰/۲
BOD_5	mg/L	۱۰۲	۵۱	۷۵	۱۳	۸۲	۴۲	۵۹	۱۲
COD	mg/L	۲۸۵	۱۳۸	۲۲۶	۴۳	۲۴۸	۱۵۹	۱۹۹	۲۱
غلظت اکسیژن محلول	mg/L	۱۲/۸	۲/۴	۷/۱	۳/۲	۴/۸	۱/۱	۲/۲	۱/۰
غلظت مواد جامد معلق	mg/L	۱۳۴	۵۱	۱۰۰	۲۶	۱۲۲	۴۶	۸۴	۲۲
نیتروژن کل	mg/L	۱۴/۹	۱۱/۹	۱۳/۱	۰/۷	۱۷/۴	۱۴/۱	۱۶/۰	۰/۷
فسفر کل	mg/L	۶/۳	۳/۵	۴/۸	۰/۹	۶/۹	۳/۴	۵/۲	۱/۱

۲-۳- محاسبات و تحلیل آماری

در این تحقیق با استفاده از روابط ۱ و ۲، به‌ترتیب درصد حذف و میزان کاهش لگاریتمی کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی برای هر یک از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه محاسبه گردید.

(۱)

$$\%\ \text{Removal} = 100 \times (C_{Influent} - C_{Effluent}) / C_{Influent}$$

(۲)

$$\text{Log Removal} = \log C_{Influent} - \log C_{Effluent}$$

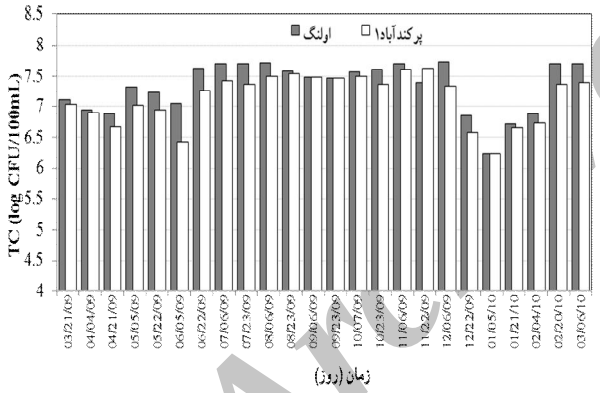
که در این روابط $C_{Influent}$ و $C_{Effluent}$ به‌ترتیب تراکم کل کلیفرم‌ها (یا کلیفرم‌های گوارشی) در فاضلاب ورودی و پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است.

برای تعیین پارامترهای آماری از قبیل انحراف معیار و راندمان کاهش میکروارگانیسم‌ها از شاخص میانگین هندسی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری نتایج حاصل از آزمایش‌ها در طی دوره تحقیق، با استفاده از نرم افزار MINITAB ویرایش ۱۴ انجام شد. علاوه بر این، به‌منظور مقایسه نتایج و تعیین سطح اختلاف معنی‌دار بین آمار، از آزمون تحلیل واریانس یک طرفه با دقت $p \leq 0.05$ و برای تعیین میزان همبستگی موجود بین پارامترهای کیفی مختلف، از آزمون همبستگی پیرسون استفاده گردید.

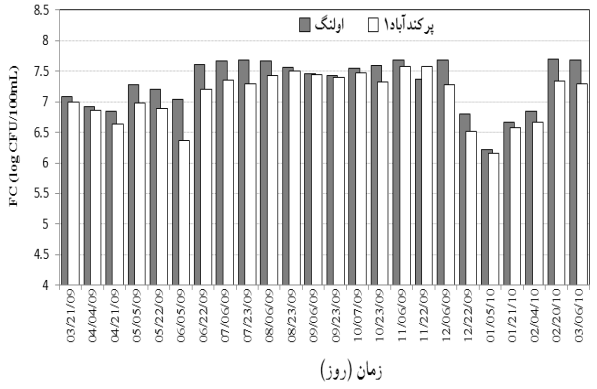
۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات میکروبیولوژیکی فاضلاب ورودی

تغییرات لگاریتم تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۱) در دوره‌های مختلف نمونه‌برداری به‌ترتیب در شکلهای ۱ و ۲ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان چنین بیان کرد که فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد (۱) در فصلهای تابستان و زمستان به‌ترتیب حاوی بیشترین و کمترین تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی بوده است. تحلیل آماری مقادیر به‌دست آمده نشان می‌دهد که همبستگی معنی‌داری بین تغییر تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی با میزان بارندگی ($0.049 > p > 0.012$, $-0.405 > r > -0.502$) و نیز تغییر تراکم جمعیت در محدوده جمع‌آوری فاضلاب تصفیه‌خانه‌های مذکور ($0.009 > p > 0.002$, $0.597 > r > 0.523$) وجود دارد.



شکل ۱- تغییرات لگاریتم کل کلیفرم در فاضلاب ورودی



شکل ۲- تغییرات لگاریتم کلیفرم‌های گوارشی در فاضلاب ورودی

www.SID.ir
Archive of SID

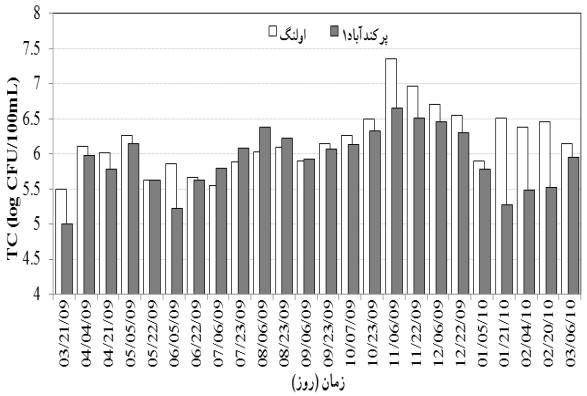
میانگین فصلی و میانگین سالانه نسبت تعداد کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها و نیز میانگین سالانه تعداد باکتری‌های کلیفرم موجود در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد(۱) در جدول ۳ خلاصه شده است.

همان گونه که از نتایج ارائه شده در جدول ۳ بر می‌آید، تعداد باکتری‌های کلیفرم و نیز نسبت کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه اولنگ در مقایسه با تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱) به‌طور معنی‌داری بیشتر است ($p < 0.05$) که این امر می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند تفاوت در شرایط موجود در شبکه جمع‌آوری فاضلاب و ورود رواناب‌ها و نیز تفاوت در ترکیب و تراکم جمعیت ساکن در محدوده جمع‌آوری فاضلاب باشد. علاوه بر این، پراکندگی آماری مقادیر کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه اولنگ در مقایسه با تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱)، در طی دوره انجام تحقیق بیشتر بود.

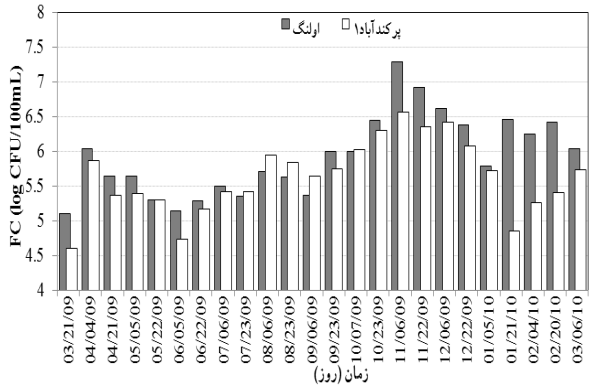
۳-۲- خصوصیات میکروبیولوژیکی پساب خروجی و راندمان حذف

تغییرات لگاریتم تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۱) به‌ترتیب در شکلهای ۳ و ۴ ارائه شد است. نتایج ارائه شده در شکلهای مذکور دلالت بر آن دارد که بیشترین و کمترین تعداد باکتری‌های کلیفرم در پساب تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، به‌ترتیب در فصلهای پاییز و بهار مشاهده شده است. تحلیل آماری مقادیر به‌دست آمده نیز نشان می‌دهد که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد کل کلی فرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی با غلظت جامدات معلق موجود در پساب خروجی از برکه جلادهی وجود دارد ($0.84 < p < 0.159$, $0.360 < r < 0.297$).

میانگین سالانه تعداد میکروارگانیسم‌های گروه کلیفرم، میانگین فصلی و نیز سالانه نسبت تعداد کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها در پساب خروجی از برکه جلادهی تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه در جدول ۴ آمده است.



شکل ۳- تغییرات لگاریتم کل کلیفرم در پساب خروجی از برکه جلادهی



شکل ۴- تغییرات لگاریتم کلیفرم‌های گوارشی در پساب خروجی از برکه جلادهی

جدول ۳- میانگین لگاریتم تعداد و نسبت کلی فرمهای گوارشی به کل کلیفرم‌ها در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه

تصفیه‌خانه	کل کلیفرم‌ها		کلیفرم‌های گوارشی		نسبت کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها					
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین	انحراف معیار
اولنگ	۷/۳۳	۰/۴۱	۷/۳۰	۰/۴۰	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۳	۰/۰۳
پرکندآباد(۱)	۷/۱۴	۰/۳۹	۷/۰۹	۰/۳۷	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۰۴

جدول ۴- میانگین لگاریتم تعداد و نسبت کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها در پساب خروجی از تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه

تصفیه‌خانه	کل کلیفرم‌ها		کلیفرم‌های گوارشی		نسبت کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها					
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین	انحراف معیار
اولنگ	۶/۱۸	۰/۴۵	۵/۹۳	۰/۵۷	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۶۲	۰/۲۴
پرکندآباد(۱)	۵/۹۲	۰/۴۳	۵/۶۳	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۳۹	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۵۶	۰/۲۲

www.SID.ir

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تغییرات تعداد باکتری‌های کلیفرم در پساب تصفیه‌خانه اولنگ در مقایسه با تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) در طی دوره انجام تحقیق، اندکی بیشتر بود. نتایج به‌دست آمده همچنین دلالت بر آن دارد که میانگین نسبت کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها در پساب تصفیه‌خانه اولنگ در مقایسه با تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) بیشتر بوده است که این مطلب با توجه به تفاوت کیفیت میکربی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های مذکور، دور از انتظار نیست. مقایسه مقادیر ارائه شده در جدولهای ۴ و ۵ نشان می‌دهد که نسبت تعداد کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها در پساب تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۱) در مقایسه با فاضلاب ورودی به آن‌ها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر است.

میانگین فصلی و سالانه درصد کاهش کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد(۱) به‌ترتیب در جدولهای ۵ و ۶ آمده شده است.

جدول ۵- درصد کاهش کل کلیفرم‌ها در تصفیه خانه‌های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد (۱)

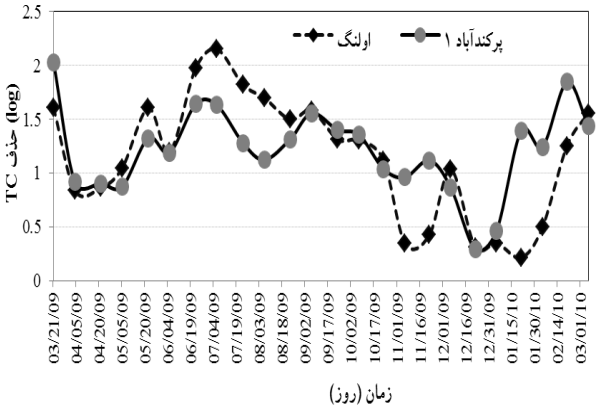
تصفیه خانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین	انحراف معیار
اولنگ	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۸۲	۰/۶۸	۰/۸۵	۰/۱۸
پرکندآباد(۱)	۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۹۱	۰/۱۱

جدول ۶- درصد کاهش کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد (۱)

تصفیه خانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	میانگین	انحراف معیار
اولنگ	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۸۷	۰/۱۷
پرکندآباد(۱)	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۸۶	۰/۹۳	۰/۱۰

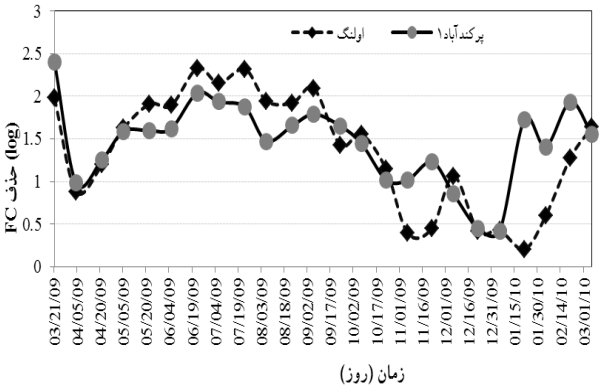
همان طور که از مقادیر ارائه شده در جدولهای ۵ و ۶ بر می‌آید، بیشترین و کمترین درصد حذف کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در هر دو تصفیه‌خانه به‌ترتیب در فصلهای تابستان و زمستان مشاهده گردیده است که این امر می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تغییر در شرایط آب و هوایی (به‌خصوص تغییرات درجه حرارت) و نیز به علت متفاوت بودن تراکم باکتری‌ها در فاضلاب ورودی باشد. علاوه بر این میانگین درصد کاهش کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه، در فصل بهار، مشابه است. نتایج همچنین دلالت بر این دارد که میانگین درصد کاهش میکروارگانیسم‌های گروه کلیفرم در تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱)، در فصلهای پاییز و زمستان، به‌طور معنی‌داری بیش از تصفیه‌خانه اولنگ بوده است ($p < 0.05$). لازم به‌ذکر است که میزان نوسانات راندمان حذف کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) در مقایسه با تصفیه‌خانه اولنگ کمتر بوده است.

اگرچه محاسبه درصد حذف میکروارگانیسم‌های شاخص یکی از متداول‌ترین روشها در بررسی کارایی فرایندهای تصفیه فاضلاب به‌حساب می‌آید، اما تعیین کاهش لگاریتمی تراکم عوامل بیماری‌زا، به‌منظور مقایسه دقیق عملکرد فرایندهای تصفیه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. شکلهای ۵ و ۶ به‌ترتیب روند تغییرات لگاریتم حذف کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی را در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب اولنگ و پرکندآباد (۲) نمایش می‌دهند. بر اساس این نتایج، میانگین کاهش لگاریتمی کل کلیفرم‌ها در تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۱) به‌ترتیب معادل ۱/۱۵±۰/۵۷ و ۱/۲۱±۰/۴۰ به‌دست آمده است. نتایج همچنین دلالت بر این دارد که راندمان حذف لگاریتمی کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه‌های اولنگ و پرکندآباد (۱) به‌ترتیب معادل ۱/۳۷±۰/۶۸ و ۱/۴۶±۰/۴۸ بوده است. یافته‌های آلکالده و همکاران نیز نتایج به‌دست آمده در این تحقیق را تأیید می‌کند [۱۱]. بررسی محققان مذکور نشان داده که مجموعه برکه‌های بی‌هوازی، اختیاری و جلادهی می‌توانند لگاریتم تراکم کلیفرم‌های گوارشی را در محدوده ۱/۹۳-۰/۸۲ کاهش دهند. با مقایسه نتایج آزمایش‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که میانگین راندمان حذف لگاریتمی باکتری‌های کلیفرم در تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱) نسبت به تصفیه‌خانه اولنگ در طی دوره انجام مطالعات بیشتر بوده است. با این وجود، راندمان حذف لگاریتمی کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه اولنگ در مقایسه با تصفیه‌خانه پرکندآباد (۱) در فصل تابستان، به‌طور معنی‌داری بیشتر بوده است که این امر نشان دهنده کارایی مناسب‌تر برکه‌های تثبیت فاضلاب در اقلیم‌های گرمسیری است ($p < 0.05$).



شکل ۵- تغییرات لگاریتم حذف کل کلیفرم‌ها در تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه

www.SID.ir
Archive of SID



شکل ۶- تغییرات لگاریتم حذف کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه

۳-۳- عوامل مؤثر بر عملکرد برکه‌های تثبیت فاضلاب و لاگون‌های هوادهی

به‌منظور تعیین اهمیت نسبی تأثیر عوامل مختلف بر کارایی سیستم تصفیه، ضرایب همبستگی بین تعداد باکتری‌های کلیفرم و برخی از خصوصیات پساب خروجی و شرایط محیطی مورد محاسبه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۷ ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در پساب این تصفیه‌خانه با تغییرات pH، غلظت اکسیژن محلول و شدت نور همبستگی منفی و معنی‌داری دارد. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، نور خورشید یکی از مهم‌ترین پارامترهای کاهنده تراکم میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا به‌حساب می‌آید. این عامل هم به‌طور مستقیم (تشعشعات فرابنفش) و هم از طریق تأثیر بر رشد جمعیت جلبکی حوضچه‌های جلادهی، سبب از بین رفتن میکروارگانیسم‌های مذکور می‌شود. به گونه‌ای که با افزایش رشد و تکثیر جلبکها در برکه جلادهی از طریق فرایند فتوسنتز، pH و غلظت اکسیژن محلول افزایش یافته و سبب تشدید فرایندهای فتواکسیداتیو و کاهش تعداد میکروارگانیسم‌های شاخص می‌گردد. لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تابش نور خورشید مهم‌ترین عامل گندزدایی طبیعی در برکه‌های تثبیت فاضلاب محسوب می‌گردد. این نتیجه با یافته‌های کورتیس و همکاران[1] در ارتباط با تأثیر نور خورشید بر کاهش تعداد میکروارگانیسم‌های موجود در برکه‌های تثبیت فاضلاب مطابقت دارد [۱۸].

در جدول ۸ ضرایب همبستگی بین تعداد باکتری‌های کلیفرم، شرایط محیطی و برخی خصوصیات پساب خروجی از برکه جلادهی تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱) آمده است. همان‌طور که از مقادیر ارائه شده بر می‌آید، همبستگی منفی و معنی‌داری بین تعداد باکتری‌های کلیفرم موجود در پساب تصفیه‌خانه پرکندآباد(۱) و شدت نور خورشید وجود دارد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که نقش سایر عوامل در کاهش تراکم کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در فرایند لاگون‌های هوادهی کمرنگ‌تر است. با این وجود محاسبات انجام شده حاکی از این است که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین راندمان حذف میکروارگانیسم‌های گروه کلیفرم و غلظت اکسیژن محلول در حوضچه هوادهی تصفیه خانه پرکندآباد (۱) وجود دارد که این واقعیت، نشان دهنده نقش مهم و انکار ناپذیر حوضچه هوادهی در کاهش تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی است ($0.001 < p < 0.008$, $0.528 < r < 0.624$).

[1] Curtis et al.

جدول ۷- همبستگی بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی پساب و تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در تصفیه‌خانه اولنگ

پارامتر	T	pH	DO	LD	TSS	Chlorophyll a	TC	FC
r								
T	۱	۰/۵۱۲××	۰/۴۷۸××	۰/۳۷۱××	۰/۶۸۲××	–	–	–
pH	۰/۵۱۲××	۱	-۰/۶۶۲××	–	۰/۶۴۵××	۰/۵۳۷××	-۰/۲۷۲×	-۰/۳۴۳××
DO	۰/۴۷۸××	-۰/۶۶۲××	۱	–	۰/۳۳۵	–	-۰/۵۴۶	-۰/۶۲۷
LD	۰/۳۷۱	–	–	۱	–	–	-۰/۲۸۱×	-۰/۳۵۰××
TSS	۰/۶۸۲××	۰/۶۴۵××	۰/۳۳۵××	–	۱	۰/۴۱۷××	۰/۲۹۳×	۰/۳۶۰××
Chlorophyll a	–	۰/۵۳۷××	–	–	۰/۴۱۷××	۱	–	–
TC	–	-۰/۲۷۲×	-۰/۵۴۶××	-۰/۲۸۱×	۰/۲۹۳×	–	۱	۰/۸۵۰××
FC	–	-۰/۳۴۳××	-۰/۶۲۷××	-۰/۳۵۰××	۰/۳۶۰××	–	۰/۸۵۰××	۱

r = ضریب همبستگی، r > ۰/۷ (همبستگی بالا)، r = ۰/۴۰-۰/۶۹ (همبستگی متوسط)، r = ۰/۲۰-۰/۳۹ (همبستگی اندک)، مقدار احتمالاتی = p، ×تفاوت معنی دار (p > ۰/۰۵)، ××تفاوت معنی دار (p > ۰/۰۱)، - = عدم همبستگی

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۸- همبستگی بین خصوصیات فیزیکوشیمیایی پساب و تعداد کل کلی فرم ها و کلی فرم های گوارشی در تصفیه خانه پرکندآباد(۱)

پارامتر	T	pH	DO	LD	TSS	Chlorophyll a	TC	FC
r								
T	۱	۰/۴۲۴××	۰/۳۴۹××	۰/۳۱۶××	۰/۵۸۵××	–	–	–
pH	۰/۴۲۴××	۱	–	–	۰/۴۴۲××	۰/۲۸۳×	–	–
DO	۰/۳۴۹××	–	۱	–	–	–	–	–
LD	۰/۳۱۶××	–	–	۱	–	–	–۰/۲۳۹×	–۰/۲۷۶×
TSS	۰/۵۸۵××	۰/۴۴۲××	–	–	۱	۰/۳۱۴××	۰/۲۰۷×	–
Chlorophyll a	–	۰/۲۸۳×	–	–	۰/۳۱۴××	۱	–	–
TC	–	–	–	–۰/۲۳۹×	۰/۲۹۷×	–	۱	۰/۸۳۵××
FC	–	–	–	–۰/۲۷۶×	–	–	۰/۸۳۵××	۱

r = ضریب همبستگی، r > ۰/۷ (همبستگی بالا)، ۰/۶۹-۰/۴۰ = r (همبستگی متوسط)، ۰/۳۹-۰/۲۰ = r (همبستگی اندک)، مقدار احتمالاتی = p، ×تفاوت معنی دار (p > ۰/۰۵)، ××تفاوت معنی دار (p > ۰/۰۱)، – = عدم همبستگی

۴- نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده در این تحقیق دلالت بر این دارد که میزان بارندگی، شرایط و طول شبکه جمع‌آوری فاضلاب و نیز تغییر در بافت جمعیتی، می‌تواند نقش مهم و معنی‌داری را در تغییرات تعداد باکتری‌های کلیفرم و نیز نسبت کلیفرم‌های گوارشی به کل کلیفرم‌ها در فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌ها داشته باشد. علاوه بر این نتایج نشان دادند که در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، راندمان لاگون‌های هوادهی در حذف میکروارگانیسم‌های مذکور در مقایسه با برکه‌های تثبیت فاضلاب، در فصلهای پاییز و زمستان به‌طور معنی‌داری بیشتر و در تابستان کمتر بوده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، تغییرات شدت نور خورشید، pH و غلظت اکسیژن محلول مهم‌ترین مکانیسم‌های کاهنده تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی در فرایندهای برکه تثبیت بودند. این در حالی است که در لاگون‌های هوادهی، غلظت اکسیژن محلول در حوضچه هوادهی و شدت نور خورشید نقش مهم‌تری را بر عهده داشتند. با توجه به این که سازمان حفاظت محیط زیست ایران مقادیر مجاز تعداد کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های گوارشی موجود در پساب مورد استفاده در کشاورزی را به‌ترتیب معادل ۱۰۰۰ و CFU/100mL ۴۰۰ تعیین نموده است، می‌توان چنین نتیجه گرفت که برکه‌های تثبیت فاضلاب و لاگون‌های هوادهی بدون اعمال مؤثر روشهای گندزدایی قادر به تأمین استانداردهای کیفی کاربرد پساب در آبیاری محصولات کشاورزی نیستند.

۵- مراجع

1- Ghassemi, S.A. (2010). "Assessment of the effluent quality from wastewater treatment plants for using in agriculture." M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. (In Persian)

2- Cameron, D.R. (1997). *Sustainable effluent irrigation phase ll: Review of monitoring data, Moose Jaw*, Tech. Rept. Prepared for Irrigation Sustainability Committee, Agriculture Green Plan, Canada.

3- Kantachote, D., Dangtago, K., and Siriwong, C. (2009). "Treatment efficiency in wastewater treatment plant of Hat Yai municipality by quantitative removal of microbial indicators." *Songklanakarin J. of Science and Technology*, 31 (5), 1-10.

4- APHA, AWWA, EFA. (2005). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 21th Ed., American Public Health Association, Washington, DC.

5- Environmental Protection Agency, Keyvani, N. (2003). *Environmental regulations and standards*, Green Circle Pub., Tehran. (In Persian)

6- World Health Organization. (1989). *Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture*, WHO Technical Report Series, Geneva.

7- United States Environmental Protection Agency. (2004). *Guidelines for water reuse*, Report No. EPA. 625/R-04-108, Washington, DC.

Archive of SID

www.SID.ir

8- Miescer, J. J., and Cabelli, V.J. (1982). "Enterococci and other microbial indicators in municipal wastewater effluents." *J. of Water Pollution Control Federation*, 54(12), 1599-1606.
9- Rose, J.B., Dickson, L.J., Farrah, S.R., and Carnahan, R.P. (1996). "Removal of pathogenic and indicator microorganisms by full-scale water reclamation facility." *Water Research*, 30(11), 2785-2797.
10- Jagals, P., and Lues, F.R. (1996). "The efficiency of a combined waste stabilization pond/maturation pond system to sanitise wastewater intended for recreational re-use." *Water Science and Technology*, 33(7), 117-124.
11- Alcalde, L., Oron, G., Gillerman, L., Salgot, M., and Manor, Y. (2003). "Removal of fecal coliforms, somatic coliphages and F-specific bacteriophages in a stabilization pond and reservoir system in arid regions." *Water Science and Technology*, 13(4), 177-184.
12- Lucena, F., Duran, A.E., Moro´n, A., Caldero´n, E., Campos, C., Gantzer, C., Skraber, S., and Jofre, J. (2004). "Reduction of bacterial indicators and bacteriophages infecting faecal bacteria in primary and secondary wastewater treatments." *Applied Microbiology*, 97, 1069-1076.
13- Reinoso, R., Torres, L.A., and Bécares E. (2008). "Efficiency of natural systems for removal of bacteria and pathogenic parasites from wastewater." *Science of the Total Environment*, 395, 80-86.
14- Mayo, A.W. (1989). "Effects of pond depth on bacterial mortality rate." *J. of Environmental Engineering*, 115, 964-977.
15- Howell, J.M., Coyne, M.S., and Cornelius, P.L. (1996). "Effect of sediment particle size and temperature on fecal bacteria mortality rates and the fecal coliform/fecal Streptococci ratio." *J. of Environmental Quality*, 25, 1216-1220.
16- Mills, S.W., Alabaster, G.P., Mara, D.D., Pearson, H.W., and Thitai, W.N. (1992). "Efficiency of fecal bacterial removal in waste stabilization ponds in Kenya." *Water Science and Technology*, 26 (7-8), 1739-1748.
17- Davis-Colley, R.J. (2005). *Pond disinfection in pond treatment technology*, IWA Pub., London.
18- Curtis, T.P., Mara, D.D., and Silva, S.A. (1992). "Influence of pH, oxygen, and humic substances on ability of sunlight to damage FC in wastes pond water." *Applied and Environmental Microbiology*, 58(4), 1335-1343.
19- Curtis, T.P., Mara, D.D., and Silva, S.A. (1992). "The effect of sunlight on faecal coliforms in ponds: Implications for research and design." *Water Science and Technology*, 26(7-8), 1729-1738.
20- Toosab Consulting Engineers Company. (2009). *Strategies for quality improvement of integrated water resources management (IWRM) in Kashaf-Rood basin*, Khorasan Razavi Regional Water Authority, Mashhad. (In Persian)
21- Toosab Consulting Engineers Company. (2002). *Mashhad water plan*, Technical Archive of Khorasan Razavi Regional Water Authority, Mashhad. (In Persian)
22- Leininger, D. J., Roberson, J. R., and Elvinger, F. (2001). "Use of eosin methylene blue agar to differentiate *Escherichia coli* from other gram-negative mastitis pathogens." *J. of Veterinary Diagnostic Investigation*, 13, 273-275.
23- Iran Meteorological Organization. (2010). *Specialized meteorological statistics*, Statistics of Mashhad's Meteorological Stations, Mashhad. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir