

## نقش پلیمر در گرانول سازی هوازی در سیستم SBAR در تصفیه فاضلاب

لعیا سیروس رضائی<sup>۱</sup>، بیتا آیتی\*<sup>۲</sup> و حسین گنجی دوست<sup>۳</sup><sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران

## چکیده

گرانول هوازی نتیجه توسعه بیوفناوری محیط زیست در جهت نیل به راندمان بالای تصفیه فاضلاب می باشد. ویژگی های متمایز گرانول های هوازی دال بر برتری این فناوری در مقایسه با فرایندهای لجن فعال متداول است. از جمله این ویژگی های متمایز می توان به پایداری بهتر، دانسیته بالاتر، ساختار میکروبی قوی تر، قابلیت نگهداری توده زیستی بالاتر، سرعت ته نشینی بهتر و قابلیت تحمل نرخ بار آلی بالا اشاره کرد. در این مقاله به بررسی راندمان حذف COD فاضلاب در سیستم SBAR (Sequencing Batch Airlift Reactor) توسط گرانول های هوازی در حضور فاضلاب سنتزی با منبع کربنی گلوکز در ۶ سیکل ۴ ساعته در هر روز پرداخته شد. با توجه به هدف تحقیق در رابطه با نقش پلیمر در گرانول سازی، دو سیستم موازی، همزمان با هم راه اندازی گشت. یکی از سیستم ها تحت عنوان پایلوت شاهد (R1) و پایلوت R2 جهت تزریق پلیمر هر یک به حجم ۴/۵ لیتر در نظر گرفته شد. راه اندازی با نرخ بارگذاری  $0.072 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ ،  $0.072 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$  معادل  $200 \text{ mg/L}$  در هر سیکل آغاز و تا  $5/4 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$  ادامه یافت. نتایج حاصل بیانگر قابلیت بالای سیستم گرانوله در میزان حذف COD بود. گرانول های زرد رنگ و رشته ای تشکیل شده دارای قطرهای متفاوت در محدوده ۷-۰/۵ میلی متر بودند. با تشکیل گرانول ها، قابلیت ته نشینی بالا رفته و شاخص حجمی لجن (SVI) نشانگر مقادیر کمتر از  $100 \text{ mL/g}$  بود. در پایان آزمایشات و بررسی گرانول های تشکیل شده در هر دو راکتور مشخص گشت که پلیمر کیتوزان تأثیر مثبت هر چند اندک در روند گرانول سازی داشت به طوری که ۱۷ درصد گرانول زرد رنگ و ۲۷ درصد گرانول های رشته ای بیشتری نسبت به راکتور شاهد تولید کرد.

واژگان کلیدی: گرانول سازی هوازی، SBAR، پلیمر کیتوزان، ساختار راکتور، SVI، راندمان حذف COD.

## ۱- مقدمه

می گیرند. لجن گرانوله، خواص بسیار بیشتری مانند سطح خارجی صاف و منظم، چگالی بیشتر، قابلیت ته نشینی عالی و تحمل مواد آلی در نرخ بارگذاری بالا نسبت به لجن فعال معمول دارد [۲].

طبق تحقیقات انجام شده گرانول سازی فرایندی تدریجی است که در آن ابتدا بذر لجن<sup>۲</sup> تجمع یافته، سپس فشرده شده و در نهایت به گرانول بالغ تبدیل می گردد [۱]. لجن گرانوله اولین بار در سال ۱۹۸۰ در سیستم های بی هوازی مورد بررسی قرار گرفت. فناوری گرانول بی هوازی مشکلات زیادی از جمله دوره راه اندازی طولانی، دمای عملکرد بالا، نامناسب بودن در فاضلاب با بار آلی کم و کارایی ضعیف در حذف مواد مغذی (فسفر و نیتروژن) از فاضلاب را دارا بود. لذا در اواخر دهه ۱۹۹۰ تشکیل و بکارگیری گرانول های هوازی توسط محققان مختلفی از جمله Dangcong, Beun, Morgenroth و همکاران مطرح شد (به نقل از مرجع [۳]).

در حال حاضر بر روی اغلب عملیات و فرایندهای واحد مورد استفاده در تصفیه فاضلاب، تحقیقات وسیع و پیوسته ای از دیدگاه کاربرد و اجرا صورت می گیرد. در نتیجه، تغییرات زیادی در فرایندها ایجاد شده و عملیات جدیدی به کار گرفته می شوند و سیستم های تصفیه و فناوری های نوینی ابداع می گردند. یکی از روش های نوین مورد توجه در دهه های اخیر، کاربرد گرانول هوازی است که توسعه بیوفناوری محیط زیست در جهت نیل به راندمان بالای تصفیه فاضلاب می باشد. فناوری تثبیت سلولی در زمینه بیومهندسی و مهندسی محیط زیست بصورت تجمع باکتری ها به سه گروه بیوفیلم، تجمع های میکروبی و لجن گرانوله و میکروارگانیسم های محبوس شده تقسیم بندی می شود [۱ و ۲]. گرانول سازی یک فرایند خود پایدارسازی بیولوژیکی می باشد که در آن میکروارگانیسم ها به منظور تشکیل یک توده زیستی متراکم تجمع می یابند. گرانول ها را به عنوان یک بیوفیلم معلق کروی شکل که شامل سلول های میکروبی، ذرات خنثی، ذرات تجزیه پذیر و مواد پلیمری برون سلولی<sup>۱</sup> می باشند، در نظر

<sup>۲</sup> - Seed sludge<sup>۱</sup> - Extracellular Polymeric Substances

و چگالتر گشت. در تحقیق انجام شده توسط Beun و همکارانش [۱۳] در سال ۲۰۰۲ گرانول‌های هوازی یک هفته بعد از تزریق لجن در راکتور SBAR تشکیل شدند. این راکتور با منبع کربنی استات با غلظت  $2/5 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$  راه‌اندازی و گرانول‌هایی با قطر میانگین  $2/5 \text{ mm}$  و دانسیته بالا تشکیل شد. Liu و Tay [۱۴] در یک تحقیق، دو راکتور bubble column و airlift را در تشکیل گرانول‌های هوازی مورد مقایسه قرار دادند. در ۴۰ روز ابتدای راه‌اندازی، سیستم‌ها عملکردی مشابه داشتند ولی بعد از ۶۰ روز گرانول‌های موجود در سیستم bubble column از هم گسسته شدند و میزان SVI بطور قابل توجهی افزایش یافت که دلیل این امر کمبود اکسیژن و اختلاط نامناسب در راکتور گزارش گردید.

پیشرفت در زمینه بیولوژیکی، یافته‌های جدیدی را به بازار عرضه می‌کند. بیوراکتورها نیز به عنوان محصول اصلی فرایندهای تحقیقاتی می‌باشند که تأثیر زیادی در نتایج تحقیقات دارند. Fu و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۰۳ از یک شبکه توری به عنوان جداره riser در سیستم SBAR استفاده کردند و نحوه توزیع هوا و چرخش جریان را مطالعه و قابلیت بالای آن را در کاربردهای صنعتی بررسی کردند.

با توجه به اینکه راکتورها، محلی جهت انجام واکنش‌های بیولوژیکی می‌باشد، تحقیقاتی در زمینه سیستم‌های پیوسته و ناپیوسته جهت تولید گرانول‌های هوازی انجام گرفت و نتایج این تحقیقات نشان داد که سیستم ناپیوسته مطلوبتر از سیستم پیوسته در تولید گرانول‌های هوازی عمل می‌کند. Zheng و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۰۵ به بررسی خواص فیزیکی و شیمیایی گرانول‌های تشکیل شده در سیستم SBAR پرداختند و بعد از ۶۰ روز به گرانول‌های پایدار با قطر میانگین  $1 \text{ mm}$ ، قابلیت ته‌نشینی بالا، شاخص حجمی لجن  $23 \text{ mL/g}$  و سرعت ته‌نشینی  $31-18 \text{ m/h}$  رسیدند.

با توجه به کاربردها و مزایای گسترده گرانول‌ها در تصفیه فاضلاب، هدف از این تحقیق تشکیل گرانول‌ها در سیستم SBAR جهت بررسی راندمان حذف COD و نقش پلیمر طبیعی کیتوزان در تسریع عمل گرانول‌سازی هوازی بود. سیستم SBAR ساختار کاملاً مشابهی با SBR دارد و با سیکل زمانی مشخص و در یک راکتور منفرد، عمل تصفیه فاضلاب را انجام می‌دهد (وجه تمایز SBAR و SBR در یک riser داخلی می‌باشد که به صورت هم محور داخل استوانه خارجی که تحت

در طی دهه گذشته تحقیقات گسترده‌ای در زمینه شرایط مختلف تولید گرانول هوازی انجام گرفته است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود:

Liu و همکاران [۴] در سال ۲۰۰۳، تأثیر غلظت سوبسترا بر تشکیل، ساختار و خواص گرانول‌های هوازی را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که گرانول‌ها می‌توانند در محدوده غلظت‌های COD،  $500 \text{ mg/L}$  تا  $3000 \text{ mg/L}$  متأثر از نرخ بارگذاری  $1/5-9 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$  تشکیل شوند. در راکتورها با غلظت COD بالا، افزایش سریع در اندازه ذرات لجن مشاهده شد. برای مثال در روز دهم عملکرد راکتور با COD ورودی  $500 \text{ mg/L}$  اندازه ذرات به  $0/7 \text{ mm}$  رسید در حالی که این اندازه با COD ورودی  $1000 \text{ mg/L}$ ،  $2000 \text{ mg/L}$  و  $3000 \text{ mg/L}$  به ترتیب ۱،  $1/1$  و  $1/4$  میلی‌متر مشاهده شد.

کاربرد گرانول‌ها در تصفیه فاضلاب نتایج مطلوبی مانند قابلیت ته‌نشینی بسیار خوب، میزان متابولیسم بالا و پایدار، انعطاف پذیری در مقابل شوک‌ها و مواد سمی و زمان ماند توده زیستی طولانی را به دنبال داشته است [۵]. به عنوان مثال Yi و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۶ ثابت کردند، گرانول‌ها قابلیت تجزیه پارانیتروفنل را دارند و Wang و همکاران [۷] در سال ۲۰۰۷ فاضلاب محتوی ۲ و ۴ دی کلرو فنل را تصفیه کردند. Schwarzenbeck و همکاران [۸] نیز در سال ۲۰۰۵ به تصفیه فاضلاب لبنی با لجن گرانوله پرداختند در این تحقیق راندمان حذف ۹۰ درصد برای COD کل، ۸۰ درصد برای نیترژن کل و ۶۷ درصد برای فسفر کل به دست آمد.

در رابطه با اثر پلیمر در تشکیل گرانول‌ها به‌ویژه انواع بی‌هوازی، تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. به عنوان مثال Tiwari و همکارانش [۹] در سال ۲۰۰۵ اثر پلیمرهای کاتیونی کیتوزان و Reetha را بر تشکیل و کیفیت گرانول‌ها بررسی کردند. پیش از این Show و همکارانش [۱۰] در سال ۲۰۰۴ اثر پلیمر مصنوعی AA184H و El-Mamouni و همکاران [۱۱] در سال ۱۹۹۸ اثر Percol 763 را مورد مطالعه قرار دادند که در این تحقیقات افزودن پلیمر، تأثیر مثبتی در تشکیل و کیفیت گرانول‌ها داشت و در افزایش راندمان حذف نیز مؤثر بود.

در تحقیق انجام شده در سال ۲۰۰۲ توسط Uyanik و همکارانش [۱۲] تولید گرانول‌های بی‌هوازی در راکتور بافلدار بی‌هوازی<sup>۱</sup> توسط فاضلاب کارخانه بستنی‌سازی به کمک پلیمر بررسی شد که افزایش پلیمر منجر به تشکیل گرانول‌های بزرگ

با توجه به اینکه سیکل زمانی عامل مهمی در تشکیل گرانول‌های هوازی می‌باشد، در این تحقیق، سیکل ۴ ساعت جهت عمل تصفیه در نظر گرفته شد. بدلیل کوتاه بودن سیکل‌ها و فاصله زمانی کم بین فازهای ورودی، هوادهی، ته‌نشینی، خروجی و سکون، کنترل دائم امکان‌پذیر نبود. در نتیجه به منظور تأمین کنترل مؤثر فازها، از سیستم برقی شامل یک سری تایمر، شیرهای برقی، سیم‌های ارتباطی و لوازم جانبی جهت عملکرد خودکار استفاده شد. نکته قابل ذکر اینکه خوراک سیستم‌ها، فاضلاب سنتزی گلوکز بود که جهت تنظیم نسبت کربن به مواد مغذی در سیستم معادل C:N:P=100:5:1 از اوره و مخلوط  $K_2HPO_4$  و  $KH_2PO_4$  و جهت افزایش کارایی و فعالیت میکروارگانیسم‌ها از مواد ریز مغذی (کلرید کلسیم ۳۰ mg/L، سولفات منیزیم ۲۵ mg/L، سولفات آهن (II) ۲۰ mg/L و کلرید مس، کلرید روی، کلرید آلومینیم، کلرید نیکل، اسید بوریک، کلرید کبالت و سولفات منگنز ۵۰ mg/L) استفاده شد.

پایلوت SBAR مورد استفاده در تحقیق به عنوان یک فرایند کاملاً مستقل، فاضلاب ورودی را به روش بیولوژیکی تصفیه می‌کرد و هیچ واحد پیش‌ته‌نشینی و یا ته‌نشینی ثانویه برای آن در نظر گرفته نشد. پس از ورود جریان فاضلاب از یک مخزن توسط یک شیر برقی در مدت زمان کنترل شده (۲ دقیقه) سیستم وارد مرحله هوادهی شده و طی مدت زمان مشخص (۲۰۵ الی ۲۱۰ دقیقه) تحت اختلاط و هوادهی قرار می‌گرفت. سپس وارد فاز ته‌نشینی (۵ الی ۱۰ دقیقه) و در نهایت فاز تخلیه (۸ دقیقه) می‌گردید. به این ترتیب فاضلاب تصفیه شده از سیستم خارج و بعد از گذشت فاز سکون (۱۵ دقیقه)، سیکل مجدداً تکرار می‌شد.

پس از تهیه بذر میکروبی از لجن برگشتی تصفیه خانه فاضلاب اکباتان و راه‌اندازی سیستم‌ها، تشکیل اولیه گرانول‌ها بعد از گذشت ۵ روز مشاهده شد. شروع به کار سیستم در نرخ بارگذاری  $0.72 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$  بود که پس از رسیدن میکروارگانیسم‌ها به حالت ثابت و پایدار در راندمان حذف COD، نرخ بارگذاری به مقادیر ۱/۴۴، ۱/۸، ۲/۱۶ و ۲/۸۸ کیلوگرم بر مترمکعب در روز در هر سیکل در سیستم‌ها افزایش یافت.

به منظور بررسی اثر کیتوزان در روند شکل‌گیری گرانول‌ها از آزمایش جار جهت تعیین غلظت بهینه پلیمر استفاده گشت. در ارزیابی اولیه، غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی گرم بر لیتر کیتوزان مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به راندمان حذف COD، کدورت حاصله و اندازه لخته‌ها، غلظت ۱۰۰ mg/L

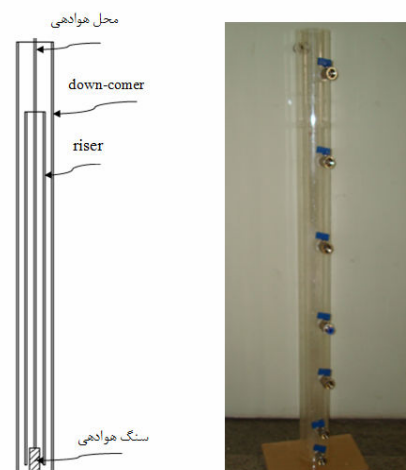
عنوان down-comer نامیده می‌شود، قرار می‌گیرد و شرایط مطلوبی از اختلاط تحت هوادهی را ایجاد می‌کند. همچنین پلیمر طبیعی کیتوزان از منابع طبیعی استخراج شده، خواص سمی ندارد و ضمن قابلیت پالایش بیولوژیکی در طبیعت، دارای بیش از ۳۰۰۰ کاربرد در صنایع داروسازی، بیوفناوری، کشاورزی، آرایشی، غذایی، تولیدات گیاهی، تصفیه آب، پزشکی، کاغذسازی، پالایش فلزات سنگین، شیمیایی، نساجی، فیبر و پرتوزدایی می‌باشد [۱۷].

## ۲- روش تحقیق، مواد و تجهیزات

در این تحقیق، دو سیستم SBAR همزمان با هم راه‌اندازی شدند. یکی از سیستم‌ها بعنوان پایلوت شاهد (R1) و دیگری (R2) جهت بررسی اثر پلیمر بر گرانول‌سازی در نظر گرفته شد. پایلوت‌ها از جنس پلاستیکی گلاس و با در نظر گرفتن نقش مؤثر  $H/D^1$  بالا ساخته شدند که مشخصات آنها در جدول (۱) و طرح شماتیک آنها در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات پایلوت‌های مورد بررسی

پارامتر	میزان
ارتفاع استوانه‌ای خارجی (down-comer)	۱۱۰cm
ارتفاع استوانه‌ای داخلی (riser)	۹۰cm
قطر داخلی down-comer	۸cm
قطر داخلی riser	۴cm
حجم کلی پایلوت (لیتر)	۵
حجم مفید (لیتر)	۴/۵



شکل ۱- طرح شماتیک پایلوت‌های مورد مطالعه و اجزای آنها

بررسی وضعیت و کارایی پایلوت SBAR در حذف مواد آلی و نیز کیفیت گرانول‌های تشکیل شده پارامترهای COD، BOD<sub>5</sub>، سرعت ته‌نشینی و قطر گرانول‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها به قرار زیر بوده است:

- دی‌کرومات پتاسیم، سولفات نقره، سولفات جیوه، اسید سولفوریک با خلوص ۹۵ تا ۹۸ درصد و پتاسیم هیدروژن فنالات ساخت شرکت Merck، جهت تهیه محلول هم، کاتالیست و استاندارد برای آزمایش COD
- هیدروکسید سدیم و اسید فسفریک ساخت شرکت Merck جهت تنظیم pH
- کیتوزان ساخت شرکت Kyoto, Nacalai, Tesque, Inc, Japan
- همچنین جهت انجام آزمایش‌ها و تعیین پارامترها، از لوازم و تجهیزات زیر استفاده گردید:
- COD راکتور ساخت شرکت Hatch با ۱۶ جا لوله‌ای جهت آزمایش COD به روش آمپول
- اسپکتروفوتومتر DR 4000 ساخت شرکت Hatch جهت تعیین میزان کدورت نمونه‌ها در آزمایش جار
- اسپکتروفوتومتر مدل EZ Lambda150 دیجیتال ساخت شرکت Perkin Elmer جهت تعیین میزان جذب در آزمایش COD
- DO متر جهت اندازه‌گیری میزان اکسیژن محلول با مارک Crison مدل OXI 45
- pH متر ساخت شرکت Metrohm با الکترود دیجیتال
- ترازوی دیجیتال ساخت Mettler با مدل PJ300
- سانتریفوژ ساخت شرکت Sigmco به منظور جداسازی ذرات معلق و کلونیدی از محلول

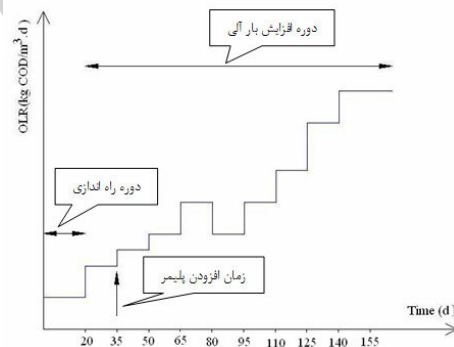
### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱- راندمان حذف COD

شکل (۳) نتایج راندمان حذف COD در بارگذاری‌های مختلف را نشان می‌دهد. مقایسه سیستم R2 با راکتور شاهد بیانگر تأثیر مثبت پلیمر در افزایش راندمان حذف COD به میزان ۹۴ درصد می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌شود در COD ۸۰۰ mg/L به دلیل اسیدی شدن خوراک، کاهش راندمان حذف در حدود ۱۲ درصد در هر دو راکتور اتفاق افتاده است.

دارای نتایج مطلوبتری بود. جهت تعیین دقیق‌تر غلظت بهینه، غلظت‌های ۷۵ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر نیز مورد بررسی قرار گرفتند که طبق نتایج حاصله غلظت ۱۰۰ mg/L به عنوان غلظت بهینه کیتوزان انتخاب و با برنامه مشخص به صورت روزانه به R2 تزریق شد. به منظور بررسی اثر کیتوزان بر گرانول‌های تشکیل شده در سیستم، دوره تزریق یک ماه بعد از تشکیل گرانول‌ها آغاز شد و راندمان حذف COD و میزان گرانول‌های تشکیل شده بررسی گشت.

در دوره بارگذاری ۸۰۰ mg/L در سیستم‌ها، کاهش گرانول و نیز راندمان حذف مشاهده شد که عامل آن کاهش pH و اسیدی شدن سیستم بود. جهت بهبود شرایط و بازگشت به حالت اولیه نرخ بارگذاری مجدداً به میزان ۶۰۰ mg/L کاهش داده شد. با برگشت سیستم به حالت اولیه و رشد قابل توجه گرانول‌ها بار دیگر افزایش بار به میزان ۸۰۰ mg/L اعمال شد و سیر صعودی افزایش بار تا میزان ۱۵۰۰ mg/L معادل kg COD/m<sup>3</sup>.d ۵/۴ ادامه یافت. در شکل (۲) نحوه تغییرات بار آلی (OLR) در طی دوره تحقیق ارائه شده است.



شکل ۲- تغییرات بار آلی در طی دوره تحقیق

تمام آزمایشات در دوره تحقیق، مطابق با دستورالعمل بیان شده در کتاب روشهای استاندارد آزمایش‌های آب و فاضلاب (APHA-AWWA-WEF,2005) و وسایل و تجهیزات موجود در آزمایشگاه مهندسی محیط زیست انجام پذیرفت. پارامترهای کنترلی شامل دما، pH و اکسیژن محلول (DO)، برای کنترل و حفظ شرایط محیطی مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها و نیز میزان مواد معلق در مایع مخلوط (MLSS) و شاخص حجمی لجن (SVI) بصورت دائم اندازه‌گیری می‌شدند. برای

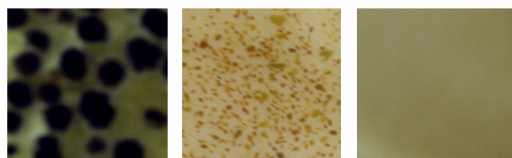
1 - Organic Loading Rate

2- Mixed Liquor Suspended Solid

به دلیل رشد سریع این باکتری‌ها، گرانول‌های رشته‌ای سیاه رنگ در راکتورها تشکیل شدند (در این مرحله هر دو نوع گرانول زرد و سیاه رنگ در سیستم‌ها وجود داشت). دلیل این پدیده نرخ بارگذاری بالا بود که در نهایت منجر به تشکیل گرانول‌های رشته‌ای گشت.

بعد از ۵ ماه از عملکرد سیستم‌ها، گرانول‌های رشته‌ای به میزان ۶۰ درصد در راکتورهای شاهد و حاوی پلیمر تشکیل شدند. این گرانول‌ها نیز قابلیت حذف COD بالا را داشتند در نتیجه راندمان حذف COD تحت عملکرد گرانول‌های رشته‌ای افت پیدا نکرد ولی به لحاظ قابلیت ته‌نشینی کمتر، سرعت ته‌نشینی سیستم‌ها کاهش یافت و بر میزان شاخص حجمی لجن (SVI) افزوده شد.

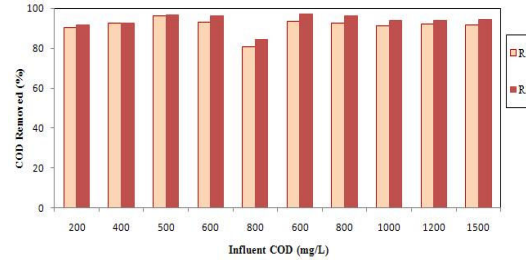
در شکل (۵) روند تبدیل بذر لجن به گرانول‌ها ارائه شده است. شکل (الف) بذر لجن شکل (ب) گرانول‌های زرد رنگ و شکل (ج) گرانول‌های رشته‌ای سیاه رنگ را نشان می‌دهد. Li و همکاران [۱۹] و Thanh و همکاران [۲۰] نشان دادند که با افزایش نرخ بار آلی، گرانول‌ها با ساختار بزرگتر و سست با تنوع گونه‌های باکتری ایجاد می‌شوند. در حالی که نرخ بارگذاری پایین، گرانول‌های کوچکتر و کاملاً فشرده با گونه باکتری کمتر ایجاد می‌کند. در تحقیقی دیگر، قطر میانگین ۱ mm گرانول هوازی در سیستم SBR در نرخ بارگذاری  $6 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$  در مدت یک ماه عملکرد راکتور حاصل شد که تحت شرایط بارگذاری بالاتر گرانول‌ها به ذرات بزرگ فلامنتی تبدیل شدند ولی همچنان راندمان حذف بالای COD در سیستم برقرار بود [۲۱].



شکل ۵- روند تبدیل بذر لجن به گرانول‌ها (الف) بذر لجن (ب) گرانول‌های زرد رنگ (ج) گرانول‌های رشته‌ای سیاه رنگ

#### ۴-۳- اندازه گرانول‌های تشکیل شده

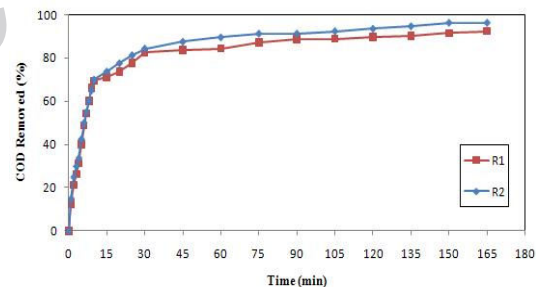
میانگین قطر گرانول‌ها یک ماه بعد از عملکرد سیستم به ۱ mm رسید و با روند رو به رشد، قطر ۲ mm از گرانول‌ها در ماه دوم عملکرد راکتورها حاصل گشت. با ادامه فعالیت سیستم در ماه پنجم گرانول‌های رشته‌ای به قطر میانگین ۷ mm در



شکل ۳- مقایسه راندمان حذف COD در سیستم‌ها

#### ۲-۲- روند تغییرات سوبسترا در یک سیکل

شکل (۴) روند تغییرات سوبسترا در یک سیکل ۴ ساعت با مدت زمان هوادهی، ۱۶۵ دقیقه با ورودی COD  $800 \text{ mg/L}$  را نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود در ۳۰ دقیقه اول بخش قابل توجه سوبسترا در هر دو راکتور مصرف شده و پس از اتمام فاز هوادهی راندمان حذف بالای ۹۰ درصد حاصل شده است. تحقیق انجام شده توسط Wang و همکارانش [۱۸] نیز بیانگر بالا بودن غلظت سوبسترا در ۴۰ دقیقه ابتدای فعالیت سیستم بود. بطوری که بعد از این مدت زمان غلظت سوبسترا در سیستم افت قابل توجهی یافت.



شکل ۴- روند تغییرات سوبسترا در سیستم‌ها

#### ۳-۳- روند تشکیل گرانول‌ها

۵ روز بعد از راه‌اندازی سیستم با منبع کربنی گلوکز، گرانول‌های اولیه و بسیار ریز مشاهده شدند. بذر لجن در ابتدای کار سیستم دارای ساختار کرکی، نامنظم و سست بود و رنگ خاکستری داشت که با ادامه کار سیستم به گرانول‌های ریز به رنگ قهوه‌ای روشن تبدیل گشت. ۱۵ روز بعد از فعالیت سیستم و ادامه تشکیل گرانول‌ها، به تدریج تغییر رنگی از خاکستری مایل به قهوه‌ای روشن به زرد صورت گرفت. در ماه چهارم گرانول‌های زرد رنگ بیشتری در سیستم گسترش یافت و به تدریج بر میانگین قطر آنها اضافه گشت. بعد از ماه چهارم میکروارگانیزم‌های رشته‌ای سیاه رنگ در سیستم مشاهده شد و

- Taylor & Francis, USA, 2008.
- [2] Thanh B.X. "Aerobic Granulation Coupled Membrane Bioreactor", M.Sc. Thesis, Chemistry and Food Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Thailand, 2005.
- [3] Adav S.S., Lee D.J., Show K.Y., Tay J.H. "Aerobic Granular Sludge: Recent Advances", *Biotechnology Advances*, 2008, 26, 411-423.
- [4] Liu Q.S., Tay J.H., Liu, Y. "Substrate Concentration-Independent Aerobic Granulation in Sequential Aerobic Sludge Blanket Reactor", *Environmental Technology* 2003, 24, 1235-1242.
- [5] Bui Xuan Thanh. "Aerobic Granulation Coupled Membrane Bioreactor", M.Sc. Thesis, Chemistry and Food Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Thailand, 2005.
- [6] Yi S., Zhuang W.Q., Wu B., Tay S.T., Tay J.H. "Biodegradation of P-Nitrophenol by Aerobic Granules in a Sequencing Batch Reactor", *Environmental Science Technology* 2006, 40, 2396-2301.
- [7] Wang S.G., Liu X.W., Zhang H.Y., Gong W.X. "Aerobic Granulation for 2,4-Dichlorophenol Biodegradation in a Sequencing Batch Reactor", *Chemosphere* 2007, 69, 769-775.
- [8] Schwarzenbeck N., Borges J.M., Wilderer P.A. "Treatment of Dairy Effluents in an Aerobic Granular Sludge Sequencing Batch Reactor", *Applied Microbiology Biotechnology* 2005, 66, 711-718.
- [9] Tiwari M.K., Guha S., Harendranath C.S., Tripathi S. "Influence of Extrinsic Factors on Granulation in UASB Reactor". *Applied Microbiology Biotechnology* 2006, 71, 145-154.
- [10] Show K.Y., Wang Y., Foong S.F., Tay J.H. "Accelerated Start-up and Enhanced Granulation in Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors". *Water Research* 2004, 38, 2293-2304.
- [11] EL -Mamouni., Leduc R., Guiot S.R. "Influence of Synthetic and Natural Polymers on the Anaerobic Granulation Process". *Water Science Technology*. 1998, 38 (8-9), 341-347.
- [12] Uyanik S., Sallis P.J., Anderson G.K. "The Effect of Polymer Addition on Granulation in an Anaerobic Baffled Reactor (ABR). Part II: Compartmentalization of Bacterial Populations", *Water Research* 2002, 36, 944-

راکتورها مشاهده شد. همچنین بیشترین میزان گرانول‌های زرد و فیلامنتی تشکیل شده در راکتورها در ۵۰ cc نمونه در روزهای ۶۰ و ۱۵۰ بود. در راکتور R2 در حدود ۱۷ درصد نسبت به راکتور شاهد، گرانول بیشتری در ۶۰ روز تولید شد که در نتیجه به دلیل افزودن پلیمر، دارای ارجحیت می‌باشد.

### ۳-۵- بررسی روند تغییرات SVI

آزمایش بر روی لجن اولیه نشان دهنده سبک بودن آن و در نتیجه بالا بودن میزان SVI در حدود ۵۰۰ mL/g بود. با به کار افتادن سیستم به تدریج بر میزان MLSS افزوده و مقدار SVI کاهش پیدا کرد. رشد گرانول‌ها و کاهش SVI باعث افزایش سرعت ته‌نشینی لجن و کاهش زمان ته‌نشینی در سیستم شد. به طوری که مدت زمان فاز ته‌نشینی در راکتورها از حدود ۱ ساعت در روزهای نخستین به ۱۰ دقیقه کاهش پیدا کرد. با تشکیل گرانول‌های رشته‌ای (روز ۱۲۰ ام) به تدریج قابلیت ته‌نشینی سیستم کمتر شد و در مدت زمان فاز ته‌نشینی مقداری از لجن گرانوله به دلیل سبکی از سیستم تخلیه گشت و میزان SVI از مقادیر ۶۰ به ۸۵ میلی‌لیتر بر گرم در R1 و ۵۰ به ۷۵ میلی‌لیتر بر گرم در R2 افزایش یافت.

### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی نشان داد که امکان تشکیل گرانول‌های هوازی در سیستم SBAR وجود دارد و پلیمر، تأثیر مثبتی در تولید گرانول و افزایش راندمان حذف مواد آلی از فاضلاب دارد.

تولید گرانول‌های متراکم با قطر ۱ تا ۲ میلی‌متر و راندمان حذف COD تا میزان ۹۵ درصد در سیکل ۴ ساعت از نتایج مطلوب حاصل از این تحقیق می‌باشد. Kim و همکارانش [۲۲] نیز در سال ۲۰۰۸ با منبع کربنی گلوکز و استات در نرخ بارگذاری ۱/۷۶-۲/۸۴ kg COD/m<sup>3</sup>.d موفق به تولید گرانول با راندمان حذف ۹۵ درصد در سیکل ۶ ساعت شدند. Wang و همکاران [۲۳] نیز در سال ۲۰۰۹ گرانول‌هایی به قطر ۲-۱/۸ میلی‌متر را با منبع NH<sub>3</sub>-N در نرخ بارگذاری ۰/۰۵۲-۰/۴۲۸ kg COD/m<sup>3</sup>.d با راندمان حذف ۹۲ درصد و در سیکل ۶ ساعت در سیستم SBR تولید نمودند.

### ۵- مراجع

- [1] Liu, Y. "Wastewater Purification: Aerobic Granulation in Sequencing Batch Reactors",



- [19] Li A.J., Yang S.F., Li X.Y., Gu J.D. "Microbial Population Dynamics During Aerobic Sludge Granulation at Different Organic Loading Rates" *Water Research* 2008, 42, 3552-3560.
- [20] Thanh B.X., Visvanathan C., Aim R.B. "Characterization of Aerobic Granular Sludge at Various Organic Loading Rates" *Process Biochemistry* 2009, 44, 242-245.
- [21] Zheng Y.M., Yu H.Q., Liu S.J., Liu X.Z. "Formation and Instability of Aerobic Granules under High Organic Loading Conditions" *Chemosphere* 2006, 63, 1791-1800.
- [22] Kim I.S., Kim S.M., Jang A. "Characterization of aerobic granules by Microbial Density at Different COD Loading Rates" *Bioresource Technology* 2008, 99, 18-25.
- [23] Wang F., Lu S., Wei Y., Ji M. "Characteristics of Aerobic Granule and Nitrogen and Phosphorus Removal in a SBR" *Journal of Hazardous Materials* 2009, 164, 1223-1227.
- [13] Beun J.J., Van Loosdrecht M.C.M., Heijnen, J.J. "Aerobic Granulation in a Sequencing Batch Airlift Reactor" *Water Research* 2002, 36, 702-712.
- [14] Liu Y.Q., Tay J.H. "Cultivation of Aerobic Granules in a Bubble Column and an Airlift Reactor with Divided Draft Tubes at Low Aeration Rate". *Biochemical Engineering Journal* 2007, 34, 1-7.
- [15] Fu C.C., Wu W.T., Lu S.Y. "Performance of Airlift Bioreactors with Net Draft Tube" *Enzyme and Microbial Technology* 2003, 33 332-342.
- [16] Zheng Y.M., Yu H.Q., Sheng G.P. "Physical and Chemical Characteristics of Granular Activated Sludge from a Sequencing Batch Airlift Reactor" *Process Biochemistry* 2005, 40, 645-650.
- [17] Knorr, D. "Recovery and Utilization of Chitin and Chitosan in Food Processing Waste Management". *Food Technology*, 1999, 45, 115-127.
- [18] Wang F., Yang F.L., Zhang X.W., Liu Y.H., Zhang H.M., Zhou J. "Effects of Cycle Time on Properties of Aerobic Granules in Sequencing Batch Airlift Reactors" *Microbiology & Biotechnology* 2005, 21, 1379-1384.

Archive