

Effect of Oxic-Settling Anoxic Process on Operation Parameters and Biological Excess Sludge Reduction in Sequencing Batch Reactor Activated Sludge

Afshin Takdastan¹,
Ferdos Karimi²,
Naghmeh Orooji³

¹ Associate Professor, Environmental Technologies Research Center, Ahvaz Jundishapur University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

² MSc in Civil Engineering, Ahvaz Water and Wastewater Company, Ahvaz, Iran

³ PhD Student in Environmental Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran

(Received August 13, 2017 ; Accepted December 26, 2017)

Abstract

Background and purpose: One of the solutions for sludge production is to reduce that via decreasing the yield coefficient by oxic-settling anoxic process with different oxidation reduction potential (ORP) in sequencing batch reactor (SBR) activated sludge.

Materials and methods: We used 2 SBR reactors (20 L volume) that were controlled online. At a steady state in reactors, some parameters such as COD, DO, SVI, ORO, dry solids and moisture of sludge were tested during 12 months. Finally, yield coefficient and reduction rate of biological excess sludge were studied.

Results: At 10-day sludge age, the best removal efficiency of COD (95%) was seen without any sludge bulking problems and the kinetic coefficient Y and K_d were $0.58 \left(\frac{g \text{ Biomass}}{g \text{ COD}} \right)$ and $0.058 \left(\frac{1}{d} \right)$, respectively. The anoxic and anaerobic phase of the sludge holding tank showed that sludge storage after 7 hours in the reactor with ORP=-238 decreased the yield coefficient from 0.58 in the control reactor to 0.25g of biomass in g of COD. Consequently, the excess sludge decreased by almost 60%. On the other hand, compared to the control reactor (92 ml/g), the SVI reduced to less than 40 ml/g.

Conclusion: Using holding tanks in aerobic conditions with ORP greater than 230mv could cause appropriate settling and lead to a high efficiency of COD removal from wastewater.

Keywords: SBR reactor, biological excess sludge, yield coefficient, holding tank, ORP

J Mazandaran Univ Med Sci 2018; 28 (162): 128-140 (Persian).

* **Corresponding Author:** Naghmeh Orooji - Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran (Email: n.oroji2007@gmail.com)

بررسی فرایند هوازی، ته نشینی و بیهوازی (OSA) بر پارامترهای راهبری و کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی در رآکتور ناپیوسته متوالی لجن فعال (SBR)

افشین تکدستان^۱فردوس کریمی^۲نغمه عروجی^۳

چکیده

سابقه و هدف: یک ایده مطلوب برای حل مشکل تولید لجن مازاد بیولوژیکی کاهش آن از طریق کاهش ضریب تولید بیومس توسط احداث یک تانک ذخیره سازی با پتانسیل اکسیداسیون و احیاء آنوکسیک و بیهوازی در رآکتور SBR می باشد. **مواد و روش ها:** در این مطالعه از ۲ راکتور SBR به حجم ۲۰ لیتر که توسط سیستم on-line کنترل می شود استفاده شد. پس از ایجاد شرایط پایدار در رآکتورها تورها در طول ۱۲ ماه مطالعه، نمونه برداری و آزمون پارامترهایی از قبیل COD، DO، SVI، ORP، در صد جامدات خشک و رطوبت لجن انجام شد. در نهایت ضریب تولید بیومس و میزان کاهش لجن بیولوژیکی به دست آمد.

یافته ها: نتایج نشان داد که در سن لجن ۱۰ روز بهترین راندمان حذف COD (۹۵ درصد) بدون مشکلات حجیم شدن لجن ایجاد گردید و متوسط ضرایب سینتیکی Y و K_d به ترتیب $\left(\frac{mg\ Biomass}{mg\ COD}\right)$ و $0/58 \left(\frac{1}{day}\right)$ و محاسبه گردید. به منظور اثر فاز آنوکسیک و بی هوازی لجن بر کاهش تولید بیومس نتایج نشان داد نگهداری لجن بعد از مدت ۷ ساعت در رآکتور با $ORP = -238$ ضریب سینتیکی Y را از $0/58$ در راکتور شاهد به $0/25$ گرم بیومس به گرم COD کاهش داد. در نتیجه لجن مازاد بیولوژیکی تقریباً تا ۶۰ درصد کاهش یافت. از طرفی میزان SVI به کم تر از $40\ ml/g$ نسبت به رآکتور شاهد $(92\ ml/g)$ کاهش یافت.

استنتاج: احداث تانک ذخیره سازی در شرایط بی هوازی با پتانسیل اکسیداسیون و احیای بیش از $230\ mv$ علاوه بر قابلیت ته نشینی مناسب منجر به راندمان حذف بالای COD بالا از پساب می شود و میزان لجن بیولوژیکی مازاد به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

واژه های کلیدی: رآکتور SBR، لجن بیولوژیکی مازاد، ضریب تولید بیومس، تانک ذخیره سازی لجن، پتانسیل اکسیداسیون و احیاء

مقدمه

از میان روش های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب کاربرد راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR) (Sequencing Batch Ractor) به دلیل سادگی کار، تسهیلات موجود در بهره برداری، بازدهی بالا و مقاومت

E-mail: n.oroji2007@gmail.com

مؤلف مسئول: نغمه عروجی - اهواز: شرکت آب و فاضلاب، کنترل کیفیت و نظارت بر بهداشت، آزمایشگاه آب اهواز

۱. دانشیار، مرکز تحقیقات فناوری های زیست محیطی، دانشگاه علوم پزشکی جندی شاپور اهواز، اهواز، ایران

۲. کارشناس ارشد مهندسی عمران، شرکت آب و فاضلاب اهواز، اهواز، ایران

۳. دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۲ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۶/۵/۲۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۰/۵

مناسب در برابر شوک مواد سمی در تصفیه فاضلاب به ویژه فاضلاب‌های صنعتی، توجه بیش تری را به خود جلب کرده است (۱-۳). بسیاری از کشورهای صنعتی و نیمه صنعتی تجربه استفاده از رآکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR) جهت تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی را با موفقیت پشت سر گذاشته‌اند و در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است (۴،۵).

سیستم SBR را می‌توان نوعی روش لجن فعال دانست که در آن رآکتور از فاضلاب پر شده و سپس به تدریج در طی یک سیکل زمانی مختلف، پساب تصفیه شده تخلیه می‌گردد. حین تصفیه و مراحل ته نشینی و تخلیه، جریان فاضلاب به یک مخزن SBR دیگر موجود در سیستم هدایت می‌گردد و یا در حالت دیگر مخزن انجام می‌گیرد. بنابراین چنین سیستم‌هایی به حوض ته‌نشینی نهایی و پمپ‌های برگشت لجن فعال نیازی ندارند. معمولاً بهره‌برداری از سیستم‌های SBR تحت پنج مرحله زیر صورت می‌گیرد: پر شدن^۱ رآکتور از فاضلاب (افزودن فاضلاب خام یا پساب خروجی حوض ته‌نشینی اولیه به رآکتور)، وقوع واکنش^۲ در رآکتور (منظور هوادهی)، ته‌نشینی^۳ لجن در رآکتور (زال‌سازی)، تخلیه^۴ و خروج پساب زلال شده از رآکتور، مرحله غیر فعال^۵ که آن را مرحله سکون نیز نامیده‌اند (۶-۸). یکی از معایب عمده فرایندهای هوازی تصفیه فاضلاب از جمله SBR، 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 (۹-۱۰). از بین فرآورده‌های جانبی تصفیه خانه فاضلاب شهری، لجن پر حجم‌ترین و مشکل‌ترین جزء از نظر تصفیه و دفع می‌باشد. به طوری که در فرایند لجن فعال، تاسیسات تصفیه و دفع لجن به‌طور معمول ۴۰-۶۰ درصد هزینه

ساخت تصفیه‌خانه و تا بیش از ۵۰ درصد هزینه راهبری یک تصفیه‌خانه فاضلاب را به خود اختصاص می‌دهد (۱۱،۱۲). 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 (۱۳-۱۵). مجموعه اقداماتی که با انجام آن می‌توان نرخ تولید لجن مازاد بیولوژیکی را کاهش داد عبارتند از: فرایند خودتخریبی (۱۳،۱۴)، متابولیسم جفت نشده با استفاده از فرایند OSA (۱۶،۱۳،۱)، افزایش اکسیژن محلول حوض هوادهی، اکسیداسیون بخشی از لجن توسط کلر و یا ازن (۱۶،۱۷)، افزایش دما در لجن برگشتی به رآکتور (۲۰-۱۸)، دور ریزی انرژی توسط ترکیبات مقاوم به تجزیه و مواد سمی (۲۱،۲۲)، استفاده از پالس الکتریکی در لجن برگشتی به رآکتور (۲۳،۲۴) و استفاده از امواج التراسونیک در لجن برگشتی به رآکتور (۲۵،۲۶) را نام برد. انجام اقداماتی که بتواند بخش بیش تری از انرژی استحصال را به مرحله اول متابولیسم سوخته (کاتابولیسم) توسط باکتری‌های تصفیه‌کننده فاضلاب اختصاص دهد و در نتیجه انرژی کمتری به مرحله آنابولیسم (ساخت مواد سلولی) برسد که حاصل نهایی آن کاهش ضریب تولید بیومس (Y) توسط باکتری‌ها و در نهایت کاهش مقدار تولید لجن مازاد باشد، تحت عنوان متابولیسم جفت نشده (uncoupling metabolism) شناخته شده است (۲۷،۲۸). پتانسیل اکسیداسیون-احیا، معرف توانایی مولکول‌های موجود در فاضلاب یا لجن جهت آزادسازی یا جذب الکترون‌ها (به ترتیب اکسیداسیون-احیا) می‌باشد. این پارامتر، نوع فرآیند تنفسی انجام شده را مشخص می‌نماید (۳۱-۲۹). اصلاح سیستم لجن فعال متداول با قرار دادن یک تانک ذخیره‌سازی (Holding tank) در خط برگشت لجن باعث کاهش لجن مازاد در حدود ۵۰ درصد می‌شود (۱۴). فرایند OSA شامل یک تانک هوادهی، به همراه تانک ته‌نشینی و یک تانک بی‌هوازی است. وقتی که میکروارگانیسم‌ها

1. Fill
2. React
3. Settling
4. Draw
5. Idle

در معرض شرایط بی‌هوازی بدون منبع غذایی قرار می‌گیرند، توانایی تولید انرژی را ندارند و مجبورند از ذخیره ATP به عنوان منبع انرژی استفاده کنند. طی دوره گرسنگی بی‌هوازی، ATP مصرف می‌شود، بعد از این که میکروارگانیسم به رآکتور هوازی غنی از ماده غذایی برمی‌گردد، مجبور است انرژی مورد نیاز خود را قبل از انجام سنتز بیولوژیکی جبران کند، چون سنتز سلولی نمی‌تواند بدون ذخیره کافی ATP انجام شود. در این شرایط مصرف مواد غذایی، صرف فرایند کاتابولیسم به منظور فراهم کردن انرژی مورد نیاز میکروارگانیسم می‌شود. لذا در فرایند (OSA) فعالیت کاتابولیکی را تحریک می‌کند و باعث می‌شود کاتابولیسم از آنابولیسم جدا شود و افزایش انرژی جدا شده (Uncoupling energy) باعث کاهش بازده جرم میکروبی می‌شود. طبق تحقیقات ۱۹۹۱ Chudoba و Chudoba ۱۹۹۲ که تولید لجن را در فرایند (OSA) با فرایند لجن متعارف (CAS) مقایسه کردند به کاهش ۶۵-۲۰ درصد تولید لجن پی بردند که به ترتیب بازده لجن (yield) از میزان ۰/۲۸ تا ۰/۴۸ به ۰/۱۳ تا ۰/۲۹۷ در سیستم OSA کاهش یافت. از طرف دیگر میزان SVI در فرایند (OSA) خیلی کمتر از مقدار بدست آمده در CAS بود. همچنین وقتی که کارایی کاهش اکسیداسیون (ORP) ^۶ در تانک بی‌هوازی در حدود ۲۵۰mv - کنترل شد، لجن اضافی تا ۳۶ درصد در مقایسه با وقتی که این مقدار در حد ۱۰۰mv + بود و ۵۸ درصد در مقایسه با CAS کم تر شده بود. این نتایج نشان دهنده این است که فرایند OSA می‌تواند نتیجه خوبی در تولید لجن اضافی، حذف COD و بهبود ته‌نشینی لجن داشته باشد. دمیر و همکاران در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای تحت عنوان کارایی فرآیند OSA در کاهش لجن بیولوژیکی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که میزان ضریب تولید جرم سلولی در رآکتور OSA پس از ۵۰ روز راهبری از ۰.۵۲ به ۰.۲ گرم بیومس به گرم COD کاهش یافت، از طرفی غلظت MLSS نیز از حدود ۳۰۰۰ به ۲۵۰۰

1. ORP- Oxidation-reduction potential

میلی گرم بر لیتر کاهش یافته و راندمان مناسبی در حذف ازت و فسفر نسبت به رآکتور شاهد داشته است. میزان $ORP = -250$ میلی ولت بوده است (۱۰).

ولهو و همکاران در سال ۲۰۱۶ در برزیل مطالعه‌ای بر روی کاهش لجن مازاد بیولوژیکی در سیستم لجن فعال بر اساس متابولیسم جفت نشده انجام دادند و نتایج نشان داد که قابلیت ته‌نشینی لجن نسبت به رآکتور شاهد بیش تر بوده و میزان SBR درصداً ۲۵ کاهش یافت و میزان لجن مازاد بیولوژیکی پس از ۱۶ ساعت نگهداری در شرایط بی‌هوازی در تانک نگهداری بی‌هوازی ۶۰ درصد نسبت به رآکتور شاهد کاهش یافت، میانگین میزان COD ورودی ۳۹۳ میلی گرم بر لیتر بوده است (۲۱).

نواک و همکاران در سال ۲۰۰۷ از رآکتور SBR جهت حذف مواد مغذی و کاهش لجن استفاده کردند که رآکتور ۴ سیکل در روز کار می‌کرد و احداث سیکل بی‌هوازی- هوازی و آنوکسیک در رآکتور علاوه بر کاهش ۶۳ درصد لجن فاضلاب، مواد مغذی نیز به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به رآکتور شاهد کاهش یافت (۲۲).

ویتانزا و همکاران در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای بروی فرآیند OSA در آزمایشگاه جهت کاهش لجن فاضلاب انجام دادند و نتایج نشان داد که علاوه بر قابلیت مناسب ته‌نشینی و راندمان مناسب حذف COD و BOD و ازت، میزان ضریب تولید جرم سلولی از ۰/۶ با دوبار تکرار آزمون به ۰/۴ و ۰/۳۳ گرم بیومس به گرم COD کاهش یافت. میزان ORP برابر با ۱۶۰- میلی ولت بوده است. میانگین میزان COD فاضلاب ورودی ۳۹۰ بوده است و راندمان حذف COD ۸۲ درصد بوده است (۲۳). Jinefer و همکاران در سال ۲۰۰۸ دریافتند احداث یک تانک ذخیره‌سازی (تانک آنوکسیک) سیستم لجن فعال (سیستم OSA) در مقیاس پایلوت با $COD = 365 \text{ mg/l}$ قادر است میزان ضریب تولید بیومس را از ۰/۵۳ در سیستم شاهد به ۰/۳۸ در سیستم OSA با $ORP = -250 \text{ mv}$ کاهش دهد (۲۵). سمیلاند و همکاران در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای تحت عنوان اثر سن لجن بر کارایی فرآیند OSA و

خاصیت آبگیری و جامدات بیولوژیکی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در زمان ماند سلولی ۲۰ روز نسبت به ۱۰ روز میزان لجن مازاد تولیدی بیش تر کاهش یافته و نسبت MLVSS به MLSS در محدوده ۷۴/۰ تا ۷۰/۰ می باشد و میزان لجن مازاد در سن لجن ۲۰ روز ۲۵ درصد بیش تر از سن لجن ۱۰ روز کاهش یافت و قابلیت ته نشینی لجن هم مناسب تر است (۲۷).

وانگ و همکاران در سال ۲۰۱۶ با اصلاح یک فرآیند لجن فعال به سیستم OSA و استفاده از لجن حوضچه تغلیظ جهت بازگردش لجن به حوض هوادهی در فاضلاب خانگی توانستند میزان لجن مازاد را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهند. به طوری که ضریب تولید جرم سلولی در سن لجن ۱۱۵ روز و $OPR = 170$ به ۲۴/۰ گرم بیومس به گرم COD حذف شده برسد و میزان لجن مازاد تقریباً ۳۵ درصد نسبت به راکتور شاهد کاهش یافت. از طرفی میزان راندمان حذف COD بیش از ۹۰ درصد کاهش پیدا کرد و قابلیت ته نشینی لجن بهبود یافت (۲۸). چون همکاران در سال ۲۰۱۱ در مقیاس آزمایشگاهی راکتور SRB با احداث یک شرایط بی هوازی در راکتور با زمان ماند هیدرولیکی یک روز و سن لجن ۱۰ روز میزان جامدات بیولوژیکی تولیدی نسبت به راکتور شاهد درصد ۴۰ تا ۵۵ درصد کاهش یافت (۳۱). لذا یک ایده مطلوب برای حل مشکل تولید لجن مازاد بیولوژیکی در فرایندهای تصفیه هوازی کاهش آن از طریق کاهش ضریب تولید بیومس توسط احداث یک تانک ذخیره سازی با پتانسیل اکسیداسیون و احیاء آنوکسیک و بی هوازی در فرایند بیولوژیکی تصفیه از جمله راکتور SBR می باشد که به عنوان هدف اصلی این مطالعه است.

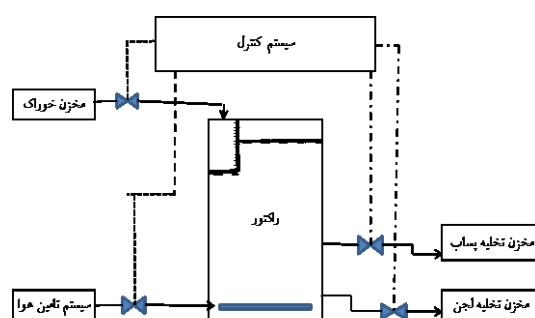
مواد و روش ها

مشخصات پایلوت راکتور SBR

برای انجام مطالعه از دو عدد راکتور ناپیوسته متوالی استوانه ای شکل، از جنس پلکسی گلاس، با قطر داخلی ۲۵ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر، حجم مفید

۲۰ لیتر و ظرفیت تصفیه ۱۰ لیتر در هر سیکل استفاده شد. برای هوادهی راکتور از یک دیفیوزر عمقی از نوع غشایی با اندازه حباب یک تا سه میلی متر مدل ECOFLEX 250CV ساخت شرکت دیفیوزر تک آمریکا به قطر ۲۵۵ میلی متر استفاده شد. برای تامین هوا از یک دستگاه کمپرسور هوای دو پیستونی به ظرفیت ۲۵۰ لیتر استفاده شد.

برای تنظیم و یکنواخت سازی فشار هوا از یک تنظیم کننده فشار هوا استفاده شد. برای نگهداری خوراک، پساب خروجی و لجن اضافی راکتورها به ترتیب از سه مخزن پلاستیکی به ظرفیت ۲۰۰ لیتر، ۶۰ لیتر و ۲۰ لیتر استفاده شد. با توجه به نوع و مشخصات فاضلاب خام مورد استفاده طول دوره های کاری برای هر دو راکتور یکسان و به این ترتیب انتخاب شد. هر ۳۰ دقیقه، هوادهی ۴ ساعت، ته نشینی یک ساعت و ۴۵ دقیقه و تخلیه ۱۲ دقیقه. در عمل مدت زمان لازم برای پر شدن کوتاه تر و حدود یک دقیقه و ۱۰ ثانیه می باشد. تصویر شماره ۱- شماتیک سیستم SBR مورد استفاده را نشان می دهد.



تصویر شماره ۱: شماتیک سیستم SBR

مشخصات فاضلاب مصنوعی

فاضلاب ورودی به پایلوت به روش اختلاط ۴۰ گرم شیر خشک صنعتی در ۱۰۰ لیتر آب لوله کشی تهیه شد که تقریباً مشابه فاضلاب شهری قوی بود. در آزمایشات انجام شده میانگین مشخصات کیفی فاضلاب مصنوعی به شرح زیر می باشد:

تغییر شرایط

به هنگام تغییر سن لجن و تغییر ORP در تانک ذخیره سازی لجن جهت کاهش لجن مازاد بیولوژیکی حداقل دو هفته (معادل ۴۲ سیکل SBR) برای انطباق سیستم با شرایط جدید زمان در نظر گرفته شد. اندازه گیری پارامترها پس از تثبیت شرایط انجام می شد. غلظت مواد معلق در داخل رآکتور و COD پساب خروجی به عنوان شاخص تثبیت شرایط در نظر گرفته شد (۱۲، ۱۰). برای ایجاد شرایط OSA در رآکتور SBR در فاز استراحت قبل از مرحله پر شدن رآکتور با نگهداری لجن ذخیره شده در تانک در مدت زمان ماند مختلف ۱ الی ۸ ساعت برای ایجاد پتانسیل اکسیداسیون احیا (ORP) مختلف در محدوده ۳۰- تا ۲۵۰- برای ایجاد شرایط آنوکسیک و بی هوازی اقدام شد.

یافته ها

تاثیر زمان ماند سلولی مختلف بر درصد حذف COD،

میزان SVI و سایر پارامترها در رآکتور SBR

جدول شماره ۱ تاثیر زمان ماند سلولی بر SVI، درصدوزن خشک لجن و راندمان حذف COD و F/M را نشان می دهد.

همان طور که در جدول شماره ۱ مشاهده می شود در زمان ماند سلولی ۱۰ و ۱۵ روز حداکثر راندمان حذف COD در پساب خروجی حاصل گردید، اما در زمان ماند سلولی ۵ روز به دلیل رشد پراکنده و در زمان ماند سلولی بیش از ۲۰ روز به دلیل رشد میکروارگانیسم های رشته ای و حجیم شدن لجن راندمان حذف COD کاهش یافت. مطابق جدول شماره ۱ SVI کم تر از ۷۰

$COD = 600$ میلی گرم در لیتر، $BOD_5 = 420$

میلی گرم در لیتر، غلظت نیتروژن نیتراتی $= 4/7$ میلی گرم در لیتر بر حسب ازت، غلظت نیتروژن آمونیاکی $= 0/7$ میلی گرم در لیتر، غلظت نیتروژن آلی $= 30$ میلی گرم در لیتر، غلظت نیتروژن کجدا $= 30/7$ میلی گرم در لیتر، غلظت فسفر $= 10/5$ میلی گرم در لیتر.

نحوه راه اندازی و Start up پابلوت

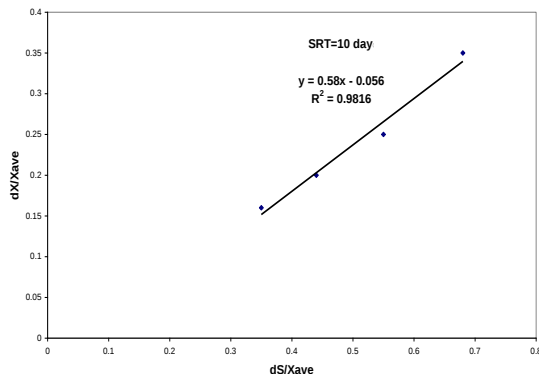
جهت راه اندازی رآکتور SBR ابتدا از بذر (Seed)

لجن فعال برگشتی تصفیه خانه فاضلاب شهری به حجم تقریبی ۲ لیتر برای هر یک از رآکتورهای پابلوت SBR که دارای حجم ۲۰ لیتر بود استفاده شد و به رآکتور فاضلاب مصنوعی با COD حدود 20 ± 600 اضافه گردید. هوادهی و واکنش به مدت تقریبی دوهفته جهت تشکیل لخته یا بیومس صورت گرفت. بعد از دو هفته سیستم پابلوت SBR با ۵ سیکل پر شدن، واکنش، تخلیه پساب، تخلیه لجن و استراحت راه اندازی شد. پساب خروجی از نظر COD، SS و PH پایش و کنترل می شد و نتایج آزمون در هر نوبت با نتایج قبلی مقایسه گردید. پس از حدود ۲ هفته راه اندازی SBR نتایج COD خروجی نزدیک هم بود که نشان دهنده پایان START UP رآکتور می باشد. پس از ایجاد شرایط پایدار در رآکتورها در خلال ۱۲ ماه مطالعه، نمونه برداری و آزمون پارامترهای از قبیل COD، MLSS، جامدات خشک لجن، SVI، F/M و پتانسیل اکسیداسیون و احیاء و در نهایت Y انجام شد. روش نمونه برداری و انجام آزمایشات طبق رهنمودهای مندرج در کتاب (2005) Standard methods for the Examination of water and waste water بوده است (۱۹، ۲۲).

جدول شماره ۱: تاثیر زمان ماند سلولی بر SVI، درصدوزن خشک لجن و راندمان حذف COD و F/M

راندمان حذف COD %	وضعیت ته نشینی لجن	F/M (1/d)	درصد آب لجن درصد	جامدات خشک لجن درصد	درصد وزن	SVI (ml/g)	زمان ماند سلولی(روز)
۸۰	بد (رشد پراکنده و تا حدی کف سفید)	۱/۸	۹۸/۴۴	۱/۵۶	۶۴	۵	
۹۵	خوب	۰/۲۵	۹۸/۸	۱/۲	۹۰	۱۰	
۹۴	تقریباً خوب	۰/۱۷	۹۹/۴	۰/۶	۱۸۰	۱۵	
۹۰	تقریباً بد (بالکینگ)	۰/۰۹	۹۹/۵۳	۰/۴۶	۲۱۵	۲۰	
۸۴	بد (بالکینگ)	۰/۰۵	۹۹/۶۵	۰/۳۵	۲۴۰	۲۵	

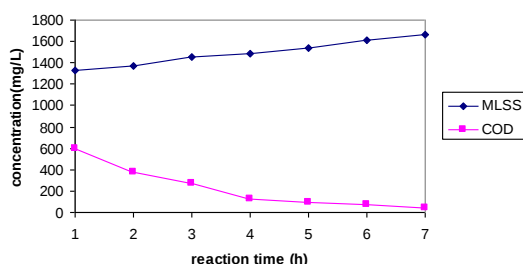
ماند سلولی نسبت F/M برابر ۰/۲۵ بر روز، SVI برابر ۹۰ میلی‌لیتر بر گرم، غلظت جامدات خشک لجن ۱/۲ درصد، راندمان حذف COD حدود ۹۵ درصد و خاصیت ته نشینی لجن خوب بود.



نمودار شماره ۲: تعیین ضریب Y و K_d در زمان ماند سلولی ۱۰ روز

تأثیر تانک ذخیره سازی با ORP متفاوت در تغییرات COD و MLSS راکتور SBR

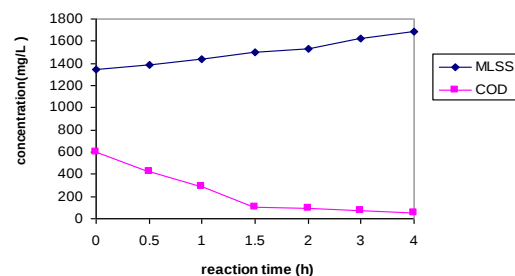
نمودارهای شماره ۳ تا ۱۰ روند تغییرات COD و MLSS با میزان ORP متفاوت به لجن باقیمانده در راکتور SBR را نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش زمان نگهداری لجن راندمان حذف COD کاهش یافته است که دلیل آن اثر متابولیسم مجزا (uncoupling metabolism) می‌باشد. همان‌طور که در نمودار شماره ۹ مشاهده می‌شود در میزان $ORP = -238$ (۷ ساعت نگهداری لجن در شرایط بی‌هوازی) میزان COD از ۶۰۰ به ۳۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد و غلظت MLSS به‌طور جزئی از ۱۳۵۰ به ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر افزایش می‌یابد.



نمودار شماره ۳: روند تغییرات COD و MLSS در نمونه شاهد ($ORP = -30$)

میلی‌لیتر بر گرم نشان دهنده راندمان پایین سیستم به علت رشد پراکنده لخته‌ها ناشی از کم بودن سن لجن می‌باشد، به‌طوری که در سن لجن ۵ روز شاخص حجمی لجن به ۶۴ میلی‌لیتر بر گرم می‌رسد. در سن لجن بالاتر از ۲۰ روز SVI افزایش یافته و به ۲۴۰ میلی‌لیتر بر گرم در سن لجن ۲۵ روز می‌رسد، در نتیجه پدیده حجیم شدن لجن مشهود است. بنابراین بهترین راندمان حذف در زمان ماند سلولی ۱۰ روز حاصل شد و میزان SVI برابر ۹۰ میلی‌لیتر بر گرم بود و ته نشینی لجن به طور مناسب صورت گرفت.

نمودار شماره ۱ میانگین روند تغییرات MLSS، COD در زمان ماند سلولی ۱۰ روز و زمان واکنش ۴ ساعته در راکتور SBR را نشان می‌دهد. ابتدا در زمان ماند سلولی ۱۰ روز راندمان حذف COD و تولید بیومس (MLSS) بررسی گردید یعنی با میزان COD برابر ۶۰۰ راندمان حذف COD و کنترل پارامترهای بهره‌برداری از قبیل SVI در زمان ماند سلولی ۱۰ روز در خلال ۲۴ روز یا ۹۶ سیکل در راکتور SBR بررسی شد که نمودار شماره ۱ میانگین تغییرات MLSS و COD در سیکل‌های ۲ روز آخر را نشان می‌دهد. در زمان ماند سلولی ۱۰ روز با افزایش زمان واکنش غلظت COD کاهش یافته اما غلظت MLSS (زیست توده) افزایش می‌یابد.

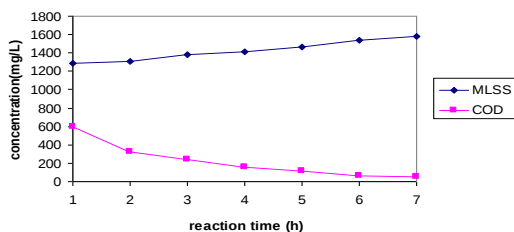


نمودار شماره ۱: میانگین روند تغییرات MLSS، COD در زمان ماند سلولی ۱۰ روز و زمان واکنش ۴ ساعته در راکتور SBR

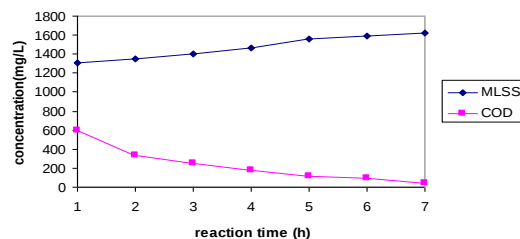
ضرایب سینتیکی K_d ، Y در سن لجن ۱۰ روز

مطابق نمودار شماره ۲ در زمان ماند سلولی ۱۰ روز

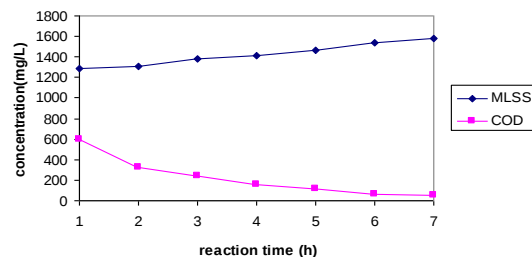
می‌باشد. در این زمان $K_d = 0.056 \frac{1}{day}$ ، $Y = 0.58 \frac{mg \text{ Biomass}}{mg \text{ COD}}$



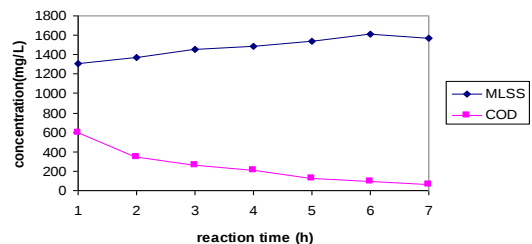
نمودار شماره ۹: روند تغییرات MLSS و COD در هشت ساعت نگهداری لجن (ORP=-246)



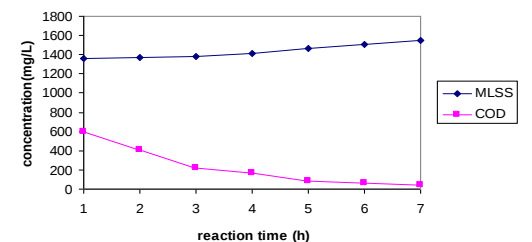
نمودار شماره ۴: روند تغییرات MLSS و COD در یک ساعت نگهداری لجن (ORP=-80)



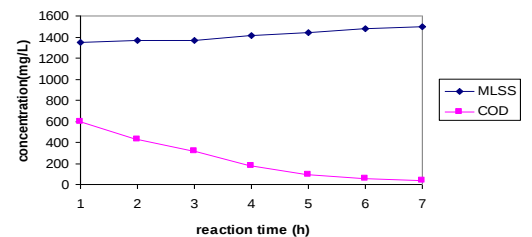
نمودار شماره ۵: روند تغییرات MLSS و COD در دو ساعت نگهداری لجن (ORP=-130)



نمودار شماره ۶: روند تغییرات MLSS و COD در سه ساعت نگهداری لجن (ORP=-160)



نمودار شماره ۷: روند تغییرات MLSS و COD در پنج ساعت نگهداری لجن (ORP=-215)

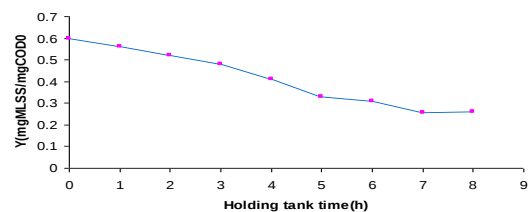


نمودار شماره ۸: روند تغییرات MLSS و COD در هفت ساعت نگهداری لجن (ORP=-238)

تعیین ضریب Y در زمان ماند سلولی ۱۰ روز و میزان ORP متفاوت در راکتور SBR

برای تعیین ضرایب بیوسینتتیک به ویژه ضریب تولید زیست توده (Y) از تغییرات زیست توده تولیدی در واحد زمان نسبت به تغییرات COD مصرفی در واحد زمان استفاده می‌شود. میزان ضریب بیوسینتتیک تولید جرم سلولی (Y) با مدت زمان نگهداری لجن (ORP متفاوت) مطابق جدول شماره ۲ می‌باشد. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود با افزایش زمان نگهداری لجن، میزان ضریب تولید زیست توده کاهش یافته به‌طوری که به ۰/۲۶ گرم زیست توده تولیدی به سوسترای مصرفی در زمان نگهداری ۸ ساعت لجن در شرایط بی‌هوایی ($ORP=-246$) می‌رسد (نمودار شماره ۱۰). موقعی که لجن برای مدت طولانی در تانک ذخیره‌سازی تحت شرایط آنوکسک و یا بی‌هوایی قرار می‌گیرد با کمبود مواد غذایی مواجه شده لذا برای بقاء از انرژی ATP ذخیره شده در سیتوپلاسم استفاده می‌کند و هنگامی که مواد غذایی تازه در اول فاز (SBR پر شدن) به راکتور اضافه می‌شود میکروارگانیسم‌های موجود قبل از سنتز سلولی، اقدام به ذخیره‌سازی انرژی از دست داده شده از طریق اکسیداسیون مواد آلی می‌کنند. چون سنتز سلولی جدید بدون داشتن مقدار انرژی کافی به شکل ATP میسر نمی‌باشد، در نتیجه میزان لجن مازاد بیولوژیکی از طرق کاهش ضریب تولید بیومس کاهش می‌یابد. نمودار شماره ۱۱ تغییرات SVI را در زمان نگهداری مختلف لجن در تانک ذخیره‌سازی (ORP مختلف) نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با

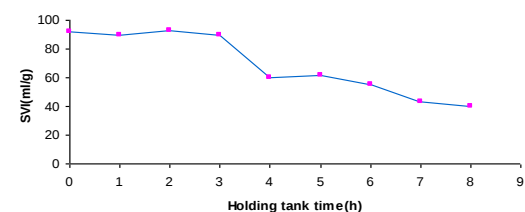
افزایش نگهداری لجن میزان SVI کاهش می‌یابد، به طوری که از ۹۲ در شاهد به ۴۰ میلی‌لیتر بر گرم در زمان ۸ ساعت نگهداری لجن ($ORP = 246$) می‌رسد و قابلیت ته‌نشینی لجن بهبود می‌یابد که علت آن آزاد شدن پلیمرهای داخل سلولی تحت شرایط آنوکسیک و بیهوازی است که به پل زنی بین لخته‌های زیست توده جهت بهبود خاصیت ته‌نشینی کمک می‌کند.



نمودار شماره ۱۰: میزان ضریب تولید جرم سلولی (Y) در ORP متفاوت در راکتور SBR

جدول شماره ۲: تاثیر زمان نگهداری لجن بر Y ، SVI و ORP در راکتور SBR

زمان نگهداری لجن در تانک ذخیره سازی (ساعت)	ORP (mv)	(mgBiomass) Y mg COD	درصد کاهش لجن بیولوژیکی (درصد)	SVI (ml/gr)
۰	-۳۰	۰/۶	-	۹۲
۱	-۸۰	۰/۵۶	۶/۷	۹۰
۲	-۱۳۰	۰/۵۲	۱۳/۴	۹۳
۳	-۱۶۰	۰/۴۸	۲۰	۹۰
۴	-۱۹۰	۰/۴۱	۳۱/۷	۶۰
۵	-۲۱۰	۰/۳۳	۴۵	۶۲
۶	-۲۳۰	۰/۳۱	۴۸/۳	۵۵
۷	-۲۳۸	۰/۲۵۶	۵۸/۳	۴۳
۸	-۲۴۶	۰/۲۶	۵۶/۷	۴۰



نمودار شماره ۱۱: تاثیر نگهداری لجن با ORP متفاوت بر SVI در راکتور SBR

بحث

استفاده از تانک ذخیره‌سازی لجن با پتانسیل اکسیداسیون و احیاء مختلف یکی از روش‌های کاهش تولید لجن مازاد بیولوژیکی است که قادر است لجن مازاد بیولوژیکی را به طور قابل ملاحظه ای کاهش دهد.

نتایج نشان داد که بهترین راندمان حذف در زمان ماند سلولی ۱۰ روز حاصل شد و میزان SVI برابر ۹۰ میلی‌لیتر بر گرم بود و ته‌نشینی لجن به‌طور مناسب صورت گرفت. هر چه زمان ماند سلولی زیاد می‌شود (F/M کم می‌شود) میکروارگانیسم‌ها در فاز خودخوری می‌روند، در نتیجه لاشه باکتری‌ها (میکروارگانیسم‌ها) که بیش از ۹۰ درصد آن مواد آلی و هیدروفیل می‌باشند زیاد می‌شود لذا درصد آب لجن بیش تر می‌شود و در نتیجه در صد وزن خشک لجن با افزایش زمان ماند سلولی کاهش می‌یابد (۲۴،۲۳). در زمان ماند سلولی ۱۰ روز چون میکروارگانیسم‌ها در فاز کاهش رشد یا فاز ثابت قرار دارند، راندمان حذف COD نزدیک به ۹۵ درصد رسید در این فاز SVI برابر ۹۰ بود و لجن به خوبی ته‌نشین می‌شود (۲۷،۲۶) و پدیده حجیم شدن لجن مشاهده نشد و پساب زلال مشاهده گردید (نمودار شماره ۱). نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگهداری لجن، میزان ضریب تولید بیومس کاهش یافته به طوری که به ۰/۲۶ گرم بیومس تولیدی به سوبسترای مصرفی در زمان نگهداری ۸ ساعت لجن در شرایط بی‌هوازی ($ORP = -246$) می‌رسد، در نتیجه میزان لجن مازاد بیولوژیکی حدود ۵۶/۷ درصد کاهش می‌یابد. با افزایش نگهداری لجن میزان SVI کاهش می‌یابد به طوری که از ۹۲ در شاهد به ۴۰ میلی‌لیتر بر گرم در زمان ۸ ساعت نگهداری لجن ($ORP = -246$) می‌رسد و قابلیت ته‌نشینی لجن بهبود می‌یابد که علت آن آزاد شدن پلیمرهای داخل سلولی تحت شرایط آنوکسیک و بی‌هوازی است که به پل زنی بین لخته‌های بیولوژیکی جهت بهبود خاصیت ته‌نشینی کمک می‌کند. با افزایش زمان نگهداری لجن تا ۳ ساعت ($ORP = -160$) میزان COD در پساب خروجی افزایش می‌یابد. در زمان نگهداری بالاتر لجن در تانک ذخیره‌سازی تحت شرایط بی‌هوازی میزان COD در پساب خروجی کاهش می‌یابد، به طوری که در میزان $ORP = -238$ میزان COD پساب خروجی به ۳۳ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد. با افزایش زمان

نگهداری لجن راندمان حذف COD کاهش یافته است که دلیل آن اثر متابولیسم مجزا (uncoupling metabolism) می باشد. این امر باعث می شود که بسته به زمان نگهداری لجن در تانک ذخیره سازی لجن راندمان حذف COD در انتهای زمان واکنش افزایش یابد. موقعی که زیست توده برای مدت طولانی در تانک ذخیره سازی تحت شرایط آنوکسیک و یا بی هوازی قرار می گیرد با کمبود مواد غذایی مواجه شده لذا برای بقاء از انرژی یا ATP ذخیره شده در سیتوپلاسم استفاده می کند و هنگامی که مواد غذایی تازه در اول فاز SBR (پر شدن) به راکتور اضافه می شود، میکروارگانیسم های موجود قبل از سنتز سلولی، اقدام به ذخیره سازی انرژی از دست داده شده می کنند چون سنتز سلولی جدید بدون داشتن مقدار انرژی کافی به شکل ATP میسر نمی باشد. در نتیجه سرعت حذف سوبسترا توسط میکروارگانیسم ها افزایش می یابد، به عبارت دیگر در شرایط ORP پایین زیست توده تحت شرایط گرسنگی و استرس قرار گرفته و در هنگام پر شدن راکتور مملو از مواد غذایی، میکروارگانیسم ها با سرعت بالا مواد غذایی را در راکتور هوایی مصرف می کنند (۳۰، ۲۹). جدول شماره ۳ مقایسه نتایج حاصل از سیستم OSA (هوازی، ته نشینی،

آنوکسیک) با دیگر مطالعات در کاهش لجن مازاد زیست توده را نشان می دهد. نتایج به دست آمده از این مطالعه تقریباً مشابه مطالعات Saby در سال ۲۰۰۲ و Jinafang در سال ۲۰۰۸ می باشد (۹، ۳۲، ۲۵).

با نگهداری لجن در شرایط مختلف آنوکسیک و بی هوازی (ORP متفاوت) COD پساب خروجی پایین تر از استاندارد محیط زیست از نظر دفع پساب به آب های پذیرنده و استفاده مجدد در کشاورزی است. از طرفی باعث بهبود کیفیت پساب خروجی و قابلیت ته نشینی مناسب لجن می شود. از بین فرآورده های جانبی تصفیه خانه فاضلاب شهری، لجن پر حجم ترین و مشکل ترین جزء از نظر تصفیه و دفع می باشد. چنانچه مشکل تولید لجن مازاد از طریق کاهش تولید لجن در فرایندهای بیولوژیکی تصفیه فاضلاب همچون فرایند هوازی SBR حل شود، مسائل و مشکلات تصفیه و دفع لجن در حد قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. نگهداری لجن در فرایند OSA در راکتور SBR در زمان های ماند مختلف در نتیجه کاهش پتانسیل اکسیداسیون و احیای لجن باعث می شود که بخش بیش تری از انرژی استحصالی را به مرحله اول متابولیسم سوبسترا (کاتابولیسم) توسط باکتری های تصفیه کننده فاضلاب اختصاص دهد و در نتیجه انرژی

جدول شماره ۳: مقایسه نتایج حاصل از سیستم OSA (هوازی، ته نشینی، آنوکسیک) با دیگر تحقیقات در کاهش لجن مازاد زیست توده

منابع	کیفیت پساب	میزان ضریب تولید زیست توده Y (gMLSS/gCOD)	شرایط بهره برداری
Saby 2002	خوب	۰/۴	۱- احداث یک تانک ذخیره سازی (تانک آنوکسیک) - سیستم لجن فعال در مقیاس پایلوت با $COD=300 \text{ mg/l}$
	عالی	۰/۳۲	(الف) لجن فعال شاهد
	عالی	۰/۲۲	(ب) سیستم OSA با $ORP=100 \text{ mv}$
	عالی	۰/۱۸	(ج) در سیستم $ORP=100 \text{ mv}$ یا OIA با $ORP=250 \text{ mv}$
Jinafang 2008	خوب	۰/۵۳	۲- احداث یک تانک ذخیره سازی در سیستم لجن فعال در مقیاس پایلوت با $COD=365 \text{ mg/l}$
	عالی	۰/۳۸	(الف) در سیستم لجن فعال شاهد
Wang 2008	خوب	۰/۴۹	(ب) در سیستم OSA با $ORP=250 \text{ mv}$
Chon 2011	عالی	۰/۱۷	۳- استفاده از فرایند CAS-OSA با سن لجن ۲۶ روز و میزان $ORP=250 \text{ mv}$
Kim 2012	عالی	۰/۱۶	در تصفیه فاضلاب خانگی
Demir 2016	عالی	۰/۲	۴- استفاده از فرایند راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) مجهز به سیکل بی هوازی با زمان واکنش ۵ ساعت در تصفیه فاضلاب خانگی
	خوب	۰/۶	۵- استفاده از فرایند راکتور ناپیوسته متوالی (SBR) در شرایط OSA زمان واکنش ۵ ساعت در تصفیه فاضلاب در شرایط آزمایشگاهی
	خوب	۰/۵۶	۶- کارایی فرایند OSA در کاهش لجن بیولوژیکی در راکتور SBR پس از ۵۰ روز راهبری در میزان $ORP=250$ میلی ولت
	عالی	۰/۳۱	۷- نگهداری لجن در شرایط آنوکسیک و بی هوازی در یک سیستم SBR در مقیاس پایلوت با $COD=600 \text{ mg/l}$ در شرایط زیر
	عالی	۰/۲۶	(الف) در راکتور شاهد یعنی با $ORP=300 \text{ mv}$
	عالی	۰/۴۱	(ب) یک ساعت نگهداری یعنی با $ORP=80 \text{ mv}$
	عالی	۰/۳۱	(ج) چهار ساعت نگهداری یعنی با $ORP=190 \text{ mv}$
	عالی	۰/۲۶	(د) شش ساعت نگهداری یعنی با $ORP=230 \text{ mv}$
	عالی	۰/۲۶	(ه) هشت ساعت نگهداری یعنی با $ORP=246 \text{ mv}$

سپاسگزاری

این مطالعه حاصل بخشی از نتایج طرح تحقیقاتی با شماره S 90 است. در پایان نویسندگان از شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور به خاطر حمایت مالی نهایت تشکر را دارند.

کم‌تری به مرحله آنابولیس (ساخت مواد سلولی) برسد که ماحصل نهایی آن کاهش ضریب تولید بیومس (Y) توسط باکتری‌ها و در نهایت کاهش مقدار تولید لجن مازاد می‌شود و میزان شاخص حجمی لجن کاهش و قابلیت ته‌نشینی لجن بهبود یافته و راندمان حذف مواد آلی (COD) در پساب خروجی افزایش می‌یابد.

References

- Goh CP, Seng CE, Sujari AN, Lim PE. Performance of sequencing batch biofilm and sequencing batch reactors in simultaneous p-nitrophenol and nitrogen removal. *Environ Technol* 2009; 30(7): 725-736.
- Fazelpour M, Takdastan A, Sekhavatjou MS. Survey on chlorine application in sequencing batch reactor waste sludge in order to sludge minimization. *Asian J Chem* 2011; 23(7): 2994-2998.
- Takdastan A, Mehrdadi N, Azimi AA, Torabian A, Nabi Bidhendi G. Intermittent chlorination system in biological excess sludge reduction by sequencing batch reactor. *Iran J Environ Health Sci Eng* 2009; 6 (1): 53-60 (Persian).
- Pazoki M, Takdastan A, Jaafarzadeh N. Investigation of minimization of excess sludge production in sequencing batch reactor by heating some sludge. *Asian J Chem* 2010; 22(3): 1751-1759.
- Takdastan A, Azimi A, Jaafarzadeh N. Biological excess sludge reduction in municipal wastewater treatment by chlorine. *Asian J Chem* 2010; 22(3): 1665-1670.
- Novak JT, Chon DH, Curtis BS, Doyle M. Biological solids reduction using the cannibal process. *Water Environ Res* 2007; 79(12): 2380-2386.
- Sang L, Yina J, Zhang J. Effect of extracellular polymeric substances on sludge reduction in the umic-activated sludge anoxic-oxic-settling-anaerobic process. *Des Water Treat* 2017; 62(2017): 101-107.
- Mohammadi MJ, Takdastan A, Jorfi S, Neisi A, Yari AR, et al. Electrocoagulation process to Chemical and Biological Oxygen Demand treatment from carwash grey water in Ahvaz megacity, Iran. *Data Brief* 2017; 11: 634-639.
- Saby S, Djafer M, Chen GH. Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge in activated sludge process. *Water Res* 2002; 36(3): 656-666.
- Demir O, Filibeli A. The investigation of the sludge reduction efficiency and mechanisms in oxic-settling-anaerobic (OSA) process. *Water Sci Technol* 2016; 73(10): 2311-2323.
- Takdastan A, Mehrdadi N, Torabian A, Azimi AA, Nabi Bidhendi GH. Investigation of excess biological sludge reduction in sequencing batch reactor. *Asian J Chem* 2009; 21(3): 2419-2427.
- Takdastan A, Eslami A. Application of energy spilling mechanism by para-nitrophenol in biological excess sludge reduction in batch-activated sludge reactor. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 2013; 4(1): 1-7 (Persian).
- Takdastan A, Pazoki M. Study of biological excess sludge reduction in sequencing batch reactor by heating the reactor. *Asian J Chem* 2011; 23(1): 29-33 (Persian).

14. Hajsardar M, Takdastan A, Ahmadi M, Hasani AH. Study of reducing waste biosolids insequencing batch reactor by ozonation to waste biosolids. *Asian J Chem* 2011; 23(8): 3615-3619 (Persian).
15. Hormozi Nejad M, Takdastan A, Jaafarzadeh N, Ahmadi Mogadam M, Mengelizadeh N. Removal of orthophosphate from municipal wastewater using chemical precipitation process in Ahvaz wastewater treatment plant, Iran. *Asian J Chem* 2013;25(5):2565-2571 (Persian).
16. Jafari AJ, Kakavandi B, Kalantary RR, Babaei AA, Takdastan A. Application of mesoporous magnetic carbon composite for reactive dyes removal: Process optimization using response surface methodology. *Korean J Chem Eng* 2016; 33 (10): 2878-2890.
17. Mahmoudi P, Takdastan A, Alavi AJ Ali, Kaydi N. Study of excess sludge reduction in conventional activated sludge process by heating returned sludge. *Asian J Chem* 2013; 25 (5): 26-27.
18. Wang J, Zhao Q, Jin W, Lin J. Mechanism on minimization of excess sludge in oxic-settlinganaerobic(OSA) process. *Environ Sci Eng China* 2008; 2(1): 36-43.
19. American Public Health Association (APHA). Standard Method for the Examination of water& Wastewater. 19th ed. American Public Health Association (APHA). Washington D.C, 2005.
20. Huang X, Liang P, Qian Y. Excess sludge reduction induced by Tubifex tubifex in a recycle sludge reactor. *J Biotechnol* 2007; 127(3): 443-453.
21. Velho VF, Daudt G, CMartins CL, Belli Filho P, Costa HR. Ruction of Excess Sudge Pduction in an Activated Sludge System Based on Lsis-Cryptic Growth, Uncoupling methabolism and Folic Acid Addiction. *Braz J Chem Eng* 2016; 33(1): 47-57.
22. Novak JT, Chon DH, Curtis BS, Doyle M. Biological solids reduction using the cannibal process. *Water Environ Res* 2007; 37(12): 2380-2386.
23. Vitanza R, Arana Sarabia ME. Preliminary Evaluation of Sludge Minimization by a Lab-Scale OSA (Oxic-Settling-Anaerobic) System. *Chemical Eegineering Transaction* 2016; 49: 469-474.
24. Alavi N, Shirmardi M, Babaei A, Takdastan A, Bagheri N. Waste electrical and electronic equipment (WEEE) estimation: A case study of Ahvaz City, Iran. *J Air Waste Manage Assoc* 2015; 65(3): 298-305 (Persian).
25. Jin WB, Wang JF, Zhao QL, Lin JK. Performance and mechanism of excess sludge reduction in an OSA (oxic-settling-anaerobic) process. *Europe Pub Med Centreal* 2008; 29(3): 726-732.
26. Hassani G, Babaei A, Takdastan A, Shirmardi M, Yousefian F. and Mohammadi M.J. Occurrence and fate of 17 β -estradiol in water resources and wastewater in Ahvaz, Iran. *Global Nest Journal* 2016; 18(4): 855-866.
27. Semblante G, Hai F Bustamante H, Guevara N. Biosolids reduction by the oxic-settling-anoxic process: Impact of sludge interchange rate. *Bioresource Technology* 2016; 210: 167-173.
28. Wang J, Li Y, Jiang F, Guang J, Liu, L. A modified oxic-settling-anaerobic activated sludge process using gravity thickening for excesssludge reduction. *Scientific Reports*. 2016; 2(1): 36-43.
29. M Ahmadi, H Rahmani, A Takdastan, N Jaafarzadeh. A novel catalytic process for degradation of bisphenol A from aqueous solutions: a synergistic effect of nano-Fe 3 O 4@ Alg-Fe on O 3/H 2 O 2. *Process Safety*

- and Environmental Protection 2016; 104(Pt a): 413-421.
30. Torregrossa M, Di Bella G, Di Trapani D. Comparison between ozonation and OSA process: Analysis of excess sludge reduction and biomass activity in two different pilot plants. *Water Sci Technol* 2012; 66(1): 185-192.
31. Chon DH, Rome M, Kim HS, Park C. Investigating the mechanism of sludge reduction in activated sludge with an anaerobic sidestream reactor. *Water Sci Technol* 2011; 63(1): 93-99.
32. Kim YM, Chon DH, Kim HS, Park C. Investigation of bacterial community in activated sludge with an anaerobic sidestream reactor (ASSR) to decrease the generation of excess-sludge. *Water Res* 2012; 46(13): 4292-4300.