تعیین راندمان حذف آلکیل بنزن سولفونیک اسید خطی (LAS) در دو سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت (FBAT) و لجن فعال متداول (CAS)

اصغر ابراهیمی[۱] حسین پورمقدس[۲] حسین موحدیان[۲]
محمد مهدی امین[۳] مرضیه وحید دستجردی[۴] الهام حسینی[۵]

(دریافت ۸۸/۱/۳۰ پذیرش ۸۹/۲/۲۰)

چکیده

آلکیل بنزن سولفونیک اسید خطی(LAS) از دسته سورفاکتانت‌های آنیونی است که به‌میزان بسیار زیادی در کشورهای مختلف تولید شده و از طریق شبکه‌های فاضلابرو به محیط‌زیست راه پیدا می‌کند و در منابع آبهای سطحی مانند رودخانه‌ها مشکل ایجاد می‌کند. بـه‌ایـن دلیـل ضروری است که تصفیه‌خانه‌های فاضلاب حداکثر میزان این ترکیبات را از طریق بیولوژیکی حذف نمایند. در این تحقیق به‌منظـور بررسـی راندمان حذف LAS، چهار راکتور بیولوژیکی تصفیه فاضلاب به‌طور موازی به‌روش لجن فعال متداول و تانک هوادهی با بستر ثابت سـاخته شد و در شرایط مشابه فاضلاب خانگی راهبری گردید. پارامترها بر اساس روش اسـتاندارد انـدازه‌گیـری شـد. روشـهای آمـاری T-test و ANOVA برای آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که راندمان حذف LAS، COD و میزان هـوای مـصرفی در تانـک هوادهی با بستر ثابت بیش از سیستم لجن فعال متداول است. در غلظت LAS ورودی برابر ۵ میلی‌گرم در لیتر، راندمان حـذف LAS در دو سیستم مورد مطالعه ۹۶ و ۹۴ درصد به‌دست آمد. پساب خروجی هر دو سیستم بر اساس استاندارد محیط زیست، قابلیت تخلیه به آبهـای سطحی (mg/L ۱/۵>) و آبهای زیر زمینی (mg/L ۰/۵>) را داشتند. سیستم لجن فعال متداول در غلظتهای بالاتر از ۵ میلی‌گرم در لیتـر، راندمان لازم برای کاهش مقدار LAS در پساب خروجی به‌منظور تخلیه به محیط زیست را نداشت در صورتی که تانک هـوادهی بـا بـستر ثابت در غلظتهای بالاتر (۱۲ و ۲۰ میلی‌گرم) با راندمان ۹۷ درصد توانایی لازم برای کاهش مقـدار LAS در پـساب خروجـی را دارا بـود. بنابراین تانک هوادهی با بستر ثابت در شرایطی که غلظت LAS ورودی به سیستم بالاست، توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آلکیل بنزن سولفونیک اسید خطی (LAS)، تانک هوادهی با بستر ثابت (FBAT)، لجن فعال رشد متداول (CAS) ، سورفاکتانت

Determination of the Removal Efficiency of Linear Alkyl Benzene Sulphonate Acids (LAS) in Fixed Bed Aeration Tank and Conventional Activated Sludge

Asghar Ebrahimi [1] *Hossein Poor Moghadas [2]* *Hossein Movahedian[3]*
Mohammad Mehdi Amin[4] *Marziyeh Vahid Dastjerdi[5]* *Elham Hosseini[6]*

(Received Apr. 19, 2009 Accepted May 10, 2010)

Abstract

Linear Alkyl Benzene Sulphonate Acids (LAS) are one of the anionic surfactants that are produced and used in large quantities in different countries and find their way into the natural environment through sewer systems. These compounds may potentially cause environmental hazards in such surface waters as rivers. It is, therefore, necessary to remove as much of these compounds as possible by biological processes in wastewater treatment plants. For this purpose, four parallel biological reactors were constructed that used the conventional activated sludge and aeration tanks with fixed bed on the bench scale in order to evaluate the removal efficiency of LAS. The reactors were operated under conditions similar to domestic wastewater treatment plants. Parameters of

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی یزد (نویسنده مسئول) ۲۲۲۵۶۰۹ (۰۳۱۱)
ebrahimi20007@yahoo.com
۲- استاد، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۳- استادیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۴- کارشناس آزمایشگاه شیمی، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
۵- کارشناس طراح شرکت مهندسین مشاور پارس جویاب، اصفهان

1. Faculty Member of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health, Yazd University of Medical Sciences (Corresponding Author) (+98 311) 2225609 ebrahimi20007@yahoo.com
2. Prof., Center of Environmental Research, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan
3. Assist. Prof., Center of Environmental Research, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan
4. Chemical Lab. Expert, Center of Environmental Research, Isfahan University Medical Sciences, Isfahan
5. Design Expert of Parsjooyab Company Consulting Eng., Isfahan

interest were measured according to standard methods and ANOVA and T-test were used for the statistical analysis of the data. The results showed that aeration tanks with fixed beds yielded higher values of LAS and COD removal and air consumption compared to the conventional activated sludge system. It was shown that the two systems studied achieved LAS removal efficiencies of 96% and 94% for an influent LAS concentration of 5 mg/L. Further, it was found that the effluents from both systems satisfied water quality standards for discharge into surface waters (<1.5 mg/L) and into ground waters (<.5 mg/L). At LAS concentrations higher than 5 mg/Li, the conventional activated sludge system did not have the required efficiency and its effluent did not meet the environmental discharge standards. In contrast, aeration tanks with fixed bed achieved a removal efficiency of 97% at higher concentrations (15 and 20 mg/L) and were capable of reducing the amount of effluent LAS concentration. Therefore the aeration tank system should be recommended for high LAS concentrations in the influent.

Keywords: LinearAlkyl Benzene Sulphonate Acid (LAS), Fixed Bed Aeration Tank (FBAT), Conventional Activated Sludge (CAS), Surfacant.

۱- مقدمه

در دهه‌های اخیر با توسعه دانش و تجربه و ابداع فراورده‌های جدید، استفاده از شوینده‌ها[1] برای مصارف بهداشت فردی و کاربردهای صنعتی گسترش یافته است. این افزایش مصرف به نوبه خود مشکلاتی را در زمینه محیط زیست و آلودگی منابع آبی به‌وجود آورده است. سورفاکتانت[2]ها عمدتاً از طریق مواد زائد آبکی حاصل از لباسشویی‌های خانگی و سایر عملیات شستشو و نیز از طریق فاضلابهای صنعتی به آب و فاضلاب وارد می‌شوند. شوینده‌ها به انواع غیر یونی، آنیونی، کاتیونی و آمفوتری تقسیم می‌شوند که متداول‌ترین آنها انواع آنیونی و غیر یونی است. میزان تقاضای هر یک از این دو رده، بالای یک میلیون تن در سال در جهان است [۱ و ۲]. ماده فعال در سطح یا سورفاکتانت‌ها، ترکیبات سازنده[3]، افزودنی[4]ها و پرکننده[5]ها چهار نوع ماده اصلی شوینده‌ها را تشکیل می‌دهند. سورفاکتانت‌ها در واقع اصلی‌ترین و مهم‌ترین مواد شیمیایی پاک کننده‌ها هستند که تقریباً ۵ تا ۳۰ درصد وزن مواد پاک کننده را تشکیل می‌دهند [۲، ۳ و ۴]. در سال ۱۹۶۰ بیشترین سورفاکتانتی که در مواد پاک کننده وجود داشت، آلکیل بنزن سولفانات شاخه‌ای[6] بود که به‌دلیل مقاومت در برابر تجزیه بیولوژیکی، مشکلات تصفیه فاضلاب را افزایش داد. ولی از سال ۱۹۶۷ به بعد مصرف آن در برخی کشورها متوقف شد و به‌جای آن از آلکیل بنزن سولفونات خطی[7] که در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاومت چندانی ندارد، استفاده شد [۵ و ۶].

آلکیل بنزن سولفونات خطی از دسته سورفاکتانت‌های آنیونی است که در مقادیر زیادی از آن در سطح دنیا تولید شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در میان شوینده‌های سنتتیک، سورفاکتانت‌های LAS بیشترین میزان تولید را داشته‌اند که حدود ۱۸درصد از مجموع کل سورفاکتانت‌ها را شامل می‌شود. تخلیه به سیستم‌های فاضلابرو، مهم‌ترین راه ورود این ترکیبات به محیط زیست است [۷ و ۸]. مشکلات زیست محیطی مواد پاک کننده به دو دسته عمده مشکلات زیست محیطی ناشی از سورفاکتانت‌ها و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از فسفر و مواد سازنده تقسیم می‌شوند. مواد فعال سطحی مثل آلکیل بنزن‌های شاخه‌ای یا خطی در سطح تماس مایع- جامد مانند سدّی در مقابل پخش اکسیژن به‌داخل آب قرار می‌گیرند و سرعت انتقال اکسیژن را کاهش می‌دهند. این مواد در مرحله تصفیه بیولوژیک از طریق کاهش سرعت تنفسی باکتری‌ها و ممانعت در واکنش‌های آنزیمی، سبب کاهش سرعت تجزیه و در نتیجه کاهش سرعت اکسیژن خواهی شیمیایی می‌شوند. بسیاری از سورفاکتانت‌ها قابلیت تجزیه بیولوژیکی نسبتاً پائینی دارند و اغلب سمیّت بالایی دارند. همچنین کف حاصله سبب رانده شدن جامدات معلق از سیستم شده و در نتیجه سرعت تشکیل توده بیولوژیکی را کاهش می‌دهد که این امر باعث ایجاد اختلالاتی در سیستم تصفیه می‌گردد[۹، ۱۰ و ۱۱]. در ضمن کف می‌تواند در اثر وزش باد جابه‌جا شده و باعث انتقال بیماری‌ها شود. مسمومیت و همچنین مرگ و میر نوزاد برخی از ماهی‌ها نتیجهٔ حساسیت آنها به برخی از سورفاکتانت‌ها است. وجود مواد پاک‌کننده در سیستم لجن فعال روی جمعیت بیولوژیکی پروتوزوآها و در نتیجه کیفیت پساب خروجی از این واحد تأثیر می‌گذارد. مقادیر بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر مواد پاک کننده، کاهش قابل توجهی در جمعیت سیلیاته‌ها پدید می‌آورد. ورود فاضلاب حاوی مواد پاک کننده به منابع آبهای سطحی، مشکلات زیست محیطی دیگری مانند بد منظره شدن چشم اندازه‌ها، سواحل و اماکن تفریحی، مسمومیت و پیری زودرس رودخانه‌ها، آلودگی آبهای زیرزمینی و بدبوشدن آب را به‌دنبال خواهد داشت. از دیگر آثار نامطلوب این مواد می‌توان جلوگیری از تشکیل لخته[8] به‌وسیله کلوئیدها و در نتیجه مصرف بیشتر منعقدکننده در تصفیه‌خانه‌های آب و امولسیون‌سازی چربی‌ها و روغن‌ها را نام برد [۱۲].

[1] Detergent
[2] Surfactant
[3] Builder
[4] Additive
[5] Fillers
[6] Alkyl Benzene Sulphonate (ABS)
[7] Linear Alkyl Benzene Sulphonate (LAS)
[8] Floc

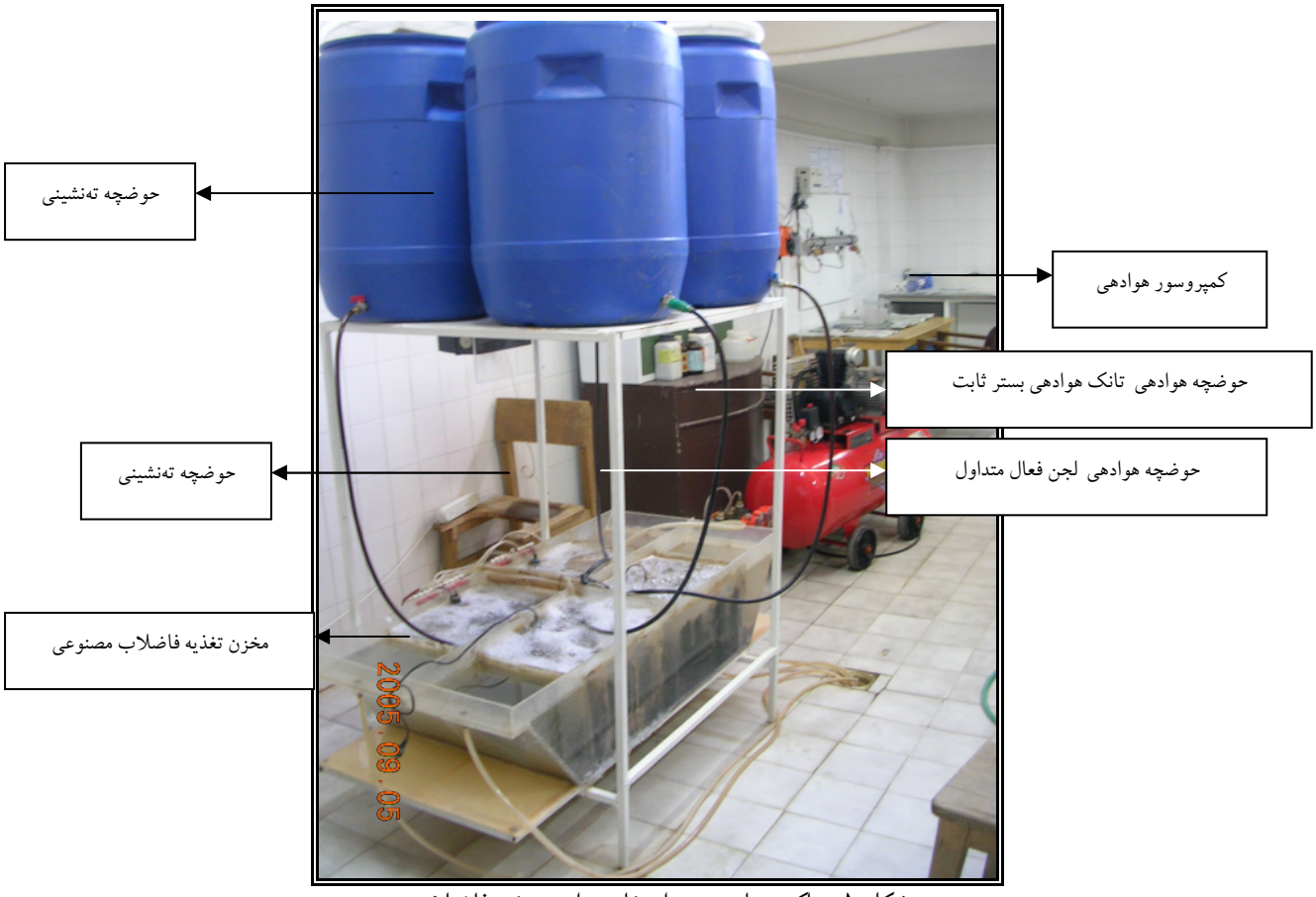
سورفاکتانت‌ها به‌دلیل حضور پلیمرهای خارج سلولی، پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها و DNA، سبب ایجاد مشکل در آبگیری لجن می‌شوند که این امر، محبوس شدن آب و ایجاد ویسکوزیته بالا را در پی خواهند داشت. از اثرات دیگر سورفاکتانت‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توان کاهش میزان قابلیت ته‌نشینی جامدات معلق را نام برد[۱۳].

سمیّت LAS در محیط آبی برای ماهی‌ها برحسب LC_{50} برابر ۳/۵ میلی‌گرم در لیتر است. این ماده در ناحیه کبد و باله‌های آسیب دیده ماهی‌ها تجمع می‌کند[۱۴]. به‌دلیل اثرات نامطلوب آلکیل بنزن سولفونات خطی بر فرایند تصفیه فاضلاب و جمعیت میکربی و همچنین تأثیر این ماده شیمیایی بر کیفیت منابع آب پذیرنده و موجودات زنده آن، حذف این ماده ضروری به نظر می‌رسد. برای حذف این ترکیب می‌توان از روشهای مختلفی نظیر روش بیولوژیکی استفاده نمود. آگاهی از راندمان حذف سیستم‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب شهری برای دستیابی به استانداردهای تخلیه پساب به‌منظور کاهش اثرات زیست محیطی ضرورت دارد. استانداردهای توصیه شده در خصوص میزان عوامل کف‌کننده در آب آشامیدنی بر اساس استانداردها و رهنمودهای بهداشتی آب آشامیدنی ایران در سال ۱۳۸۲ و سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[1] برابر ۰/۵ میلی گرم در لیتر است. مقادیر استاندارد ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست ایران برای تخلیه مواد پاک کننده به آبهای سطحی برابر ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر و برای تخلیه به چاه جاذب و مصارف کشاورزی و آبیاری به‌ترتیب ۰/۵ و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر است [۱۵،۱۶ و ۱۷].

۲- مواد و روشها

در این تحقیق که یک مطالعه تجربی آزمایشگاهی بود، به‌منظور بررسی راندمان حذف LAS مطابق شکل ۱ چهار راکتور بیولوژیکی لجن فعال در مقیاس آزمایشگاهی، دو سیستم به‌روش تانک هوادهی با بستر ثابت[2] و دو سیستم به‌روش لجن فعال متداول[3] ساخته شد (جدول ۱).

[1] US. Environmental Protection Agency (USEPA)
[2] Fixed Bed Aeration Tank (FBAT)
[3] Conventional Activated Sludge (CAS)



شکل ۱- راکتورهای مورد استفاده برای تصفیه فاضلاب

جدول ۱- مشخصات راکتورهای تانک هوادهی با بستر ثابت و لجن فعال متداول

مشخصات	حوض هوادهی (بستر ثابت)	حوض هوادهی (متداول)	حوض ته‌نشینی
طول (متر)	۰/۴	۰/۴	۰/۳
عرض (متر)	۰/۳	۰/۳	۰/۳ در سطح ۰/۱ در کف
ارتفاع (متر)	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
ارتفاع آزاد (متر)	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
حجم (لیتر)	۲۷/۵	۳۰	۱۸
زمان ماند هیدرولیکی (ساعت)	۶	۷	۴
زمان ماند سلولی (l/day)	۵۰	۱۰	-
MLSS	۳۰۰۰	۳۵۰۰	-
MLVSS	۲۴۰۰	۲۵۰۰	-
دبی ورودی (لیتر در روز)	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰
حجم قسمت ثابت (لیتر)	۲/۵	-	-
درصد حجم ثابت به حجم کل (درصد)	۸/۳	-	-
سطح ویژه بستر ثابت (مترمربع به مترمکعب)	۱۵۴	-	-

برای تهیه سوبسترہ مورد نیاز از گلوکز به‌عنوان ماده اصلی، استات آمونیوم به‌عنوان منبع نیتروژن، پتاسیم دی هیدروژن فسفات به‌عنوان منبع فسفر و از ترکیباتی نظیر بیکربنات سدیم، سولفات آهن، سولفات نیکل، کلرور آهن و کبالت و کلسیم و سولفات منیزیم و سدیم برای تأمین عناصر جزئی مورد نیاز، استفاده شد. مشخصات کامل مواد مورد استفاده برای ساخت فاضلاب مصنوعی در جدول ۲ آمده است. پس از ساخت پایلوت و تهیه سوبسترہ مورد نیاز، بذردهی راکتورها در ابتدا با غلظت COD معادل ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر راه اندازی شد. سپس غلظت COD سوبسترہ ورودی به ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر و در نهایت به ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تغییر داده شد.

راکتورها پس از طی مدت زمان ۴ هفته به تعادل رسیدند، یعنی راندمان حذف COD در آنها ثابت گردید. پس از آن به سوبسترہ ورودی، LAS با غلظت به‌ترتیب ۵، ۱۲ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه گردید و با گرفتن نمونه از ورودی و خروجی پایلوت، راندمان حذف LAS تعیین شد. هر دو سیستم

جدول ۲- مشخصات سوبسترہ سنتتیک مورد استفاده (گرم در ۱۰۰ لیتر)

مواد	فرمول شیمیایی	COD (mg/L)		
		۲۵۰	۳۰۰	۵۰۰
گلوکز	$C_6H_{12}O_6$	۳۰	۳۶	۶۰
استات آمونیوم	CH_3COONH_4	۱۸	۱۸	۱۸
بی کربنات سدیم	$NaHCO_3$	۵	۵	۵
سولفات آهن	$FeSO_4.7H_2O$	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
سولفات نیکل	$NiSO_4.7H_2O$	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
کلر و آهن	$FeCl_3.6H_2O$	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
دی سدیم هیدروژن فسفات	$Na_2HPO_4.7H_2O$	۳/۳	۳/۳	۳/۳
پتاسیم هیدروژن فسفات	K_2HPO_4	۲	۲	۲
پتاسیم دی هیدروژن فسفات	KH_2PO_4	۰/۸	۰/۸	۰/۸
سولفات منیزیم	$MgSO_4.7H_2O$	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
کلر و کبالت	$CoCl_2$	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
سولفات سدیم	Na_2SO_4	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
کلر و کلسیم	$CaCl_2$	۰/۱	۰/۱	۰/۱

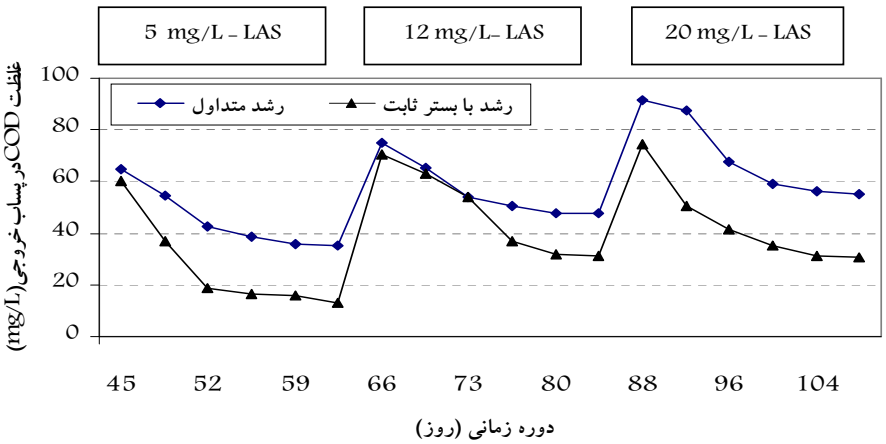
جدول ۳- پارامترهای اندازه‌گیری شده در دو سیستم لجن فعال رشد متداول و تانک هوادهی بستر ثابت در غلظتهای مختلف سورفاکتانت

پارامتر	سیستم رشد متداول				سیستم رشد بستر ثابت			
	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر سورفاکتانت در سوبسترہ ورودی								
غلظت سورفاکتانت درسوبسترہ ورودی (میلی گرم درلیتر)	۱۹/۹۹	۰/۰۲	۱۹/۹۸	۲۰/۰۱	۲۰	۰/۰۲	۱۹/۹۸	۲۰/۰۱
غلظت سورفاکتانت درپساب خروجی (میلی گرم درلیتر)	۱/۴۸	۰/۹۹	۰/۹	۳/۳۴	۰/۵۹	۰/۵۵	۰/۲۴	۱/۷
راندمان حذف سورفاکتانت (درصد)	۹۳	-	۹۷	۸۳	۹۷	-	۹۹	۹۲
اکسیژن خواهی شیمیایی در سوبسترہ ورودی (میلی گرم درلیتر)	۵۵۱/۵۶	۰/۵۳	۵۵۱	۵۵۲	۵۵۱/۰۳	۲/۲۱	۵۴۸/۷	۵۵۲/۹
اکسیژن خواهی شیمیایی درپساب خروجی (میلی گرم درلیتر)	۶۸/۴۹	۱۷/۴۹	۵۵	۹۱/۲	۴۳/۹۶	۱۶/۶۱	۳۰/۹۶	۷۴/۳
راندمان حذف اکسیژن خواهی شیمیایی (درصد)	۸۸	-	۹۱	۸۳	۹۲	-	۹۴	۸۶
pH	-	۰/۱۷	۶/۷	۷/۲	-	۰/۲	۷	۷/۵
دما	۲۰/۹۱	۰/۳	۲۰/۴	۲۱/۳	۲۰/۸	۰/۳۱	۲۰/۲	۲۱/۲
اکسیژن محلول (میلی گرم درلیتر)	۲/۷	۰/۳۱	۱/۹۸	۳/۱	۲/۴۴	۰/۲۸	۱/۹۳	۲/۶
هوای مصرفی (لیتر در دقیقه)	۱۳/۴۳	۰/۵۱	۱۳	۱۴	۱۹/۷	۰/۱	۱۹/۶	۱۹/۸

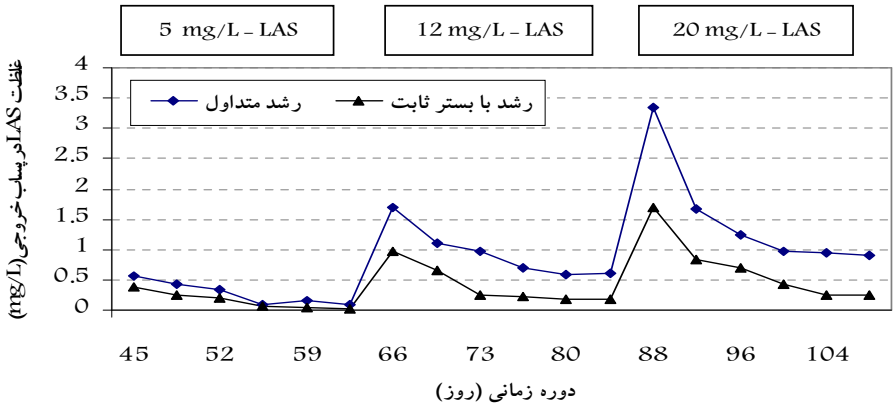
در شرایط اکسیژن محلول در محدوده ۲ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر و زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت راهبری شدند. مقادیر LAS و COD به روش اسپکتروفتومتری، جامدات معلق به‌روش وزن‌سنجی، اندیس حجمی به روش حجم‌سنجی و مقدار پارامترهای اکسیژن محلول و pH به‌وسیله الکترود با دستگاه پرتابل YSI تعیین گردید. روشهای آماری T-test و ANOVA برای آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت [۱۸ و ۱۹].

۳- نتایج و بحث

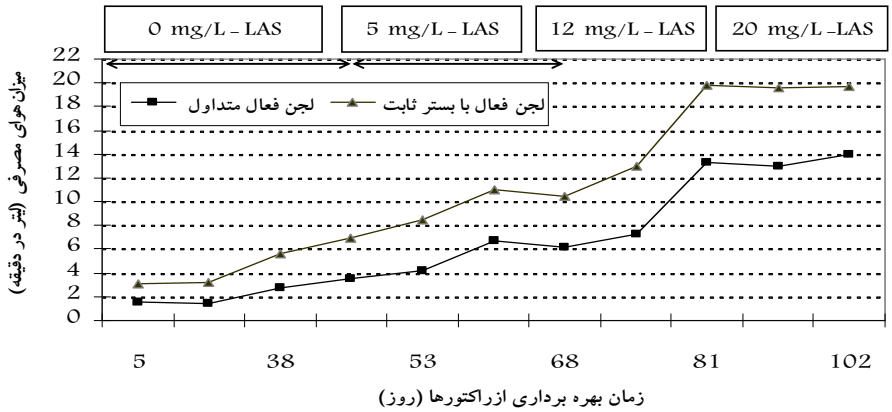
به‌منظور بررسی راندمان حذف سورفاکتانت LAS در دو سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت و لجن فعال متداول، پارامترهای COD، LAS، pH، اکسیژن محلول، دما و میزان هوای مصرفی به‌صورت متناوب مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در جدول ۳ نتیجه اندازه‌گیری‌ها با محاسبه شاخصهای آماری میانگین، انحراف معیار، کمینه و بیشینه داده‌های اندازه‌گیری شده، آورده شده است. در شکلهای ۲ و ۳ غلظت و راندمان حذف COD و سورفاکتانت در پساب خروجی در دوره زمانی بهره‌برداری راکتورها و در شکل ۴ مقدار هوای مورد نیاز راکتور هوادهی در دوره زمانی راه‌اندازی و بهره‌برداری در دو سیستم لجن فعال متداول و تانک هوادهی بستر ثابت به ترتیب درغلظتهای مختلف سورفاکتانت ۵، ۱۲ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر در سوبسترہ ورودی نشان داده شده است.



شکل ۲- تغییرات COD در پساب خروجی طی دوره زمانی بهره‌برداری از راکتورها در دو سیستم لجن فعال متداول و با بستر ثابت



شکل ۳- تغییرات LAS در پساب خروجی طی دوره زمانی بهره‌برداری از راکتورها در دو سیستم لجن فعال متداول و با بستر ثابت



شکل ۴- تغییرات میزان هوای مصرفی در راکتور سیستم لجن فعال با بستر ثابت و متداول

چنانچه در شکل ۲ نشان داده شده است در شرایطی که به‌ترتیب به‌میزان ۵، ۱۲ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر LAS به سوبسترہ ورودی اضافه گردید، راندمان حذف COD در سیستم لجن فعال متداول به ۹۱، ۸۹ و ۸۸ درصد و در سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت به ۹۲، ۹۱ و ۹۲ درصد رسید. آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که گرچه بین راندمان حذف در برخی از غلظتها، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد اما به‌طور کلی بین میانگین راندمان حذف در کلیه غلظتهای ورودی مورد مطالعه بین دو سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت و لجن فعال متداول، تفاوت معنی‌دار است (P=۰/۰۳۹). آزمایش و اندازه‌گیری‌های انجام شده، نشان داد که به ازای هر میلی‌گرم در لیتر سورفاکتانت مورد استفاده، COD معادل ۰/۳±۲/۳ میلی‌گرم درلیتر ایجاد می‌شود. همچنین مشاهده شد، که غلظت سورفاکتانت بر راندمان حذف COD درغلظتهای مورد استفاده اثر چندانی ندارد.

در شکل ۳ راندمان و میانگین غلظت LAS در شرایطی که به‌ترتیب به‌میزان ۱۲،۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر LAS به سوبسترہ ورودی اضافه گردید، ارائه شده است. راندمان حذف LAS در سیستم لجن فعال متداول به ۹۴، ۹۲ و ۹۳ درصد و در سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت به ۹۶، ۹۷ و ۹۷ درصد رسید. آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که گرچه بین راندمان حذف در برخی از غلظتها، اختلاف معنی‌دار نیست، اما به‌طورکلی بین میانگین راندمان حذف در کلیه غلظتهای ورودی مورد مطالعه بین دو سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت و لجن فعال متداول، تفاوت معنی‌داری وجود دارد(P=۰/۰۰۳).

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که در شرایطی که غلظت LAS در سوبسترہ مصنوعی ورودی برابر ۵ میلی‌گرم در لیتر بود، غلظت LAS در پساب خروجی سیستم لجن فعال متداول به ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر و در پساب خروجی سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت به ۰/۱۹ میلی‌گرم در لیتر رسید و پساب خروجی هر دو سیستم بر اساس استاندارد محیط زیست، قابلیت تخلیه به آبهای سطحی (mg/l ۱/۵>) و آبهای زیرزمینی (mg/l ۰/۵>) را دارا بود. در صورتی که غلظت LAS در سوبسترہ ورودی به ۱۲ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یابد، غلظت LAS در پساب خروجی سیستم لجن فعال متداول به‌ترتیب به ۰/۹۵ و ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. به این ترتیب غلظت LAS پساب خروجی در این دو غلظت اولیه، قابلیت تخلیه به چاه جاذب و استفاده در کشاورزی را ندارد و تنها به حد استاندارد تخلیه به آبهای سطحی می‌رسد.

در شرایطی که غلظت LAS در سوبسترہ ورودی به ۱۲ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر افزایش یابد، غلظت LAS در پساب خروجی سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت به‌ترتیب به ۰/۴ و ۰/۶ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. به این ترتیب غلظت LAS در پساب خروجی در غلظت ۱۲ میلی‌گرم در لیتر قابلیت تخلیه به چاه جاذب، آبهای سطحی و استفاده در کشاورزی را دارا است. در صورتی که در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر LAS در سوبسترہ ورودی، میزان LAS خروجی تنها دارای قابلیت تخلیه به آبهای سطحی است.

به‌طور کلی می‌توان گفت که تغییرات غلظت LAS در محدوده مورد تحقیق یعنی بین ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، تأثیر زیادی بر راندمان حذف ندارد. همچنین سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت دارای راندمان حذف نسبتاً بالاتر و پایداری بیشتری نسبت به سیستم لجن فعال متداول است. در این تحقیق راندمان و میانگین غلظت LAS در شرایطی که به‌ترتیب به‌میزان ۱۲،۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر LAS به سوبسترہ ورودی اضافه گردید، ارائه شد. مطابق شکل ۴ مقدار هوای مصرفی راکتورها در خروجی دستگاه کمپرسور هوا در شرایطی که میزان اکسیژن محلول راکتورها در محدوده ۲ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر باشد، اندازه‌گیری شد. میانگین مقدار هوای مصرفی راکتور سیستم لجن فعال متداول درشرایط بدون سورفاکتانت و در غلظتهای ۱۲،۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر LAS به‌ترتیب برابر با ۱/۹، ۳/۵، ۶/۷ و ۱۳/۴ لیتر در دقیقه و در سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت به‌ترتیب برابر با ۳/۹، ۷، ۱۱/۵ و ۱۹ لیتر در دقیقه به‌دست آمد. نتایج حاصله نشان می‌دهند که مقدار هوای مصرفی با دو برابرشدن غلظت سورفاکتانت درفاضلاب ورودی حدود دو برابر افزایش می‌یابد.

نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت دارای راندمان حذف LAS بالاتر از ۹۶ درصد و سیستم لجن فعال متداول دارای راندمان حذف LAS بالاتر از ۹۲ درصد است. همچنین سیستم با بستر ثابت پایداری بیشتری نسبت به سیستم لجن فعال متداول دارد (P=۰/۰۰۳). مطالعات انجام شده توسط شلهک[1] و هانگ[2] در سال ۲۰۰۰ و همچنین ایکرن[3] و نپر[4] در سال ۲۰۰۲ بر راندمان حذف LAS در سیستم لجن فعال نشان داده است که میزان حذف LAS بیش از ۹۵ درصد است و حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد راندمان به‌روش حذف به‌وسیله تجزیه بیولوژیکی انجام می‌شود[۲۰]. تحقیقات محققان آلمانی در مقایسه راندمان حذف آلکیل بنزن سولفونات خطی در دو سیستم لجن فعال و بستر شناور نشان داده است که هر دو سیستم دارای راندمان حذف بیش از ۹۷ درصد این سورفاکتانت هستند و عمل حذف به‌روش بیولوژیکی مهم‌ترین عامل بیان گردیده است[۲۱]. بررسی راندمان حذف مواد پاک‌کننده در تصفیه‌خانه فاضلاب واقع در شهرک قدس تهران نشان می‌دهد که غلظت مواد پاک کننده در فاضلاب خام ورودی به تصفیه‌خانه برابر ۱/۲۳ تا ۵/۲۳ میلی‌گرم در لیتر است و در فاضلاب خروجی به ۰/۰۹۳ تا ۰/۲۶۳ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. در این بررسی راندمان حذف مواد پاک کننده ۹۳ درصد بوده است [۲۲].

با توجه به مطالعه انجام شده و مطالعات دیگر می‌توان به این نتیجه رسید که LAS به‌خوبی در سیستم‌های تصفیه فاضلاب مورد مطالعه حذف می‌گردد زیرا ساختارLAS خطی است و نسبت به سورفاکتانت‌های مورد استفاده در گذشته که دارای ساختار حلقوی بودند، امکان تجزیه بیولوژیکی وجود دارد. سیستم تانک هوادهی با بستر ثابت دارای راندمان حذف COD بالاتری نسبت به سیستم لجن فعال متداول بود (P=۰/۰۳۹) . نتیجه دیگر این است که افزودن LAS به‌دلیل قابلیت تجزیه بیولوژیکی که دارد، باعث افزایش مقدارCOD ورودی می‌شود به‌طوری که به ازای هر میلی‌گرم در لیتر سورفاکتانت مورد استفاده، COD معادل با ۲/۳±۰/۳ میلی‌گرم درلیتر ایجاد می‌شود. مقدار هوای مصرفی با دو برابرشدن غلظت سورفاکتانت درفاضلاب ورودی حدود دو برابر افزایش می‌یابد. میزان اکسیژن اشباع درون راکتور فاضلاب به ضرایب تجربی آلفا و بتا بستگی دارد و پارامترهایی نظیر مقدار سورفاکتانت، دما، جامدات محلول، نوع هواده، شدت اختلاط، ارتفاع حوضچه و شکل هندسی حوضچه بر این ضرایب تأثیر دارند. تغییر در این پارامترها سبب تغییر در هوای مورد نیاز خواهد شد [۱۲]. تحقیقات نشان می‌دهد که غلظت ۰/۱ میلی‌گرم در لیترLAS می‌تواند سرعت انتقال اکسیژن را به نصف کاهش دهد[۲۳].

۴- نتیجه‌گیری

سیستم‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب قادر به حذف درجنت‌های آنیونی بوده و بیشترین راندمان حذف، مربوط به‌روش تصفیه بیولوژیکی در این سیستم‌هاست. در هر دو سیستم تصفیه فاضلاب به‌روش رشد معلق و ثابت، راندمان حذف با توجه به استانداردهای زیست محیطی مطلوب است اما سیستم‌های با رشد ثابت دارای ثبات و راندمان حذف بیشتری هستند. فرهنگ‌سازی در رعایت الگوی مصرف درجنت‌ها توصیه می‌گردد زیرا ورود درجنت به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باعث افزایش بار آلی ورودی، کاهش انتقال اکسیژن و افزایش توان مورد نیاز هواده‌ها خواهد شد.

[1] Schleheck
[2] Huang
[3] Eichhorn
[4] knepper

۵- مراجع

1- Imandel, K. (1996). *Disinfectants and their application in environmental health*, Ayeneh Pub., Tehran. (In Persian)

2- Ebrahimi, A. (2007). "A Study of the removal efficiency of linear Alkyl Benzene Sulphonate (LAS) in fixed bed aeration tank and conventional activated sludge." M.Sc. Thesis, Faculty of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences. (In Perisan)

3- Torben, M. D. (2001). *Environmental and health assessment of substance in household detergents cosmetic detergent products*, Environmental Proj. No.615, Danish EPA, D.K.

4- Eichorn, P., Rodrigues, S.V., Baumann, W., and Knepper, T. P. (2002). "Incomplete degradation of linear alkylbenzen sulfonate surfactant in Brazilian surface waters and pursuit of their polar metabolites in drinking waters." *Sci.Total Envirn*., 284, 123-134.

5- Dabiri, M. (1997). *Environmental Pollution, air, water, soil, sound*, 1st Ed., Ettehad Pub., Tehran. (In Persian)

6- Simco Engineering Group. (2005). *Technical memorandum No. 2: Secondary treatment option initial review*, Class Environmental Assessment Report, Canada.

7- Scott, M. J., and Jones, M. N. (2002). "The biodegradation of surfactant in the environment." *Biochemical Act*., 15(8), 235-251.

8- Paiter, H. A., and Zabel, T. (1989). "The behavior of LAS in sewage treatment." *Tenside Surfactants Detergents*, 26, 108-115.

9- Chunlong, Z. (2007). *Fundamentals of environmental sampling and analysis*, 1st Ed., John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey.

10- Perkowski, J., Jozwiak, W., Kos, L., and Stajszczyk, P. (2006). "Application of fenton reagent in detergent separation in highly concentrated water solutions." *J. of Fibers and Textiles in Eastern Europ*, 14 (5), 59-64.

11- Kowalska, I. (2008). "Surfactant removal from water solutions by means of ultrafiltration and ion exchange." *Desalination*, 221, 351-357.

12- Scott, M. J., and Jones, M. N. (2000). "The biodegradation of surfactant in the environment." *J. of Bochimical* Act., 15 (8), 235-251.

13- Part, D., Ruiz, F., Vasquez, B., and Rodiques Pastor, M. (1997). "Anionic and nonionic surfactant in a wastewater treatment plants with anaerobic digestion a comparative study." *Water Res.*, 31(8), 1925-1930.

14- Ministry of Energy. (2003). *Potable water standard*, Tehran.

15- EPA. (2004). *List of drinking water contaminate and MCLs*, Environmental Protection Agency, USA.

16- Iran Environment Protection Department. (1998). *Environmental requlations and standard*, Iran Environment Protection Dept. Pub., Tehran. (In Persian)

17- APHA. AWWA. WEF. (1995). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 19th Ed., USA.

18- Hach Company. (2000). *Water analysis handbook*, USA.

19- Michael, L., William, E., James, P., and John, E. (1996). "Environmental monitoring for linear alkyl benzene sulfon dialkylteralin sulphonate and their biodegrading intermediates." *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15(3), 233-240.

20- Simcoe Engineering Group. (2004). *Technical memorandum*, No.2-Draft, 161.03.

21- Mahvi, A. H., Alavi Nakhjavan, N., and Naddafi, K. (2004). "A Survey on detergent removal in Qods township wastewater treatment plant based on activated sludge method." *J. of Gonabad University of Medical Sciences*, 10(2), 36-42. (In Persian)