بهینه‌سازی فرآیندی لاگون‌های هوادهی تصفیه فاضلاب خوی در شرایط آب و هوایی سرد

یوسف رحیمی [۱] امیرحسین محوی [۲] علیرضا مصداقی‌نیا [۳]

(دریافت ۸٤/٦/٥ پذیرش ۸۵/٤/۱۹)

چکیده

تصفیه‌خانه فاضلاب خوی در یک منطقه سردسیر در شمال‌غرب ایران اجرا شده است. عملکرد این تصفیه‌خانه از فروردین‌ماه ۱۳۸۱ به مدت ۲٤ ماه به منظور تعیین کارآیی سیستم مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و کارآیی تصفیه‌خانه در فصول مختلف مقایسه و بررسی شد. نتایج حاکی از آن است که راندمان لاگون‌های اختیاری در ماههای گرم سال مطلوب بوده اما در ماههای سرد سال میزان غلظت آلاینده ها از محدوده مجاز استانداردهای تخلیه پساب به آبهای سطحی فراتر می‌رود. به منظور بهینه سازی فرآیند موجود و تعیین آلترناتیوی مناسب جهت ارتقای آن، تغییرات دمای هوا، دبی ورودی و راندمان تصفیه در سه نوع مختلف لاگون هوادهی (اختیاری، هوازی و هوادهی دوگانه) شبیه سازی گردید. بر اساس نتایج حاصله هر دو آلترناتیو لاگون‌های هوادهی هوازی و هوادهی دوگانه قادر به تولید پساب با کیفیت بالاتر نسبت به لاگون‌های اختیاری موجود می باشند. اما با توجه به اینکه لاگون‌های هوادهی دوگانه با کمترین هزینه سرمایه‌گذاری و حداقل تغییر در سیستم موجود قابل اجراست، جهت انطباق پساب خروجی در ماههای سرد سال با استاندارد تخلیه پساب و همچنین افزایش ظرفیت سیستم ، تبدیل سیستم موجود به فرآیند لاگون هوادهی دوگانه با افزایش توان هوادهی در لاگون اول توصیه گردید.

واژه‌های کلیدی: *لاگون‌های هوادهی اختیاری، دما، بهینه سازی، هوادهی دوگانه.*

Process Optimization of Khoy Wastewater Treatment Plant Aerated Lagoons in Cold Climate Conditions

Yousof Rahimi[1], Amir Hosein Mahvi[2], Ali reza Mesdaghinia[3]

(Received Aug. 27,2005 Accepted Jul. 10,2006)

Abstract

The efficiency of Khoy WWTP located in the cold region in northwest of Iran has been studied from April 2002 to April 2004. The efficiency of WWTP in different seasons has been compared. It was found that facultative aerated lagoons efficiency in warm months was favorable but in cold months the level of pollutants was higher than discharge standards. In order to optimize the existing process, a model which takes into account the variability of air temperature and flow-rate at three types of aerated lagoons: facultative, aerobic and dual-powered has been developed to simulate the performance of various alternatives of aerated lagoons. Results show that both aerobic and dual-powered aerated lagoons can produce the effluent with higher quality than facultative aerated lagoons. Since the dual-powered process costs less and is more compatible with the existing lagoons, this process is proposed for upgrading the existing system to enhance its effluent quality and also WWTP's capacity.

Keywords: *Facultative Aerated Lagoons, Temperature, Optimization, Dual- powered.*

۱- عضو هیئت علمی مهندسی بهداشت محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی ارومیه، you. rahimi@gmail.com
۲- دانشیار دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات، مرکز مطالعات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران
۳- استاد دانشکده بهداشت و انستیتو تحقیقات، مرکز مطالعات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران

1- Faculty of Public Health, Orumieh University of Medical Sciences, you. rahimi@gmail.com
2- Associate Professor, School of Public Health, Center for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences
3- Professor, School of Public Health, Center for Environmental Research, Tehran University of Medical Sciences

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

لاگون‌ها به پنج گروه شامل لاگون‌های هوادهی با شدت بالا[1]، لاگون‌های اختیاری، لاگون‌های بی‌هوازی، لاگون‌های تکمیلی و لاگون‌های هوادهی تقسیم‌بندی می‌شوند. بار آلی آنها بسته به نوع لاگون در محدوده ۶۰۰-۲۰۰ lbBOD/acre.day می‌باشد. لاگون‌های هوادهی به سه گروه هوازی، اختیاری و هوادهی دوگانه تقسیم‌بندی می‌شوند [۱].

در کشور ایران لاگون‌های هوادهی به عنوان یکی از رایج‌ترین فرآیندهای تصفیه ثانویه فاضلاب مطرح می‌باشد، که تا تاریخ انجام این تحقیق تصفیه‌خانه‌های زیادی با سیستم لاگون هوادهی در مناطق کوهستانی کشور طراحی، اجرا و تعدادی نیز به بهره‌برداری رسیده‌اند. عملکرد لاگون‌های تصفیه فاضلاب تا حدود زیادی به شرایط آب و هوایی به ویژه دما بستگی دارد. دما عاملی مهم در محیط هوازی لاگون بوده به طوری که تعیین کنندهٔ گونه غالب جلبک‌ها، باکتری‌ها و سایر ارگانیسم‌ها در برکه می‌باشد [۲].

شهر خوی در یک منطقه کوهستانی در شمال غرب ایران واقع شده است. تصفیه‌خانه فاضلاب آن در سه مدول طراحی شده است. مدول اول آن که متشکل از سه عدد لاگون هوادهی اختیاری و یک برکه تکمیلی به صورت سری است با ظرفیت معادل ۷۰،۰۰۰ نفر در سال ۱۳۷۹ به بهره‌برداری رسیده است. به دلیل حساسیت فرآیند نسبت به افت دمای هوا، راندمان تصفیه‌خانه در ماههای سرد سال افت کرده و کیفیت پساب از نظر غلظت BOD_5 و COD از استاندارد تخلیه به آبهای سطحی فراتر می‌رود. از طرفی با توجه به افزایش جمعیت تحت پوشش تصفیه‌خانه، نیاز به افزایش ظرفیت سیستم نیز ضروری است. لذا این تحقیق با هدف بررسی و تعیین گزینه مناسب برای بهینه‌سازی فرآیندی لاگون‌های هوادهی به منظور مقابله با افت کیفیت پساب خروجی به ویژه در ماههای سرد سال و همچنین افزایش ظرفیت تصفیه‌خانه انجام شده است.

[1] High-Rate Ponds

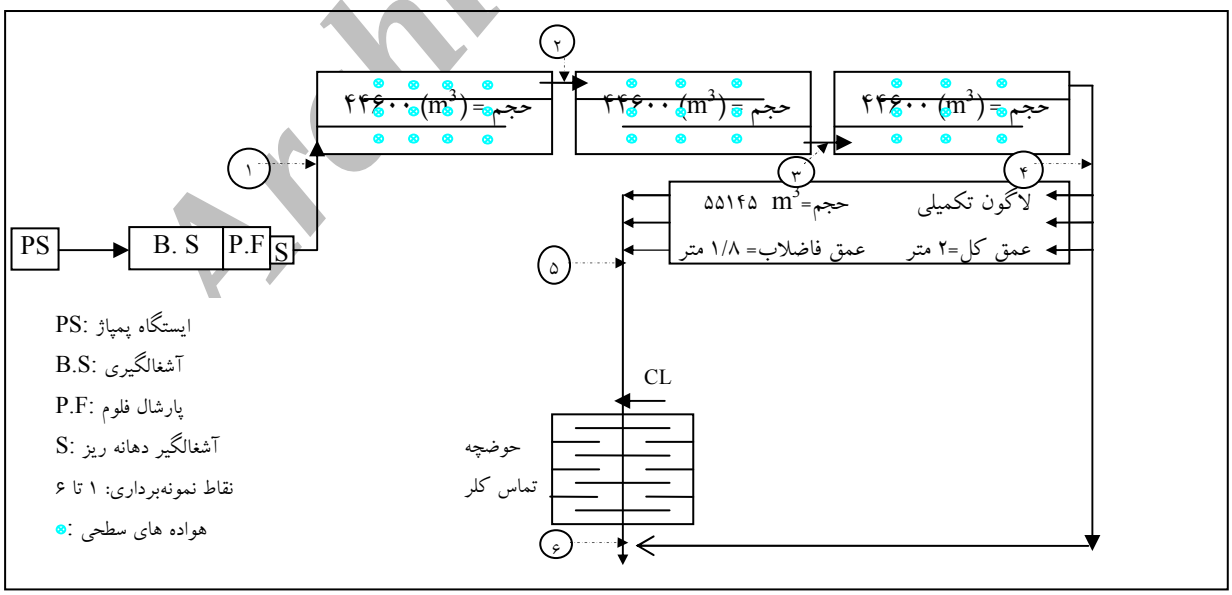
۲- مواد و روشها

این پژوهش یک مطالعه تحلیلی-کاربردی است که به منظور بررسی کارآیی و مدل‌سازی فرآیندهای مختلف لاگون هوادهی برای مناطقی با شرایط آب و هوایی کوهستانی طراحی و انجام شده است. در این مطالعه از تصفیه‌خانه فاضلاب خوی به عنوان پایلوت در مقیاس بزرگ استفاده شده است.

۲-۱- نمونه‌برداری

نمونه‌برداری به دو صورت ساده[2] و مرکب[3] انجام گرفته است که برای سنجش پارامترهایی چون دما، pH و کلر باقیمانده از نمونه‌برداری ساده و برای پارامترهایی چون BOD_5 ، COD و TSS از نمونه‌های مرکب استفاده شده است. محلهای نمونه‌برداری شامل فاضلاب ورودی، خروجی هر یک از لاگون‌ها و حوضچه تماس کلر می‌باشند (شکل ۱).

[2] Grab
[3] Composite



شکل ۱- فلودیاگرام تصفیه‌خانه پایلوت و محلهای نمونه‌برداری

Archive of SID
www.SID.ir

در نمونه‌برداری مرکب به دلیل عدم دسترسی به دستگاه نمونه‌بردار اتوماتیک، ۵ بار در شبانه روز در ساعات ۸، ۱۲، ۱۶، ۲۰ و ۲۴ نمونه‌های لحظه‌ای برداشت شده و بر اساس میزان دبی، نسبت به اختلاط آنها و تهیه نمونه مرکب اقدام گردید.

عملکرد تصفیه‌خانه با توجه به بزرگی سطح و بالا بودن زمان ماند هیدرولیکی، متأثر از تغییرات دمایی بوده که در این تحقیق به بررسی این تغییرات و مدل‌سازی آن برای شرایط لاگون هوازی و دوگانه اقدام شده است. برای این منظور طی یک دوره سه ماهه از اسفند ۱۳۸۲ الی خرداد ۱۳۸۳ نسبت به پایش و نمونه‌برداری از بخشهای مختلف تصفیه خانه(شکل ۱) اقدام گردید. همچنین از داده‌های دو سال بهره‌برداری از تاریخ ۸۱/۱/۱ تا ۸۳/۱/۱ استفاده گردیده است. بر روی نمونه‌های اخذ شده آزمایشهای BOD_5، COD و TC براساس کتاب روشهای استاندارد آزمایشهای آب و فاضلاب انجام گرفت[۳].

۲-۲- مدل‌سازی عملکرد سیستم موجود در صورت تبدیل به لاگون هوازی و لاگون دوگانه

با توجه به اینکه در این پژوهش تأکید بر تأثیر تغییرات دما بر راندمان سیستم تصفیه می‌باشد، لذا با استفاده از فرمول مانسینی و بارنهارت[1] نسبت به شبیه‌سازی دمای داخل راکتور برای دماهای مختلف هوای پیرامون اقدام گردید:

$$T_W = \frac{A.f.Ta + Q.T}{A.f + Q} \qquad (۱)$$

که در آن:

T_w : دمای فاضلاب داخل لاگون، A: مساحت سطح لاگون، f: ضریب تجربی معمولاً برابر ۰/۵، Ta: دمای هوا، Q: دبی ورودی و T: دمای فاضلاب ورودی است.

برای تعیین ضرایب رشد در شرایط دمایی مختلف از رابطه وانت هوف-آرنیوس[2] و برای تعیین راندمان لاگون از مدل تعادل جرم راکتور اختلاط کامل استفاده گردیده است [۴].

$$K_{ct} = K_{c20}\ \theta^{(Tw-20)} \qquad (۲)$$

که در آن :

K_{ct}: ضریب رشد میکروارگانیسم‌ها در دمای t^oC و θ : ضریب تأثیر دما است.

$$S_n = \frac{S_0}{[K_c t / n + 1]^n} \qquad (۳)$$

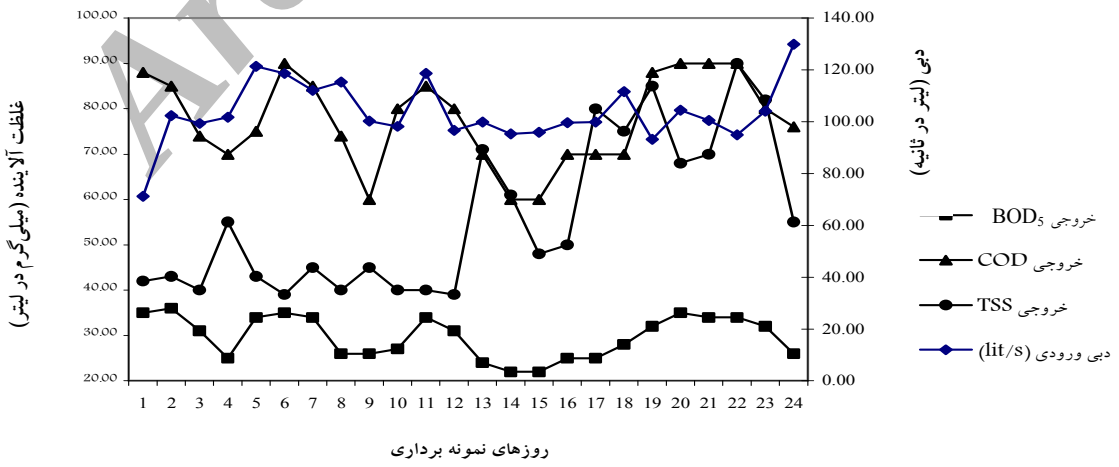
که در آن :

S_n: غلظت سوبسترہ خروجی ، S_0: غلظت سوبسترہ ورودی، n: تعداد لاگون‌ها به صورت سری و t: زمان ماند هیدرولیکی است.

سپس با استفاده از داده‌های حاصل از دورهٔ پایش سه ماهه و داده‌های دوره دو ساله بهره‌برداری، راندمان سیستم لاگون اختیاری در فصول مختلف تعیین گردید و همچنین وضعیت مذکور برای لاگون‌های اختلاط کامل و هوادهی دوگانه شبیه سازی گردید.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ نتایج آزمایشهای انجام شده در طی دوره پایش سه ماهه را نشان می‌دهد. بر این اساس، میانگین غلظت BOD_5 خروجی پایین‌تر از استاندارد و COD و TSS فراتر از استاندارد تخلیه پساب اندازه گیری گردید.



شکل ۲- تغییرات COD، TSS و BOD_5 پساب خروجی با دبی ورودی در طی دوره‌های نمونه‌برداری

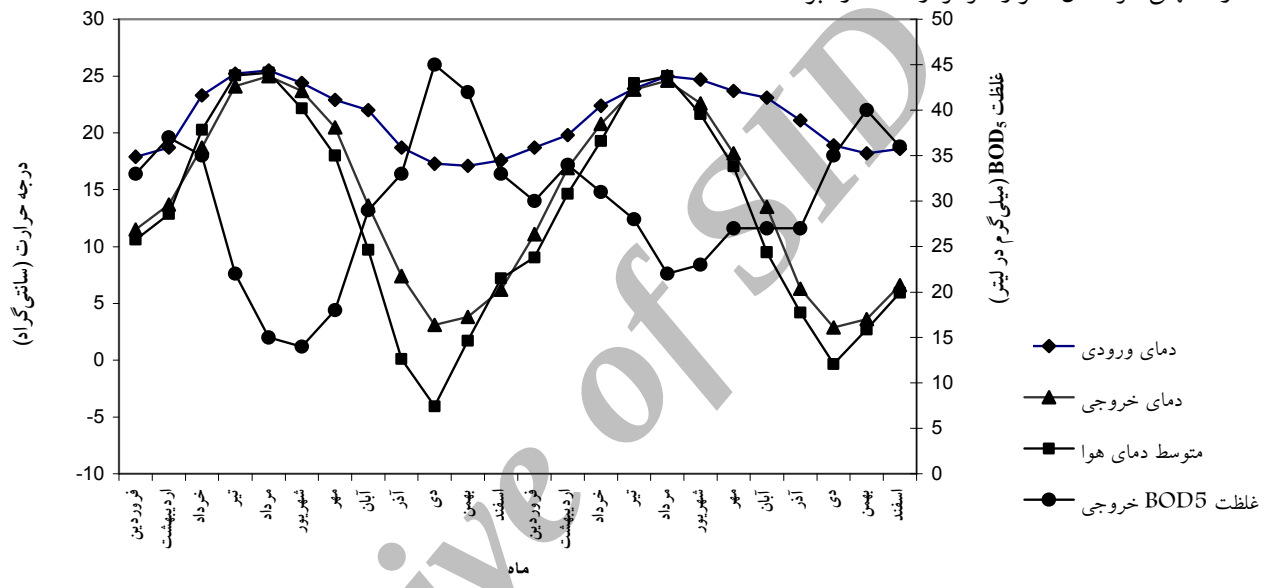
[1] Mancini and Barnhart

[2] Van't Hoff-Arrhenius

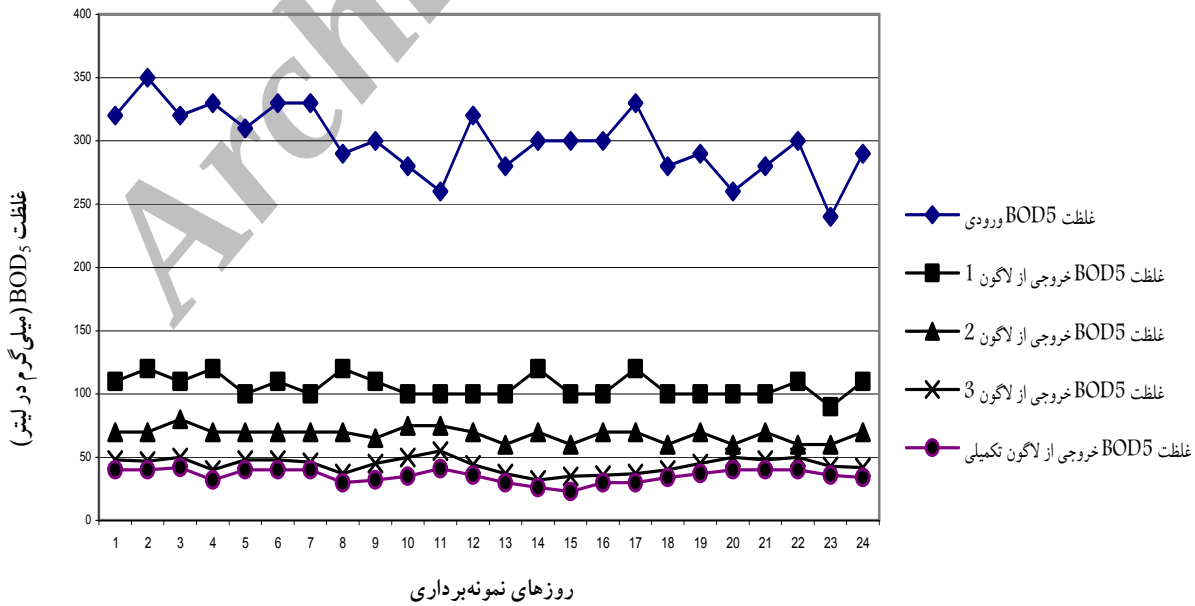
Archive of SID
www.SID.ir

بررسی عملکرد سیستم موجود طی سه ماه پایش و نتایج دو سال بهره‌برداری حاکی از آن است که عملکرد این سیستم تحت تأثیر شرایط آب و هوایی بوده و در ماههای سرد سال راندمان آن کاهش پیدا نموده است. بر این اساس BOD_5 و COD خروجی در فصول گرم به ترتیب برابر ۲۵ و ۵۹ میلی‌گرم در لیتر و در فصول سرد برابر ۳۵ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بین دمای هوا و دمای فاضلاب ورودی رابطه مستقیم و بین دما و غلظت BOD_5 رابطه‌ای معکوس برقرار است. بین دما و غلظت BOD_5 خروجی، رابطه‌ای معکوس برقرار است. همچنان که مشاهده می‌شود غلظت BOD_5 خروجی در ماههای سرد سال همواره فراتر از استاندارد بوده است.

در شکل ۴ غلظت BOD_5 خروجی از واحدهای مختلف تصفیه‌خانه در طی این تحقیق نشان داده شده است که مشاهده می‌شود حتی در طی دوره پایش که در فصل بهار انجام شده، بخش اعظم تصفیه در لاگون شماره یک انجام می‌گیرد که این امر در ماههای سرد سال به شدت تشدید گردیده و راندمان حذف در سایر لاگون‌ها به شدت افت می‌نماید. لذا به منظور حداکثر استفاده از ذخیره دمایی فاضلاب ورودی برای بهینه‌سازی فرآیند در این مطالعه بیشترین تأکید بر افزایش نرخ رشد میکروارگانیسم‌ها در لاگون شماره یک می‌باشد.

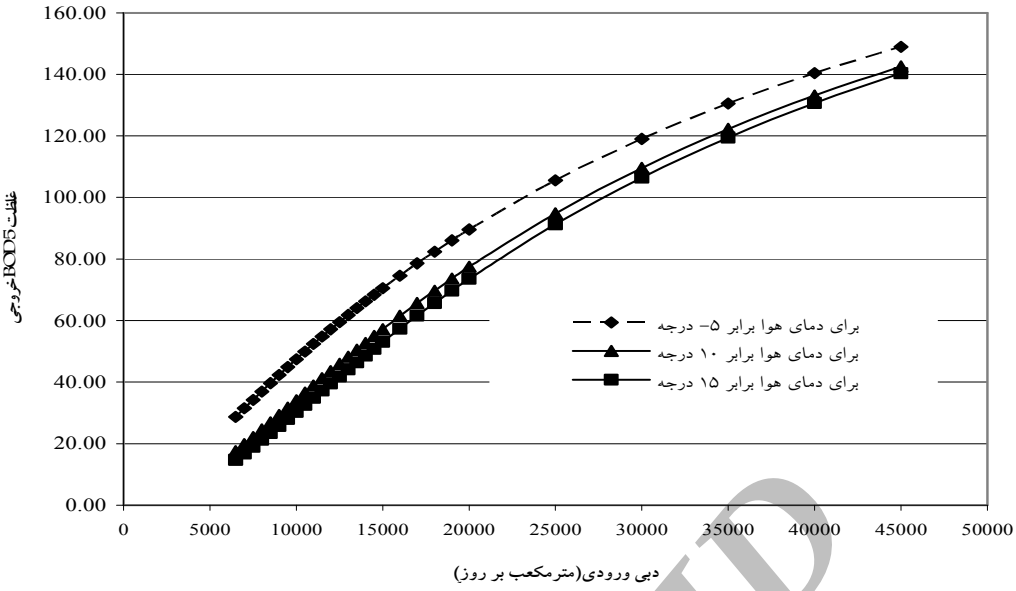


شکل ۳- نمودار رابطه بین تغییرات دمای ورودی و خروجی و دمای هوا با غلظت BOD_5، سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۲



شکل ۴- مقایسه غلظت BOD_5 در بخشهای مختلف تصفیه‌خانه در طی دوره پایش

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۵- نمودار شبیه‌سازی عملکرد سیستم به صورت لاگون‌های اختیاری در شرایط مختلف

۳-۱- شبیه‌سازی سیستم موجود برای دبی‌های مختلف و تعیین بار بهینه برای سیستم اختیاری

نتایج مدل‌سازی سیستم موجود بر اساس غلظت BOD_5 ورودی برابر ۲۷۰ میلی گرم در لیتر و ضریب رشد $K20=0/276\ d^{-1}$ در آن است. دماهای ۵-، ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس حاکی از آن است که راندمان سیستم متأثر از دمای محیط بوده و در صورت راهبری مطلوب در دمای هوای برابر ۱۵°C تا $10,000 m^3/d$ و در دمای ۵°C- قادر است تا $7000\ m^3/d$ فاضلاب را در حد استانداردهای تخلیه به محیط زیست از نظر غلظت BOD_5 پساب خروجی، تصفیه نماید. نتایج این محاسبات در شکل ۵ نمایش داده شده است.

۳-۲- شبیه‌سازی عملکرد سیستم موجود در صورت راهبری با فرآیند هوازی

با تغییر فرآیند از حالت اختیاری به هوازی، غلظت جامدات بیولوژیکی معلق در لاگون‌ها افزایش و در نتیجه ضریب رشد میکروارگانیسم ها بالاتر رفته و در دمای ۲۰°C از $0/276\ d^{-1}$ به $2/5\ d^{-1}$ ارتقا می‌یابد. لذا راندمان سیستم، افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد که ملاحظه می‌گردد در صورت بهره‌برداری بهینه پس از ته‌نشینی پساب نهایی، محدوده استاندارد، تخلیه به رودخانه تأمین گردیده و ظرفیت سیستم افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد؛ اما انرژی مصرفی و هزینه‌های راهبری افزایش می‌یابد. بدیهی است برای تصفیه فاضلابی با دبی و کیفیت یکسان، مصرف انرژی برای سیستم هوازی، کمتر از اختیاری خواهد بود [۵].

۳-۳- شبیه‌سازی عملکرد لاگون‌ها در صورت راهبری به صورت هوادهی دوگانه

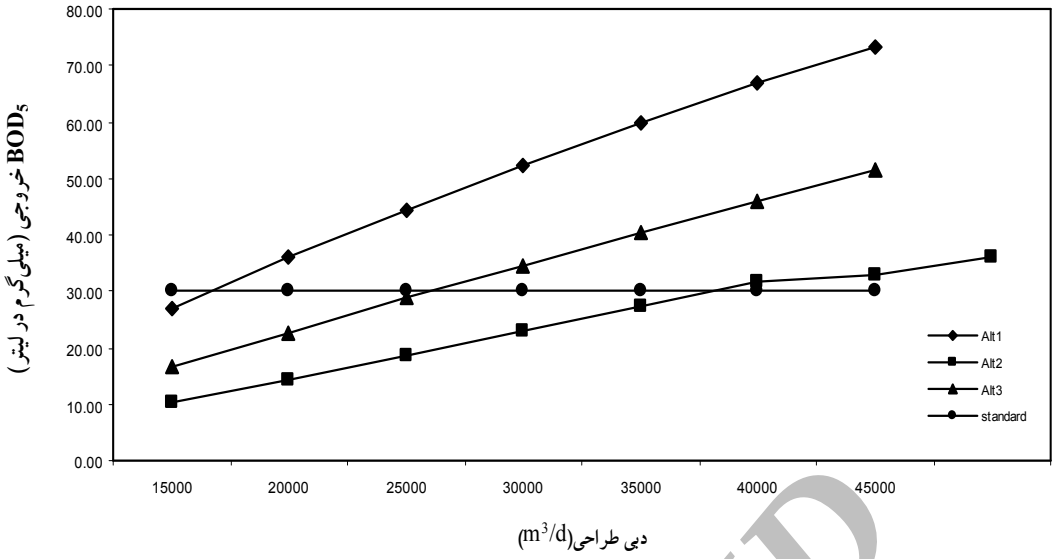
در این حالت سه آلترناتیو برای هوادهی شامل: ۱) لاگون اول و دوم هوازی ولاگون سوم اختیاری، ۲) لاگون اول هوازی و لاگون‌های دوم و سوم اختیاری، ۳) لاگون اول و نصف لاگون دوم هوازی و بقیه اختیاری، در نظر گرفته شده و هر حالت در دماهای ۵-، ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس، مدل‌سازی شده است. در این‌حالت برای بخش هوازی لاگون ضریب رشد $2/5\ d^{-1}$ و برای بخش اختیاری لاگون، ضریب رشد برابر $0/276\ d^{-1}$ منظور گردیده است که نتایج آن در شکل ۶ نمایش داده شده است.

۴- نتیجه گیری

با بررسی رابطه بین غلظت BOD_5 پساب خروجی، دمای هوا و دمای فاضلاب ورودی ملاحظه می‌گردد که راندمان سیستم به شدت متأثر از دمای هوا می‌باشد، که این امر ناشی از زمان ماند هیدرولیکی و سطح بسیار بالای لاگون‌هاست. به طوری که دمای فاضلاب خروجی از لاگون اول به زیر ۱۰ درجه سلسیوس افت می‌کند. لذا بیشترین میزان تصفیه در شرایط آب و هوایی سرد در لاگون اول رخ می‌دهد و راندمان چندانی برای لاگون‌های بعدی متصور نیست (شکل ۴) . لذا هر گونه اقدامی برای بهینه‌سازی فرآیند باید بر حداکثر استفاده از لاگون شماره یک باشد که در این راستا با افزایش غلظت میکروبی و به تبع آن شدت رشد میکروبی، در این لاگون می‌توان راندمان آن را به میزان بالایی افزایش داد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶- نمودار شبیه‌سازی عملکرد لاگون‌ها در سیستم هوادهی دوگانه

در این راستا عملی‌ترین راهکار، ایجاد شرایط اختلاط کامل (هوازی) در لاگون اول می‌باشد. بر این اساس عملکرد سه نوع لاگون هوادهی اختیاری، هوازی و دوگانه بر اساس بدترین شرایط دمایی منطقه که در دی ماه رخ می‌دهد (متوسط حداقل دمای ماهانه برابر ۵- درجه سلسیوس) شبیه‌سازی گردید که هر دو نوع لاگون‌های هوازی و دوگانه قادر به تأمین استانداردهای تخلیه پساب به آبهای سطحی بودند. اما در صورت استفاده از لاگون هوازی نیاز به احداث لاگون‌های ته‌نشینی و همچنین سرمایه‌گذاری نسبتاً زیادی جهت ایجاد شرایط هوازی در کل سیستم می‌باشد. در حالی که در مورد لاگون هوادهی دوگانه، فقط با افزایش توان هوادهی در لاگون اول می‌توان با سرمایه‌گذاری کمتر و حداقل تغییرات در سیستم موجود، به افزایش قابل توجهی در راندمان و ظرفیت سیستم دست یافت به طوری که فقط با تبدیل لاگون شماره یک به هوازی، در بدترین شرایط آب و هوایی فاضلاب تا دبی ۱۶۶۰۰ مترمکعب در روز معادل ۸۳۰۰۰ نفر در حد استاندارد ۱۰۱۱ ایران جهت تخلیه به آبهای سطحی قابل تصفیه است. لذا این آلترناتیو جهت بهینه سازی فرآیند توصیه می‌گردد.

۵- تقدیر و تشکر

محققان از همکاری و مساعدت آقای مهندس اسکندرپور معاون بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب آذربایجان غربی و آقای علی محجوبیان مسئول آزمایشگاه تصفیه‌خانه فاضلاب خوی صمیمانه قدردانی و تشکر می‌نمایند.

۶- مراجع

1- EPA. (1973). *Upgrading lagoons*, US Environmental Protection Agency, Technology Transfer, EPA-625/4-73-007b, 1-5.
2- EPA. (1983). *Municipal wastewater stabilization ponds, desing manual*, US Environmental Protection Agency Office of Research and Development, Cincinnati OH, EPA-625/1-83-015, 16-17, 104-105.
3- APHA, AWWA, WEF. (1992). *Standard methods for the examination of water & wastewater*, 18th Ed., American Public Health, Washington DC.
4- Metcalf & Eddy, Inc. (2003). *Wastewater engineering treatment & reuse*, 4th Ed., McGraw-Hill, New York.
5- Arcievala, S.J. (1998). *Wastewater treatment for pollution control*, 2nd Ed., Tata, McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Dehli.

Archive of SID

www.SID.ir