

بررسی ازن‌زنی متناوب در کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی در راکتور ناپیوسته متوالی (SBR)

افشین تکدستان^۱

علی‌اکبر عظیمی^۲

علی‌تربیان^۳

(دریافت ۸۷/۳/۲۵ پذیرش ۸۷/۱/۱۹)

چکیده

اخیراً فرایند ترکیبی ازن‌زنی به‌همراه فرایند هوازی بیولوژیکی همچون لجن فعال به‌عنوان راه حل انتخابی برای کاهش لجن با هدف به حداقل رساندن تولید لجن مازاد بیولوژیکی معرفی شده است. در این تحقیق از دو راکتور ناپیوسته متوالی به حجم ۲۰ لیتر که توسط سیستم کامپیوتری کنترل می‌شود، استفاده شد. پس از ایجاد شرایط پایدار در راکتورها در طول هشت ماه تحقیق، نمونه‌برداری و آزمون پارامترهایی از قبیل COD، MLSS، MLVSS، DO، SVI، SOUR، ازن باقی‌مانده و در نهایت ضریب تولید بیومس (Y) انجام شد. نتایج نشان داد که در زمان ماند سلولی ۱۰ روز ضرایب سینتیکی Y و K_d به ترتیب ۰/۵۸ میلی‌گرم بیومس به میلی‌گرم COD و ۰/۰۵۸ (1/day) محاسبه گردید. در مرحله بعدی تحقیق به‌منظور کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی از غلظت‌های مختلف ازن در راکتور به‌شکل متناوب استفاده گردید. نتایج نشان داد که ازن با غلظت ۲۲ میلی‌گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور قادر است ضریب سینتیکی Y را از ۰/۵۸ به ۰/۲۳ میلی‌گرم بیومس به میلی‌گرم COD کاهش دهد. به‌عبارت دیگر تقریباً لجن مازاد بیولوژیکی ۶۰ درصد کاهش یافت. اما COD محلول به‌مقدار جزئی، در پساب تصفیه شده افزایش یافته و درصد حذف COD از ۹۲ درصد در راکتور شاهد به ۶۲ درصد در راکتور آزمایش رسید. از طرفی میزان SOUR و SVI در این غلظت ازن مصرفی به ترتیب به ۶ mgO₂/h.gvss و ۲۷ میلی‌لیتر بر گرم رسید. در غلظت ازن برابر ۲۷ میلی‌گرم، به ازای هر گرم MLSS در راکتور، هیچ لجن مازادی مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: راکتور ناپیوسته متوالی، لجن بیولوژیکی، اکسیداسیون لجن، ضریب تولید بیومس، ازن.

Intermittent Ozonation to Reduce Excess Biological Sludge in SBR

Afshin Takdastan¹

Aliakbar Azimi²

Ali Torabian³

(Received June, 15, 2008 Accepted Apr. 8, 2009)

Abstract

A combination of ozonation and an aerobic biological process such as the activated sludge has been recently developed as an alternative solution for sludge reduction with the objective of minimizing the excess biological sludge production. In this study, two SBR reactors each with a capacity of 20 liters and controlled by an on-line system are used. Once the steady state conditions were set in the reactors, sampling and testing of such parameters as COD, MLSS, MLVSS, DO, SOUR, SVI, residual ozone, and Y coefficient were performed over the 8 months of research. Results showed that during the solid retention time of 10 days, the kinetic coefficients of Y and K_d were 0.58 mg biomass/mg COD and 0.058 1/day, respectively. In the next stage of the study, different concentrations of ozone in the reactor were intermittently used to reduce the excess biological sludge production. The results showed that 22 mg of ozone per 1 gram of MLSS in the reactor was able to reduce the yield coefficient Y from 0.58 to 0.23 mg Biomass/mg COD. In other words, the excess biological sludge reduced by 60% but the soluble COD increased slightly in the effluent and the removal percentage decreased from 92 in the blank reactor to 76 in the test reactor. While the amount of SVI and SOUR for this level of ozone concentration reached 6 mgO₂/h.gVSS and 27 ml/g, respectively. No excess sludge was observed in the reactor for an ozone concentration of 27 mg per 1 gram of MLSS.

Keywords: Sequencing Batch Reactor, Biological Sludge, Oxidation of Sludge, Yield Coefficient, Ozon.

1. Assist. Prof., Dept. of Environmental Health Engineering, Jondishapoor University of Ahwaz (Corresponding Author) (+98 611) 3738312 afshin_ir@yahoo.com
2. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Azad Islamic University, Ahar Branch
3. Prof., Dept. of Environmental Engineering, Tehran University

- ۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور، اهواز (نویسنده مسئول) ۳۷۳۸۳۱۲ (۰۶۱۱) afshin_ir@yahoo.com
- ۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
- ۳- استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

متخصصان تصفیه فاضلاب، روشهای تصفیه بیولوژیکی هوازی را اصلاح و یا ابداع کنند که لجن کمتری تولید شود. به عبارت دیگر، چنانچه مشکل تولید لجن مازاد از طریق کاهش تولید لجن در فرایندهای بیولوژیکی تصفیه فاضلاب حل شود، مسائل و مشکلات تصفیه و دفع لجن در حد قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد [۷-۹].

با توجه به مشکلات عدیده و هزینه سنگین عملیات و فرایندهای تصفیه لجن، مکانیسم‌های کاهش نرخ تولید لجن مازاد بیولوژیکی در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۷ و ۱۰].

ازن یک اکسیدکننده شیمیایی قوی است که علاوه بر گندزدایی آب و فاضلاب، اکسیداسیون آهن و منگنز، از بین بردن طعم و بو و بهبود انعقاد در کاهش تولید لجن، در تصفیه بیولوژیکی هوازی نیز به کار می‌رود [۵ و ۶]. فرایند کاهش لجن به کمک ازن زنی بر اساس این نظریه است که قسمتی از لجن فعال به دی‌اکسید کربن و آب تبدیل می‌شود، در حالی که قسمتی از لجن به مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی محلول تبدیل می‌شود که به طور بیولوژیکی تصفیه هم می‌شود. سیستم ترکیبی فرایند لجن فعال و ازن زنی متناوب به طور موفقیت آمیزی به انجام رسیده است [۳ و ۱۱-۱۵].

در سیستم ترکیبی لجن فعال و ازن زنی، لجن مازاد گرفته شده از سیستم لجن فعال به طور پیوسته ازن زنی شده و سپس به تانک هوادهی برگردانده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تولید لجن در مقدار ازن ۱۰ میلی‌گرم به ازای هر گرم جامدات معلق مایع مخلوط^۲ در روز (۱۰ mg/g.d) به ۵۰ درصد کاهش پیدا می‌کند، در حالی که اگر در تانک هوادهی مقدار ازن (۲۰ mg/gMLSS.d) باشد، لجن مازادی تولید نمی‌شود [۱۵]. ازن عامل قوی‌ای برای تجزیه سلول‌هاست، زمانی که لجن توسط ازن زنی اکسید می‌شود، فعال‌ترین میکروارگانیسم‌های لجن کشته شده و به مواد آلی اکسید می‌شوند. مدرکی وجود دارد که بیش از ۵۰ درصد کربن به دست آمده، بعد از ازن زنی به آسانی قابل تجزیه بیولوژیکی است [۱۱ و ۱۴].

نتایج در سیستم مقیاس کامل لجن فعال تانک ازن زنی در طی ۱۰ ماه با بار BOD ۵۵۰ کیلوگرم در روز نشان می‌دهد که هیچ لجن مازادی تولید نمی‌شود و تجمع جامدات معدنی در تانک هوادهی ناچیز است، در حالی که کل کربن آلی خروجی نسبت به فرایند لجن فعال متعارف کمی بیشتر است [۱۳]. هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری فرایند لجن فعال و ازن زنی به دلیل انرژی مورد نیاز برای تولید ازن، بالا است ولی اگر هزینه‌های آبیگری لجن و دفع آن مدنظر باشد، هزینه‌های بهره‌برداری کل فرایند را کمتر از فرایند لجن

راکتور ناپیوسته متوالی^۱ (SBR)، یکی از فرایندهای هوازی تصفیه فاضلاب است که به دلیل پایین بودن هزینه و راندمان مطلوب در حذف آلاینده‌ها در سالهای اخیر برای تصفیه فاضلابهای شهری و صنعتی کاربرد فراوانی یافته است. این فرایند دارای پنج مرحله پر شدن، واکنش، ته‌نشینی، تخلیه پساب و لجن مازاد و مرحله سکون است [۱ و ۲].

طی ۲۵ سال اخیر بیش از ۱۳۰۰ واحد SBR در امریکا، کانادا و اروپا به طور موفقیت آمیزی استفاده شده‌اند. تعداد واحدهای SBR در شمال آمریکا به سرعت در حال رشد است. بسیاری از این تأسیسات برای اجتماعات کوچک با فاضلاب تولیدی کمتر از یک میلیون گالن در ساعت، استفاده شده است. البته کیفیت پساب خروجی واحدهای بزرگ‌تر SBR برای فاضلاب بیش از ۲۳۰ میلیون گالن در روز که در دوبلین و ایرلند به کار رفته است، مشابه واحدهای کوچک‌تر می‌باشد [۳]. از SBR برای تصفیه پیشرفته فاضلاب به منظور حذف ازت و فسفر نیز استفاده شده است. یکی از معایب عمده فرایندهای هوازی تصفیه فاضلاب، تولید نسبتاً زیاد لجن مازاد بیولوژیکی است. به طوری که در فرایند لجن فعال به ازای کاهش هر کیلوگرم اکسیژن خواهی بیوشیمیایی پنج روزه در حوض هوادهی، حدود ۰/۴ تا ۰/۸ کیلوگرم بیومس تولید می‌شود. لجن مازاد بیولوژیکی (لجن ثانویه) دارای وزن مخصوص ۱/۰۰۵، با غلظت جامدات کل ۰/۵ تا ۱/۵ درصد است که ۷۰ تا ۹۰ درصد آن را مواد آلی تشکیل می‌دهد [۴]. نرخ تولید لجن ثانویه بستگی به مراحل تجزیه بیولوژیکی به کار گرفته شده و شرایط فرایند از نظر سن لجن، دما و نرخ بار آلی و هیدرولیکی واحد بیولوژیکی دارد. میزان سرانه لجن ثانویه تولیدی سیستم لجن فعال به ازای هر نفر ۱/۵ تا ۲/۵ لیتر در روز برآورد می‌شود [۵ و ۶].

از بین فرآورده‌های جانبی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری، لجن پر حجم‌ترین و مشکل‌ترین جز از نظر تصفیه و دفع می‌باشد. به طوری که در فرایند لجن فعال، تأسیسات تصفیه و دفع لجن به طور معمول ۴۰ تا ۶۰ درصد هزینه ساخت تصفیه‌خانه و تا بیش از ۵۰ درصد هزینه راهبری یک تصفیه‌خانه فاضلاب را به خود اختصاص می‌دهد [۱، ۵ و ۶].

کاهش نرخ تولید لجن بیولوژیکی (بیومس) در فرایند تصفیه فاضلاب از زمانی مطرح شد که مشکلات و هزینه‌های مرتبط با تصفیه و دفع لجن مورد توجه قرار گرفت. از طرفی قوانین و استانداردهای جدید و سخت استفاده مجدد و دفع لجن در مورد آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی و پاتوژن‌ها، سبب شده است که

² Mixed Liquor Suspended Solid (MLSS)

¹ Sequencing Batch Reactor

۶۰ سانتی متر، حجم مفید ۲۰ لیتر و ظرفیت تصفیه ۱۰ لیتر، در هر سیکل استفاده شد. شکل ۱ نمای کلی پیلوت راکتورهای ناپیوسته متوالی و شکل ۲ شماتیک سیستم نمای کلی آن را نشان می‌دهند. برنامه ریزی عملیات سیستم از طریق نرم افزار کنترلر انجام شد. این نرم افزار قادر به کنترل و ثبت کلیه عملیات سیستم می‌باشد. با توجه به نوع و مشخصات فاضلاب خام مورد استفاده، طول دوره‌های کاری برای هر دو راکتور یکسان و به ترتیب زیر انتخاب شد: پر شدن ۳ دقیقه، هوادهی ۴ ساعت، ته‌نشینی، یک ساعت و ۴۵ دقیقه و تخلیه ۱۲ دقیقه. در عمل مدت زمان لازم برای پر شدن کوتاه‌تر و حدود یک دقیقه و ۱۰ ثانیه می‌باشد.

۲-۲- مشخصات فاضلاب مصنوعی

فاضلاب ورودی به پیلوت از طریق اختلاط ۴۰ گرم شیر خشک صنعتی در ۱۰۰ لیتر آب لوله‌کشی تهیه شد. در آزمایش‌های انجام شده، مشخصات کیفی فاضلاب مصنوعی مطابق جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات فاضلاب مصنوعی در راکتورهای SBR

پارامتر	راکتور شاهد	راکتور آزمایش
حجم راکتور (لیتر)	۲۰	۲۰
سن لجن (روز)	۱۰	۱۰
غلظت ازن تزریقی (mgO ₃ /gMLSS)	۰	۰-۲۲
COD ورودی (mg/L)	۶۰۰	۶۰۰
BOD ₅ ورودی (mg/L)	۳۵۰	۳۵۰
(mg/L)TKN	۳۰/۷	۳۰/۷
(mg/L)TP	۱۰/۵	۱۰/۵
(mg/L)NH ₃	۳۰	۳۰
نیترژن آلی (mg/L)	۰/۷	۰/۷

فعال متعارف نشان می‌دهد. فرایند ترکیبی لجن فعال ازن زنی یک تکنولوژی سودمند برای کاهش تولید لجن مازاد است، به علاوه ته‌نشینی لجن را هم بهبود می‌بخشد [۱۲، ۱۳ و ۱۵].

مجموعه اقداماتی که با انجام آن می‌توان نرخ تولید لجن مازاد بیولوژیکی را کاهش داد عبارت‌اند از:

- ۱- فرایند خود تخریبی [۵، ۹ و ۱۶]؛
- ۲- دورریزی انرژی [۱۷ و ۱۸]؛
- ۳- متابولیسم جفت نشده [۱۹ و ۲۰]؛
- ۴- افزایش اکسیژن محلول حوض هوادهی [۲۱]؛
- ۵- اکسیداسیون بخشی از لجن توسط کلر و یا ازن [۱۵، ۲۲ و ۲۳]؛
- ۶- افزایش دما در لجن برگشتی به راکتور [۲۴]؛
- ۷- تغییر pH [۲۳ و ۲۴]؛
- ۸- استفاده از پالس الکتریکی در لجن برگشتی به راکتور [۲۵ و ۲۶]؛
- ۹- استفاده از امواج التراسونیک در لجن برگشتی به راکتور [۲۷-۳۰]؛

۱۰- استفاده از باکتری خوارها نظیر روتیفرها و کرمها [۱۴].

هدف این تحقیق، کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی از طریق کاهش ضریب تولید بیومس در راکتور ناپیوسته متوالی لجن فعال بود. از طرفی قابلیت ته‌نشینی لجن با شاخص SVI ارزیابی گردید. پارامترهای بهره‌برداری تصفیه فاضلاب نظیر COD، BOD₅ و TSS پساب خروجی در مقایسه با راکتور شاهد ارزیابی و کنترل شد.

۲- مواد و روشها

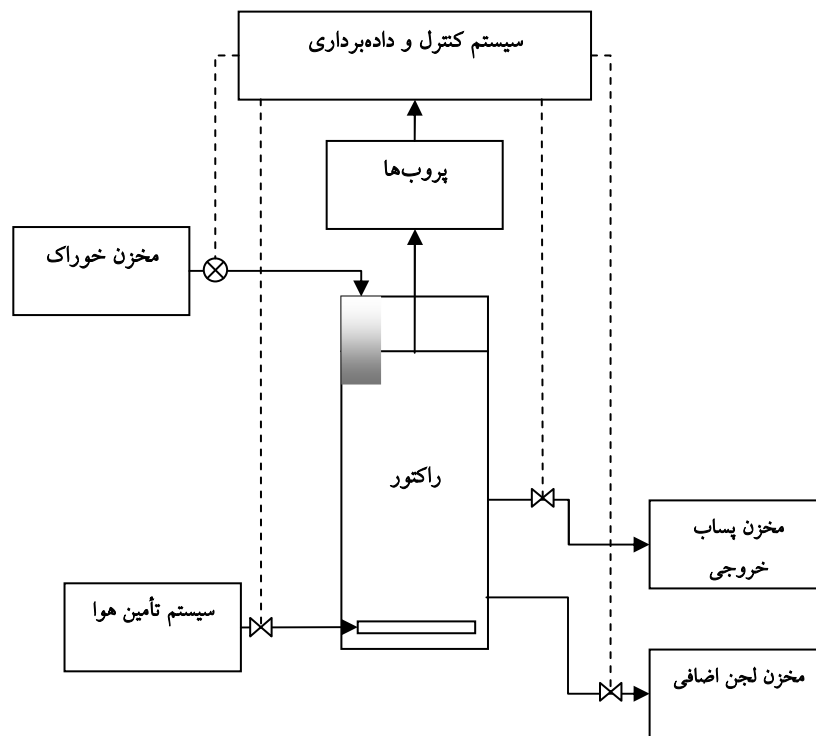
۲-۱- مشخصات پیلوت SBR

برای انجام مطالعه، از دو عدد راکتور ناپیوسته متوالی استوانه‌ای شکل، از جنس پلکسی گلس^۱، با قطر داخلی ۲۵ سانتی متر و ارتفاع

^۱ Plexiglas



شکل ۱- نمای کلی پیلوت راکتورهای ناپیوسته متوالی



شکل ۲- شماتیک سیستم راکتورهای ناپیوسته متوالی

تغییرات غلظت بخش آلی لجن داخل راکتور^۲، SVI، میزان جذب ویژه اکسیژن (SOUR)^۳ و ازن باقی مانده و در نهایت ضریب سنتیکی Y انجام شد. روش نمونه برداری و انجام آزمایشها طبق رهنمودهای مندرج در کتاب استاندارد متد بود [۱۰].

ازن باقی مانده توسط روش ایندیگو^۴ با آمپول مخصوص ازن توسط دستگاه اسپکتروفتومتری DR/2000 طبق روش استاندارد متد اندازه گیری شد [۱۰].

۲-۴- تغییر شرایط

به هنگام تغییر سن لجن و برای تغییر غلظت ازن به منظور کاهش لجن مازاد بیولوژیکی در راکتور آزمایش، برای انطباق سیستم با شرایط جدید، حداقل دو هفته (معادل ۴۲ سیکل SBR) زمان در نظر گرفته شد؛ اندازه گیری پارامترها پس از تثبیت شرایط پایدار، انجام گردید. غلظت مواد معلق در داخل راکتور و COD پساب خروجی به عنوان شاخص تثبیت شرایط در نظر گرفته شد. با تغییر غلظت ازن تزریقی به راکتور برای کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی، شروع به کار سیستم حداقل سه بار سیستم تکرار شد و

۲-۳- نحوه راه اندازی و پایلوت

برای راه اندازی راکتور SBR، از بذر^۱ لجن فعال برگشتی تصفیه خانه فاضلاب اکباتان تهران، به حجم تقریبی ۲ لیتر برای هر یک از راکتورهای پایلوت SBR که دارای حجم ۲۰ لیتر بود، استفاده شد و به راکتور فاضلاب مصنوعی با COD حدود 20 ± 600 اضافه گردید. این بذر هیچ گونه مشکل بهره برداری از قبیل بالکینگ، کف و پدیده نوک سوزنی نداشت.

هوادهی و واکنش به مدت تقریبی دو هفته برای تشکیل لخته یا بیومس صورت گرفت؛ به طوری که فقط واکنش انجام می شد اما مواد غذایی هر روز به مقدار کافی به راکتور اضافه می گردید. پس از این مدت، سیستم پایلوت SBR با ۵ سیکل پر شدن، واکنش، تخلیه پساب، تخلیه لجن و استراحت راه اندازی شد.

پساب خروجی از نظر COD، TSS و pH، پایش و کنترل می شد و نتایج آزمون در هر نوبت با نتایج قبلی مقایسه می گردید. پس از حدود ۲ هفته از راه اندازی SBR، نتایج COD خروجی نزدیک هم بود که نشان دهنده پایان راه اندازی راکتور می باشد.

پس از ایجاد شرایط پایدار در راکتورها در خلال ۸ ماه تحقیق، نمونه برداری و آزمون پارامترهایی از قبیل COD، MLSS،

² Mixed Liquor Volatile Suspended Sold (MLVSS)

³ Specific Oxygen Uptak Rate (SOUR)

⁴ Indigo

¹ Seed

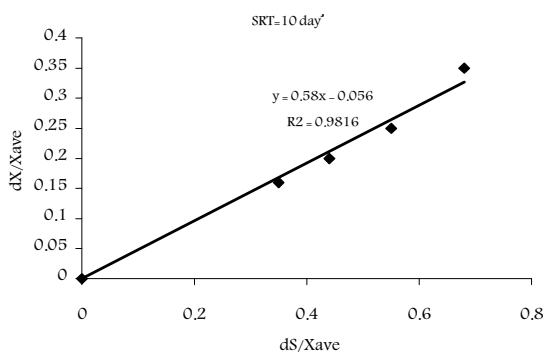
جدول ۲- پارامترهای اندازه‌گیری شده در زمان ماند سلولی ۱۰ روز برای تعیین ضرایب Y و K_d *

COD=۸۰۰		COD=۶۰۰		COD=۴۰۰		COD=۳۰۰		زمان واکنش (ساعت)
MLSS	COD	MLSS	COD	MLSS	COD	MLSS	COD	
۱۲۵۰	۸۰۰	۱۳۵۰	۶۰۰	۱۵۵۰	۴۰۰	۱۴۱۰	۳۰۰	۰
۱۲۳۰	۷۷۰	۱۵۷۰	۴۲۰	۱۵۰۰	۲۰۵	۱۵۵۰	۱۰۲	۰/۵
۱۹۷۰	۵۳۵	۲۰۵۰	۲۹۰	۱۷۱۰	۱۲۳	۱۶۰۰	۸۱	۱
۲۴۵۰	۳۱۳	۲۳۰۰	۱۰۷	۱۶۸۵	۹۳	۱۷۶۰	۵۷	۱/۵
۲۶۳۰	۱۹۸	۲۴۵۰	۹۱	۱۹۰۰	۷۳	۱۸۵۰	۳۵	۲
۲۸۲۰	۱۳۰	۲۶۳۰	۶۹	۲۲۵۰	۴۷	۲۰۰۰	۱۵	۳
۲۷۲۶	۵۴	۲۵۳۲	۴۸	۲۳۸۱	۱۳	۲۲۳۸	۵	۴
۲۱۷۱		۲۱۵۰		۱۸۸۹		۱۷۹۶		\bar{X}
۰/۶۸		۰/۵۵		۰/۴۴		۰/۳۵		dx/\bar{X}
۰/۳۵		۰/۲۵		/۲۰		۰/۱۶		ds/\bar{X}

* تمام واحدها برحسب میلی‌گرم در لیتر است.

مختلف COD استفاده شد، که جدول ۲ نتایج حاصل را در زمان ماند سلولی ۱۰ روز نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در این تحقیق درجه حرارت توسط هیتر قابل تنظیم اکواریوم در حد ۲۰ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد و اکسیژن محلول نیز در حد ۱/۸ تا ۲ میلی‌گرم در لیتر حفظ شد.

مطابق شکل ۳، در زمان ماند سلولی ۱۰ روز $K_d=0.056$ 1/day، $Y=0.58$ mg Biomass/mg COD در این زمان ماند سلولی نسبت F/M برابر ۰/۲۵ بر روز، SVI برابر ۹۰ میلی‌لیتر بر گرم، غلظت جامدات خشک لجن ۱/۲ درصد، راندمان حذف COD حدود ۹۲ درصد و خاصیت ته‌نشینی لجن خوب می‌باشد.



شکل ۳- تعیین ضرایب Y و K_d در زمان ماند سلولی ۱۰ روز
تأثیر میزان ازن تزریقی مختلف بر ضریب تولید بیومس (Y)

۲-۳- تأثیر میزان ازن تزریقی مختلف بر ضریب تولید بیومس همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود در زمان ماند سلولی ۱۰ روز، میزان جرم سلولی تولیدی به ازای هر گرم COD مصرفی (Y)

نتایج در هر بار یادداشت و در نهایت به صورت میانگین گزارش گردید.

۲-۵- تعیین ضرایب سنتتیکی تولید بیومس^۱

برای تعیین ضرایب بیوسنتیکی به ویژه ضریب تولید بیومس (Y)، از تغییرات بیومس تولیدی در واحد زمان نسبت به تغییرات COD مصرفی در واحد زمان استفاده می‌شود. ضریب تولید بیومس مشاهده شده^۲ را با استفاده از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد

$$dX/dt = Y dS/dt \quad (۱)$$

که در آن:

dX/dt میزان افزایش غلظت بیومس یا MLSS (میلی‌گرم بر لیتر) و dS/dt میزان حذف سوبسترا یا COD (میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد.

معادله ساده‌تر آن که نشان دهنده ارتباط بین این سه پارامتر است به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود

$$Y = \frac{X_0 - X}{S_0 - S} \quad (۲)$$

که در آن:

S_0 ، S به ترتیب غلظت سوبسترای نهایی و اولیه (میلی‌گرم در لیتر) و X_0 ، X به ترتیب غلظت بیومس نهایی و اولیه (میلی‌گرم در لیتر) است [۱].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعیین ضرایب سنتتیکی K_d و Y در راکتور شاهد در زمان ماند سلولی ۱۰ روز

برای تعیین ضرایب بیوسنتیکی تولید جرم سلولی (Y) و ضریب خود تخریبی (K_d) در زمان‌های ماند سلولی مختلف از چهار غلظت

^۱ Yield
^۲ Yeild Observation

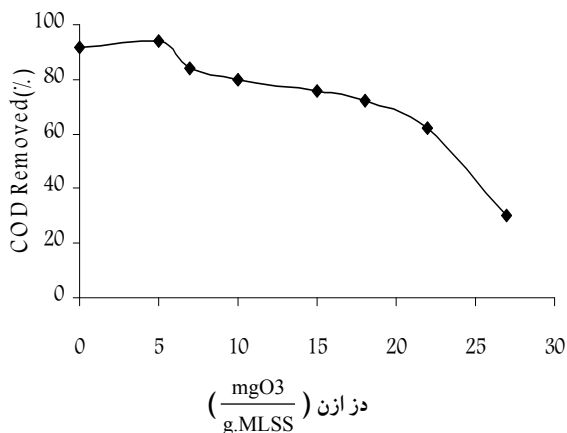
کاهش تولید لجن مازاد به ۱۰۰ درصد رسید. در تمام تحقیقات میزان COD پساب خروجی افزایش یافت. در این مطالعه نیز در میزان ازن تزریقی ۲۷ میلی‌گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور، لجن بیولوژیکی به میزان ۱۰۰ درصد کاهش یافت [۱۳-۱۵].

۳-۳- تأثیر میزان ازن تزریقی مختلف بر درصد کاهش لجن مازاد و راندمان حذف COD
درصد کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی و ازن باقی‌مانده پس از انجام واکنش در غلظت‌های مختلف ازن تزریقی به راکتور مطابق جدول ۳ می‌باشد.

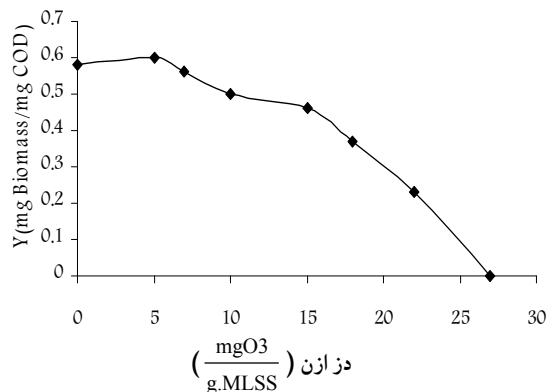
جدول ۳- تأثیر میزان ازن تزریقی با غلظت مختلف بر درصد کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی و ازن باقی‌مانده

غلظت ازن تزریقی در راکتور (mgO ₃ /gMLSS)	ازن باقی‌مانده در پایان واکنش (mg/L)	کاهش لجن (درصد)
۰	۰	-
۵	۰	۳/۳ افزایش
۷	۰	۳/۵
۱۰	۰/۰۱	۱۳/۸
۱۵	۰/۰۵	۲۰/۷
۱۸	۰/۱	۳۶/۲
۲۲	۰/۷	۶۰/۳۵
۲۷	۱/۲	۱۰۰

۳-۴- تأثیر میزان ازن تزریقی مختلف بر راندمان حذف COD
مطابق شکل ۶ با افزایش ازن تزریقی به راکتور راندمان حذف COD پایین آمده و به حدود ۴۲ درصد در میزان ازن تزریقی ۲۲ میلی‌گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور می‌رسد. در نتیجه COD محلول در پساب خروجی بالا می‌رود، که دلیل آن، از بین رفتن قسمتی از میکروارگانیسم‌های تجزیه‌کننده ماده آلی است.

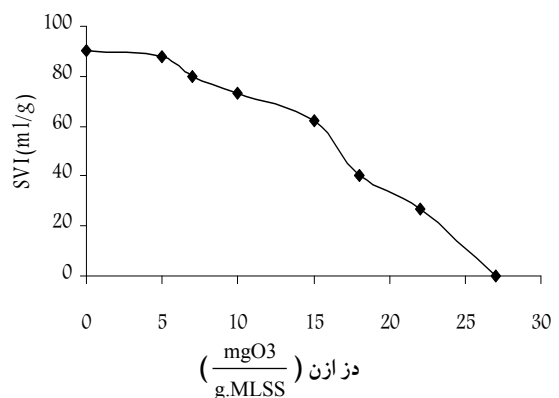


شکل ۶- تأثیر میزان ازن تزریقی بر راندمان حذف COD



شکل ۴- تأثیر میزان ازن تزریقی بر Y

در حالت بدون تزریق ازن به ۰/۵۸ میلی‌گرم بیومس تولیدی به میلی‌گرم COD مصرفی می‌رسد و در صورت افزایش ازن به راکتور، میزان Y، کاهش می‌یابد به طوری که در میزان ازن تزریقی ۲۲ میلی‌گرم به ازای هر گرم MLSS راکتور، میزان ضریب بیوستنتیکی Y به ۰/۲۳ میلی‌گرم بیومس تولیدی به میلی‌گرم COD مصرفی می‌رسد. در نتیجه میزان لجن مازاد بیولوژیکی حدود ۶۰ درصد کاهش می‌یابد.

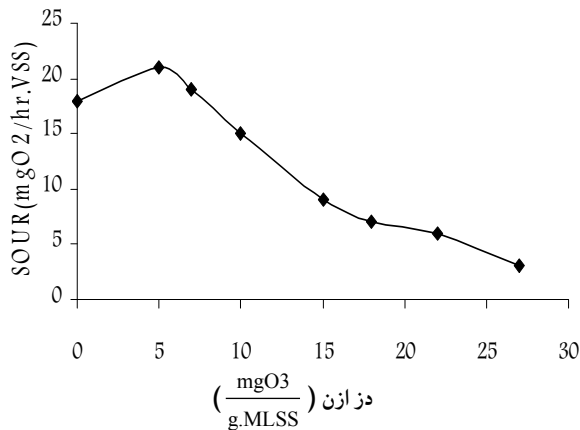


شکل ۵- تأثیر میزان ازن تزریقی بر SVI

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در غلظت ازن ۲۲ میلی‌گرم به ازای هر گرم MLSS در یک لیتر لجن، میزان کاهش لجن بیولوژیکی به ۶۰ درصد رسیده در صورتی که در تحقیق کامیا و همکاران^۱ در سال ۱۹۹۸ میزان کاهش لجن به ۵۰ درصد در میزان دز ۱۰ میلی‌گرم ازن به ازای هر گرم MLSS در کل تانک هوادهی لجن فعال رسیده است. در ازن‌زنی پیوسته به مقدار ۰/۰۲ gO₃/gSS به یک فاضلاب شهری با جریان ۴۵۰ m³/d در مقیاس کامل لجن فعال طبق تحقیق ساکای^۲ در سال ۱۹۹۷، میزان

¹ Kamya et al.

² Sakai



شکل ۷- تأثیر میزان ازن تزریقی بر SOUR

میلی گرم به ازای هر گرم MLSS راکتور، هیچ لجنی تشکیل نمی شود. یاسویی و لو^۲ نیز دریافتند که ازن علاوه بر کاهش تولید لجن مازاد، قادر است قابلیت ته نشینی لجن را بهبود بخشد و میزان SVI را کاهش دهد [۱۳ و ۱۷].

۴- نتیجه گیری

نتایج نشان داد که ازن با غلظت ۲۲ میلی گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور، قادر است ضریب سنتیکی Y را از ۰/۵۸ در حالت بدون تزریق ازن به ۰/۲۳ میلی گرم بیومس به میلی گرم COD کاهش دهد. در نتیجه میزان لجن مازاد بیولوژیکی حدود ۶۰ درصد کاهش می یابد. در میزان ازن تزریقی ۲۷ میلی گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور، راندمان حذف COD به کمتر از ۳۰ درصد رسید.

در استفاده از ازن در کاهش تولید لجن بیولوژیکی، میزان SVI کاهش یافته و از طرفی قابلیت ته نشینی لجن بهبود می یابد. نتایج نشان داد که ازن با غلظت ۲۲ میلی گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور، قادر است میزان SVI را از ۹۰ در حالت بدون تزریق ازن به ۲۷ میلی لیتر بر گرم برساند.

۵- تشکر و قدردانی

به این وسیله از دفتر توسعه منابع آب شرکت آب و فاضلاب کشور به خاطر حمایت مالی این تحقیق و از آزمایشگاه دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران به خاطر آزمایش پارامترها تشکر و قدردانی می گردد.

بنابراین راندمان حذف COD کاهش یافته و از طرفی، قسمتی از بیومس توسط ازن اکسید شده و به صورت محلول در می آید. یاسویی و همکاران^۱ در سال ۱۹۹۶ در یک مطالعه در مقیاس کامل در تصفیه فاضلاب با بار_۵ BOD معادل ۵۵۰ کیلوگرم در روز با تزریق ازن به شکل پیوسته به راکتور لجن فعال با دز ۰/۰۵ گرم به ازای هر گرم جامدات معلق حوض هوادهی، لجن مازاد را ۱۰۰ درصد کاهش دادند، اما میزان TOC در پساب خروجی افزایش یافت [۱۳].

ساکای و همکاران در سال ۱۹۹۷ در یک مطالعه در مقیاس کامل در تصفیه فاضلاب شهری با دبی ۴۵۰ مترمکعب در روز با تزریق ازن به شکل پیوسته به راکتور لجن فعال با دز ۰/۰۲ گرم به ازای هر گرم جامدات معلق حوض هوادهی، لجن مازاد را ۱۰۰ درصد کاهش دادند، اما میزان COD در پساب خروجی بیشتر شد [۱۴].

کامیا و همکاران در سال ۱۹۹۸ در یک مطالعه آزمایشگاهی با فاضلاب مصنوعی با تزریق ازن به شکل متناوب به راکتور با دز ۱۱ میلی گرم به ازای هر گرم جامدات معلق، لجن مازاد را ۵۰ درصد کاهش دادند، اما میزان COD در پساب خروجی به میزان جزیی افزایش یافت [۱۵].

۳-۵- تأثیر میزان ازن تزریقی مختلف بر SOUR

مطابق شکل ۷، با افزودن ازن به دلیل تأثیر ازن بر میکروارگانیسمها تعدادی از میکروبها غیرفعال شده و از بین می روند (مگر تعداد محدودی از میکروارگانیسمهای کپسول دار) و فعالیت میکربی کاهش می یابد، در نتیجه SOUR که میزان تنفس میکربی را نشان می دهد، کاهش می یابد. SOUR کمتر از ۱۲ میلی گرم اکسیژن در ساعت به ازای هر گرم جامدات معلق فرار نشان دهنده حضور مواد سمی و بازدارنده رشد میکربی در راکتور است [۸ و ۹]. نتایج نشان داد که ازن با غلظت ۲۲ میلی گرم به ازای هر گرم MLSS در راکتور، قادر است میزان SOUR را از ۱۸ در حالت بدون تزریق ازن به کمتر از ۶ mgO₂/h.gVSS برساند.

۳-۶- تأثیر میزان ازن تزریقی مختلف بر SVI

مطابق با شکل ۵ با افزایش ازن تزریقی به راکتور، میزان شاخص حجمی لجن به دلیل اکسیداسیون بخشی از بیومس، کاهش می یابد. همان طور که در شکل مشاهده می شود با افزایش ازن تزریقی در حدود بیش از ۲۲ میلی گرم به ازای هر گرم MLSS به راکتور، میزان SVI به حدود ۲۷ میلی لیتر بر گرم می رسد. اما در دز تزریقی ۲۷

² Low

¹ Yasui et al.

- 1- Tchobanglous, G., and Burton, F. (2003). *Wastewater engineering: Treatment, disposal and reuse*, 4th Ed., McGraw Hill, Metcalf and Eddy Inc., New York.
- 2- Wisaam, S., Rekabi, A., and Qiang, W. (2007). "Review on sequencing batch reactors." *Pakistan J. of Nutrition*, 6 (1), 11-19.
- 3- Low, E. W., and Chase, H.A.(1999). "Reducing production of excess biomass during wastewater treatment." *Wat. Res.*, 33(5), 1119-1132.
- 4-Bitton, G. (2002). *Wastewater microbiology*, Willey-Liss, New York.
- ۵- تکدستان، ا.، تراپیان، ع.، عظیمی، ع. (۱۳۸۵). "روشهای کاهش تولید لجن بیولوژیکی در فرایندهای هوای تصفیه فاضلاب." *اولین همایش ملی بهره‌برداری در بخش آب و فاضلاب، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، تهران، ۲۳۴-۲۴۰.*
- ۶- تکدستان، ا.، و تراپیان، ع. (۱۳۸۶). "بررسی کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی در راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) توسط اکسیداسیون بخشی از لجن بوسیله کلر." *دهمین همایش کشوری بهداشت محیط، دانشگاه همدان، ۲۴-۳۰.*
- 7-USEPA. (1999). *Wastewater technology fact sheet sequencing batch reactors*, United States Environmental Protection Agency, 832-F-99-073, USA.
- ۸- تکدستان، ا.، و تراپیان، ع. (۱۳۸۷). "بررسی کاربرد متناوب کلر در کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی در راکتور ناپیوسته متوالی (SBR)." *دومین همایش کشوری مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران، تهران، ۳۷۴-۳۸۰.*
- 9- Canales, A., Pareilleux, A., Rols, J. L., Goma, C., and Huyard, A. (1994). "Decreased sludge production strategy for domestic wastewater treatment." *Wat. Sci. Technol.*, 30(8), 96-106.
- 10-APHA., AWWA., WPCF. (1995). *Standard method for the examination of water & wastewater*, 22th Ed. A.P.H.A.N.W, Washington D.C.
- 11-Liu, Y., and Tay, J. H. (2001). "Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process." *Biotech. Adv.*, 19(2), 97-107.
- 12- Liu, Y.(2003). "Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process." *Chemosphere*, 50, 1-7.
- 13- Yasui, H., Nakamura, K., Sakuma, S., Iwasaki, M., and Sakai, Y. (1996). "A full-sale operation of a novel activated sludge process without excess sludge production." *Water Sci. Technol.*, 34 (3-4), 395-404.
- 14- Sakai, Y., Fukase, T., Yasui, H., and Shibata, M. (1997). "An activated sludge process without excess sludge production." *Water Sci. Technol.*, 36(11), 163-170.
- 15- Kamiya, T., and Hirotsuji, J. (1998). "New combined system of biological process and intermittent ozonation for advanced wastewater treatment." *Water Sci. Technol.*, 38 (8-9), 145-153.
- 16- Yasui, H., and Shibata, M. (1994). "An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process." *Water Sci. Technol.*, 30 (23), 11-20.
- 17-Liu, Y. (2000). "Effect of chemical uncoupler on the observed growth yield in batch culture of activated sludge." *Water Res.*, 3(4), 2025-2030.
- 18-Liu, Y., and Tay, J. H. (2000). "A kinetic model for energy spilling-associated product formation in substrate-sufficient continuous culture." *J. Appl. Microbiol.*, (88), 663-668.
- 19-Low, W. W., Chase, H. A., Milner, M.G., and Curtis, T.P. (2000). "Uncoupling of metabolism to reduce biomass production in the activated sludge process." *Water Res.*, 34, 3204-3212.
- 20- Sabya, S., Djafera, M., and Hao Chenb, G. (2003). "Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production In OSA activated sludge process." *Water Res.*, 37(1), 11-20.
- 21- Wunderlich, R, Barry, J., and Greenwood, D. (1985) "Start up of a High-purity oxygen activated sludge system at the los angeles country sanitation districts." *J. Wat. Poll. Control Fed.*, 57, 1012-1018.
- 22-Saby, S., Djafer, M., and Chen, G. H. (2002) "Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process." *Water Res.*, 36 (3), 656-666.

- 23- Chen, G., and Saby, S. (2003). "New approaches to minimize excess sludge in activated sludge system." *Water Sci. Technol.*, 44 (10), 203-208.
- 24- Rocher, M., Roux, G., Goma, G., Begue, AP., Louvel, L., and Rols, J.L. (2001). "Excess sludge reduction in activated sludge processes by integrating biomass alkaline heat treatment." *Water Sci. Technol.*, 44(2-3), 437-444.
- 25- Lee, U., Topfl, S., and Heinz, V. "Application of pulsed electric fields for the reduction of excess sludge." *J. of Biotechnology and Process Engineering*, 12, 8-13.
- 26- Hoon Yoon, S., SooKim, H., and Lee, S. (2004). "Incorporation of ultrasonic cell disintegration into a membrane bioreactor for zero sludge production." *Process Biochemistry*, 39, 1923-1929.
- 27- Huang X., Liang, P., and Qian, Y. (2007). "Excess sludge reduction induced by Tubifex tubifex in a recycle sludge reactor." *Journal of Biotechnology*, 127, 443-453.
- 28- Liang, P., Huang, X., and Qian, Y. (2006). "Excess sludge reduction in activated sludge process through predation of *Aeolosoma hemperichi*." *Chemistry Engineering Journal*, 28, 117-122.
- 29- Liang, C., Huang, X., Qian, Y., Wei Y., and Ding, g. (2006). "Determination and comparison of sludge reduction rates caused by microfaunas, predation." *Bioresource Technology*, 97, 854-861.
- 30- Abbassi, B., Dullstein, S., and Rabiger, N. (2000). "Minimization of excess sludge production by increase of oxygen concentration in activated sludge flocs: Experimental and theoretical approach." *Water Res.*, 34 (1), 139-146.