مجله علمی – پژوهشی
مهندسی عمران مدرس
دوره بیست و دوم، شماره۶، سال ۱۴۰۱

تأثیر پدیدهٔ تخریب حد نصاب احساس بر عملکرد سازوکار شکار میکروبی در کاهش لجن مازاد

پونه وثوقی ، حسن امینی راد*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران–محیط زیست، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
۲. استادیار دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مهندسی عمران،گروه مهندسی محیط زیست

H.a.rad@nit.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۳۰

چکیده

امروزه دفع و تصفیه لجن ناشی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دلیل عوامل زیست‌محیطی حائز اهمیت است. استفاده از راکتور بی‌هوازی جانبی در سیستم لجن فعال که با نام تجاری کانیبال(Cannibal) شناخته می‌شود، یکی از روش‌های به‌کار رفته برای کاهش نرخ تولید لجن در خط تصفیه فاضلاب است. در این پژوهش با هدف طراحی یک سیستم ترکیبی مناسب از فرآیند کانیبال و پدیده تخریب حدنصاب احساس (QQ: Quorum Quenching) و به دنبال آن تقویت سازوکار شکار میکروبی به بهبود راندمان کاهش لجن مازاد پرداخته شده است. بر این اساس این پروژه در دو فاز آزمایشگاهی انجام شد و راکتورهای مربوطه با فاضلاب مصنوعی راهبری شدند. در فاز اول از فرآیند کانیبال در قالب یک راکتور آزمایشگاهی استفاده شد و در فاز دوم با تعبیه کردن یک راکتور هوادهی مجزا و اضافه کردن باکتری *Rhodococcus* sp. BH4، باکتری خاموش‌کننده حدنصاب احساس (QS: Quorum Sensing) که در یک ساختار پلیمری آلژینات قرار گرفتند و به عنوان دانه‌های QQ معرفی می‌شوند فرآیند کانیبال اصلاح‌شده طراحی شد. نتایج نشان داد که حضور دانه‌های QQ منجر به افزایش چشم‌گیر جمعیت یوکاریوت‌های شکارچی، پرتوزوآها، شده‌است. ضریب بازدهی (Y_{obs}) در راکتور کانیبال شاهد و کانیبال اصلاح شده به ترتیب برابر ۰/۳۸۹ و ۰/۰۹۲ به دست آمد که کاهش چشم‌گیر ۷۷ درصدی را به همراه داشته‌است. همچنین با افزایش شکار میکروبی، حد نصاب احساس باعث افزایش EPS شده‌است، که به بررسی و تحلیل آن پرداخته شده‌است. احداث تانک پیش‌تصفیه QQ باعث تقویت سازوکار شکار میکروبی در سیستم کانیبال و افزایش چشمگیر راندمان این سیستم شده و لجن مازاد بیولوژیکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: لجن مازاد، فرآیند کانیبال، شکار میکروبی، تخریب حد نصاب احساس

۱. مقدمه

امروزه دفع و تصفیه لجن ناشی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به دلیل عوامل زیست‌محیطی حائز اهمیت است، بنابراین انگیزه قابل‌توجهی برای کشف و توسعه برنامه‌های راهبردی برای کاهش تولید بیش‌از حد لجن در فرآیند های تصفیه فاضلاب وجود دارد [1]. سرانه تولید لجن مازاد در یک تصفیه‌خانه لجن فعال متعارف بین ۱۰۰–۱۵ لیتر به ازای یک کیلوگرم BOD_5 حذف شده گزارش شده است [2] که بیشتر حاوی ۰/۲۵ تا ۱۲ درصد وزنی جامدات هستند [3]. هزینه تصفیه و دفع لجن مازاد ۳۰ تا ۶۰ درصد کل هزینه‌های

راهبری تصفیه‌خانه را شامل می‌شود و از طرف دیگر در صورت دفع غیراصولی آن، دارای پتانسیل ایجاد خطرات زیست‌محیطی شدید در ارتباط با اکوسیستم محیط‌های پذیرنده است [1]. کودوبا و همکاران در سال ۱۹۹۲، برای اولین بار یک سیستم لجن فعال اصلاح شده را معرفی کردند که دارای یک تانک بی‌هوازی در مسیر لجن برگشتی به حوض هوادهی بوده‌است. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان لجن مازاد تولید شده نسبت به راکتور لجن فعال متعارف کم‌تر است. سازوکار استفاده شده در این فرآیند، متابولیسم جفت نشده و خودخوری است. بدین صورت که ذخایر ATP[1] درون سلول باکتری‌ها در حوض بی‌هوازی کاهش یافته و با بازگشت به حوض هوادهی، باکتری‌ها پیش از تولید سلول جدید، شروع به جبران ذخایر انرژی خود می‌کنند، در نتیجه ضریب Y_{obs}(تولید بیومس به ازای مصرف سوبسترا) کاهش می‌یابد [4]. استفاده از فرآیند راکتور بی‌هوازی جانبی یکی از راه‌های کاهش لجن است که با نام کانیبال[2] شناخته می‌شود [5, 6]. این روش به دلیل سادگی فرآیند، عدم نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه چشمگیر، قابلیت سازش با فرآیندهای موجود لجن فعال و عدم نیاز به مواد شیمیایی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بر اساس مطالعات صورت گرفته سازوکارهای حاکم در این سیستم شامل: سازوکار شکار میکروبی، سازوکار خودخوری، تخریب EPS[3]، قحطی و فراوانی سوبسترا و همچنین سازوکار جفت نشده است [7].

نواک و همکاران(۲۰۰۷) هنگام مطالعه‌ای گزارش کردند فرآیند کانیبال میزان مواد جامد کم‌تری نسبت به سیستم لجن فعال معمولی تولید می‌کند، همچنین هیچ‌گونه اثر منفی بر کیفیت پساب خروجی، ته‌نشینی و آب‌گیری لجن ندارد. این فرآیند با هدف تولید لجن مازاد کم‌تر و همچنین افزایش کیفیت پساب خروجی انجام می‌شود. همچنین نواک و همکاران یک سیستم SBR[4] را با یک حوضچه بی‌هوازی تحت نرخ‌های تبادل ۳٪، ۵٪، ۷٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ بررسی کردند و نتایج نشان داد که نرخ ۱۰٪ بیش‌ترین کاهش لجن مازاد را داشته است [8]. در پژوهشی دیگر ۱۰٪ از لجن برگشتی در یک حوض بی‌هوازی نگهداری شد و نتایج نشان داد مقدار MLSS آن ۳۰٪ کاهش یافته‌است [9].

در شکل (۱) سیستم کانیبال نشان داده شده است.

شکل ۱. فرآیند کانیبال [10]

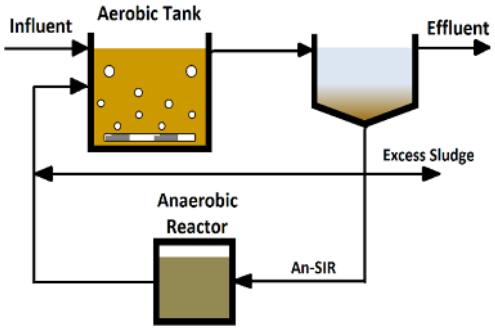


Fig. 1. Cannibal Process

تکدستان و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی اثر حوضچه بی‌هوازی بر کیفیت پساب خروجی و قابلیت تهنشینی لجن را بررسی کردند و به راندمان کاهش لجن ۶۰٪ رسیده‌اند [10]. فوکوآ و همکاران در سال ۱۹۹۴ برای اولین بار اصطلاح حد نصاب احساس (QS) را مطرح کردند [11]. حد نصاب احساس به تولید، رهاسازی و شناسایی مولکول‌های پیام‌رسان کوچک (خودالقاگرها) توسط میکروارگانیسم‌ها گفته می‌شود [12]. تخریب حد نصاب احساس (QQ)، اختلال در سازوکار حد نصاب احساس است، تجزیه آسیل هموسرین لاکتون‌ها (AHLs) پرکاربردترین و عملی‌ترین مسیر برای ایجاد تداخل در سیستم QS است. کاهش AHLsها از راه‌های گوناگون حاصل می‌شود که می‌توان به آنزیم‌های خاص از جمله آنزیم های آسیلاز، لاکتوناز، پاراکسوناز و اکسیدردوکتاز اشاره کرد [13]. تاکنون باکتری‌های زیادی با ویژگی QQ در راکتورهای بیولوژیکی تصفیه فاضلاب گزارش شده‌اند [14]. در شکل (۲) تصویر شماتیک سیستم QS و QQ نشان داده شده است. صالحی و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از راکتور بی‌هوازی جانبی در فرآیند SBR و بررسی پدیده حد نصاب احساس

۱. Adenosine triphosphate
2. Cannibal
۳. Extracellular Polymeric Substances
4. Sequencing Batch Reactor

به کاهش لجن مازاد پرداختند. پدیده حد نصاب احساس در این پژوهش منجر به افزایش ۲۳ درصدی راندمان کاهش لجن مازاد فرایند کانیبال شده‌است. همچنین سازوکار شکار میکروبی در این سیستم افزایش یافت [15, 16].

شکل ۲. شماتیک سیستم الف) حد نصاب احساس ب) تخریب حد نصاب احساس [15].

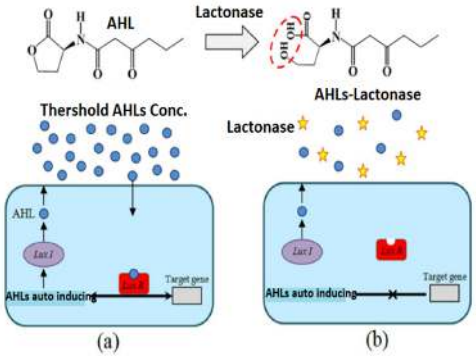


Fig. 2. Schematic system: a) Quorum Sensing b) Quorum Quenching

در این پژوهش یک راهکار مناسب برای افزایش راندمان سیستم کانیبال پیشنهاد شده است؛ که از آن با نام فرآیند کانیبال اصلاح شده تعبیر شده است. با استفاده از پدیده ضد حد نصاب احساس(QQ)، بوسیله دانه‌های QQ به عنوان خاموش‌کننده حد نصاب احساس در یک راکتور هوادهی مجزا، سازوکار شکار میکروبی در سیستم کانیبال تقویت شده و راندمان سیستم افزایش می‌یابد. در نتیجه این پژوهش با هدف بهینه‌سازی و طراحی مناسب سیستم کانیبال و پدیده تخریب حد نصاب احساس انجام شده‌است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ ساخت دانه‌های Quorum Quenching

این دانه‌ها به طور کلی دارای ساختاری کروی با قطر معمول ۵/۵ میلی‌متر بوده‌اند. یکدست بودن دانه‌ها و مقدار سطح ویژه دانه ها از عوامل مهم و تأثیر گذار بر فعالیت آن ها است. دانه‌های QQ برای تخریب سیستم حدنصاب احساس ساخته شدند که برای این منظور از باکتری *Rhodococcus sp.* BH4 استفاده شد. باکتری مورد نظر در محیط کشت نیمه جامد Luria- Bertani agar 1.5% به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد انکوبه شد. سپس باکتری از روی پلیت‌ها جمع‌آوری شده و به محلول ۴٪ سدیم آلژینات افزوده شدند تا در نهایت محلولی با غلظت باکتری ۴-۵ mg/ml بدست آید. این محلول به صورت قطره‌چکانی در محلول ۳٪ کلسیم کلراید ریخته شد تا دانه‌های QQ در داخل محلول کلسیم کلراید شکل گیرند. پس از ۲۰ دقیقه دانه‌ها از محلول خارج و سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند [17]. شکل (۳) دانه‌های QQ را نشان می‌دهد.

شکل ۳. دانه‌های QQ

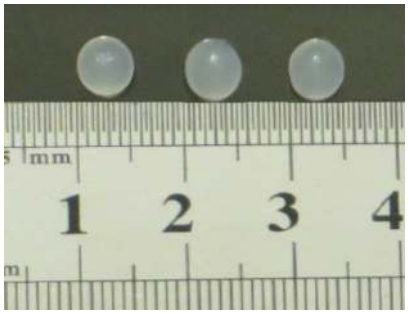


Fig. 3. QQ beads

۲-۲ راکتورهای بیولوژیکی

برای راه‌اندازی سیستم، راکتورهای بیولوژیکی در دو مرحله آزمایشگاهی به صورت ناپیوسته متوالی ساخته شدند. مرحله اول تحت فرآیند کانیبال با استفاده از راکتور هوازی اصلی و راکتور بی‌هوازی جانبی با نرخ تبادل ۱۰٪ لجن و مرحله دوم با اضافه کردن راکتور پیش‌تصفیه‌ی هوازی QQ که شامل ۲۵٪ لجن راکتور هوازی کانیبال به همراه ۲۰۰ دانه QQ بوده است، تحت عنوان کانیبال اصلاح شده راهبری شدند. حجم مفید هر راکتور ۴ لیتر بوده و به صورت سیکل ۸ ساعته خوراک‌دهی می‌شدند. از فاضلاب مصنوعی برای خوراک‌دهی به راکتورهای مدنظر استفاده شده در جدول (۱) ترکیبات فاضلاب مصنوعی مورد استفاده و در شکل (۳) شماتیک راکتورهای بیولوژیکی نشان داده شده‌است.

جدول ۱. ترکیبات فاضلاب مصنوعی

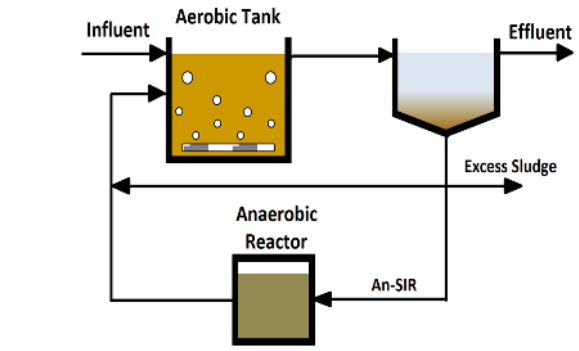
Trace element solution		Medium composition	
[g/l]	composition	[mg/l]	composition
2.73	Citric acid	300 (COD)	Peptone water
1.5	$FeCl_3.6H_2O$	100 (COD)	CH3COONa
0.25	H_3BO_3	60	NH_4HCO_3
0.15	$ZnSO_4.7H_2O$	57	NH_4Cl
0.12	$MnCl_2.4H_2O$	220	$CaCl_2$
0.06	$CuSO_4.5H_2O$	394	$NaHCO_3$
0.03	$Na_2MoO_4.2H_2O$	34	$KHSO_4$
0.03	$CoCl_2.6H_2O$	15	KH_2PO_4
0.03	$NiCl_2.6H_2O$	150	$MgSO_4.7H_2O$
0.03	KI	1 (ml/l)	Trace element solution

Table.1. characteristics of synthetic wastewater

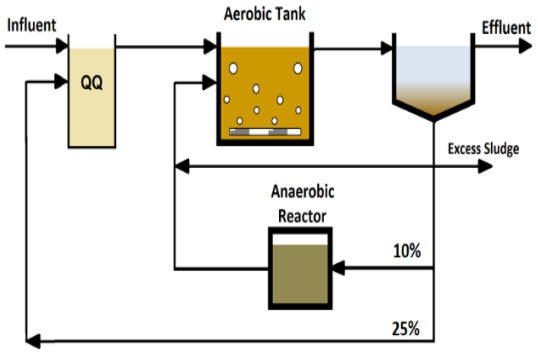
مدت هوادهی تانک پیش‌تصفیه هوازی QQ، ۳ ساعت تنظیم شده و پس از اتمام مدت هوادهی به راکتور هوازی اصلی منتقل می‌شدند. فاضلاب مصنوعی ورودی دارای COD ورودی برابر ۴۰۰ mg/l و میزان فسفات ۵/۷ mg/l و آمونیاک ورودی ۲۸/۷ mg/l بوده است [9].

تمامی مواد شیمیایی ساخت فاضلاب مصنوعی محصول شرکت مرک آلمان با شد آزمایشگاهی (خلوص بیشتر از ۹۷٪) بوده است. همچنین غلظت MLSS حوض هوادهی تمامی راکتورها به صورت کنترل شده روی ۲۵۰۰±۲۰۰ mg/l تنظیم شد.

شکل ۳. الف) فرآیند کانیبال متعارف ب) فرآیند پیشنهادی کانیبال اصلاح شده



(الف)



(ب)

Fig. 3. Biological Reactors a) Cannibal b) Modified Cannibal

۳-۲ آزمایش‌ها

تمامی آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش بر اساس دستورالعمل‌های کتاب استاندارد انجام شده است [18]. همچنین کلیه آزمایش‌ها حداقل ۳ بار تکرار شده‌است تا خطای آزمایش به حداقل برسد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ بررسی ضریب بازدهی Y_{obs}

به منظور بررسی کاهش لجن مازاد، تغییرات MLSS در تانک هوادهی اصلی و همچنین میزان حذف COD پساب خروجی اندازه‌گیری شد. در طول این تحقیق میزان MLSS به‌طور روزانه روی ۲۵۰۰ mg/l تنظیم شده‌است. مطابق شکل (۴) ضریب بازدهی Y_{obc} شیب نمودار تجمعی MLSS-COD است. مطابق شکل در فاز اول طی فرآیند

متعارف کانیبال شـــیب نمودار (Y_{obs}) برابر ۰/۳۸۹ و در فاز دوم با تعبیه مرحله پیش تصـــفیه هوازی QQ، دانه‌های QQ، در یک تانک هوادهی مجزا شـــیب نمودار به ۰/۰۹۲ رســـیده اســـت که نســـبت به فاز اول ٪۷۷ کاهش داشـــته‌اســـت. این ضـــریب تولید لجن بدســـت آمده مشـــابه ضـــرایب Y_{obs} در ســـیســـتم‌های بی‌هوازی اســـت [19]. بر اســـاس آنچه انتظار می‌رفت، در این تحقیق راکتور پیش‌تصـــفیه هوازی QQ به منظور افزایش شـــکار میکروبی تعبیه شـــده اســـت که می‌تواند دلیلی بر کاهش ضریب Y_{obs} باشد در ادامه این فاکتور مورد بررسی دقیق‌تر قرار خواهد گرفت.

شکل ۴. بررسی ضریب بازدهی Y_{obc}

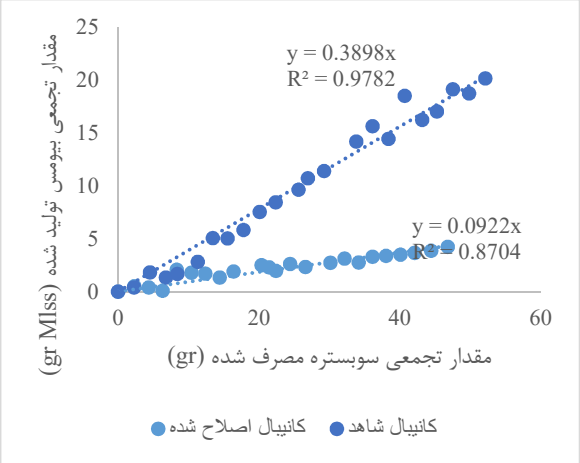


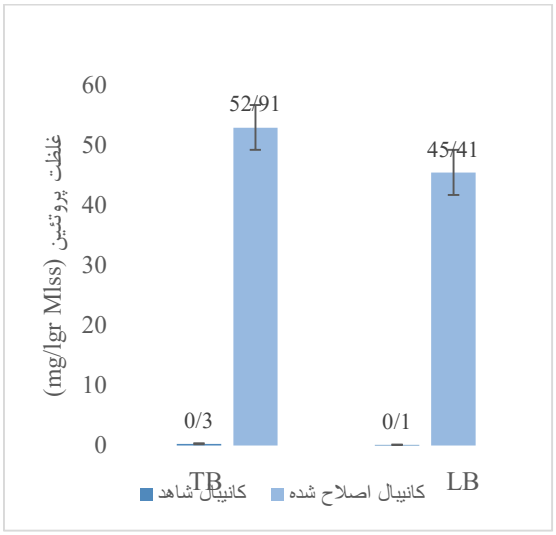
Fig .4. Y_{obc} Coefficient

۳-۲ ترکیبات پلیمری خارج‌سلولی EPS

در لجن فعال ٪۷۰–٪۸۰ ترکیبات پلیمری خارج سلولی شامل پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها هســـتند [20]. بنابراین در این پژوهش غلظت پروتئین و پلی‌ساکارید در دو لایه LB-EPS[1] و TB-EPS[2] اندازه‌گیری شده‌است. مطابق شکل (۵) غلظت پروتئین و پلی ســـاکارید EPS در فرآیند کانیبال شـــاهد و کانیبال اصـــلاح شـــده نشـــان داده شـــده‌اســـت، مجموع غلظت پروتئین در فاز اول برابر ۰/۴ mg/l و در فاز دوم برابر ۹۸/۳ mg/l شـــده‌اســـت که به طور کلی افزایش چشـــم‌گیری داشـــته اســـت. همچنین غلظت پلی‌ســـاکارید در فاز اول برابر ۸۹/۶ و در فاز دوم در فرآیند کانیبال اصلاح شده برابر ۱۲۱/۵۷۸ mg/l بوده‌است که روند افزایشی داشته‌است.

شکل ۵ . غلظت ترکیبات پلیمری خارج سلولی (EPS) (الف) پروتئین، (ب) پلی-ساکارید

(الف)



(ب)

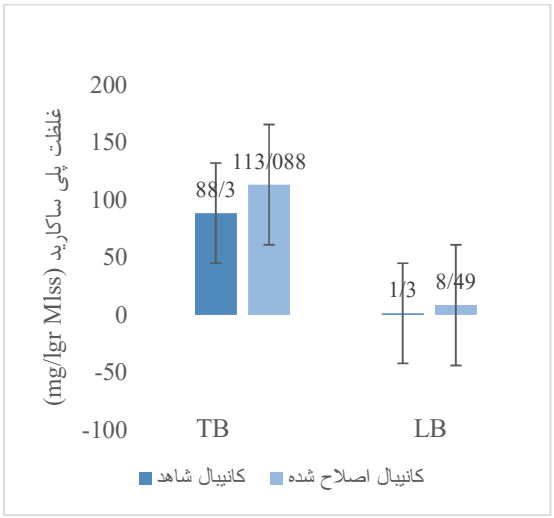


Fig .5. Concentration of Extracellular polymeric substances: a) Protein b) Polysaccharid

سانگ و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که سیستم QS روی تولید پروتئین اثر گذار اســت [21]. نتایج نشـان دادند که لایه TB-EPS بیش‌ترین غلظت پلی‌ســـاکاریدها و پروتئین‌ها را داشته است که مطابق با نتایج سایر تحقیقات انجام شده بوده

۱ .Tightly Bound

2. Loosely Bound

است [22, 23]. پاسخ سیستم QS به این شرایط در ساختار لجن فعال منجر به افزایش غلظت EPS شده‌است. تأثیر سیستم QS بر تولید EPS در لجن فعال در مطالعات پیشین بیان شده است [24, 25]. همانطور که مشاهده شد می‌توان این‌گونه اظهارکرد که حد نصاب احساس باعث افزایش تولید آن شده‌است. ترشح EPS یکی از توابع سیستم QS است [26]. سیگنال‌های AHLs توسط آنزیم لاکتاناز، ترشح شده توسط باکتری *Rhodococcus* sp. BH4، هیدرولیز شده‌اند که در چندین مطالعه این فرآیند مورد تائید قرار گرفته است [27,28]؛ که البته این امر در راکتور پیش‌تصفیه هوازی که شامل دانه‌های QQ بوده‌است رخ داده است. در تحقیق انجام شده توسط شاو و همکاران (۲۰۰۹) مشخص شد که میزان پروتئین در لایه LB-EPS بسیار ناچیز، ۹/۶٪ در لایه‌ی TB-EPS و ۸۰/۷٪ در باقیمانده لجن وجود داشته است [29].

۳-۳ بررسی جمعیت یوکاریوت های شکارچی، پرتوزوآها

یوکاریوت‌های شکارچی، شامل پرتوزواها و متازواهای کوچک، حدود ۹٪ جامدات فرار لجن فعال را تشکیل می‌دهند [30]. شکار میکروبی یکی از سازوکارهای کاهش لجن مازاد است که به دو فاکتور زیر وابسته است: ۱) جمعیت پروتوزوا ها؛ ۲) تعداد باکتری های آزاد در دسترس برای شکارچیان. در مطالعات پیشین، در زمینه تأثیر راکتور بی‌هوازی جانبی بر جمعیت شکارچیان میکروبی حوض هوادهی گزارشی ارائه نشده است. با استفاده از میکروسکوپ نوری، محلول لوگول (برای فلج کردن پرتوزوآ) و لام نئوبار، جمعیت پرتوزوآها در پنج گروه شامل: سیلیاته‌های خزنده (Free swimming ciliates)، سیلیاته های چسبیده (Attached ciliates)، روتیفرها (Rotifers)، تاژک‌داران(Flagellates) و پرتوزوآهای خورشیدی (Heliozoa) شمارش و بررسی شدند. پرتوزوآها از ذرات آلی معلق و یا باکتری‌ها تغذیه می‌کنند، لذا از آن‌ها عضوی مهم در سیستم‌های تصفیه فاضلاب لجن فعال برای زلال‌سازی جریان پساب خروجی [31] و همچنین کاهش لجن مازاد هستند.

مطابق شکل (۷) گونه‌های پرتوزوآیی به ازای ۲۰ µl نمونه لجن شمارش شدند. همانطور که مشاهده می‌شود جمعیت این گونه‌ها در فاز دوم کانیبال اصلاح شده رشد چشم‌گیری داشته است. بیش‌ترین رشد مربوط به تاژک‌داران و سیلیاته‌های چسبنده بوده‌است.

شکل ۷. جمعیت گونه‌های مختلف پرتوزوآهای شکارچی

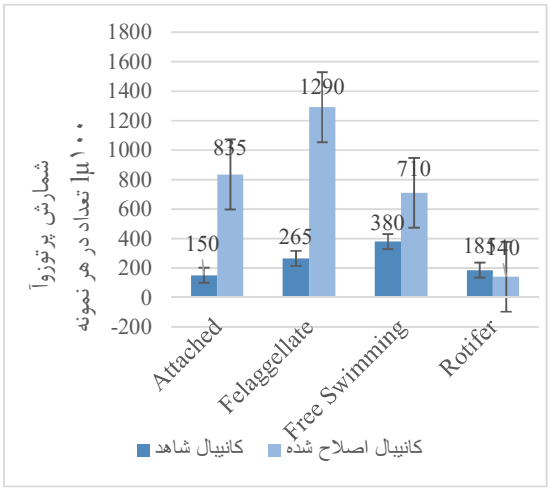


Fig.7. Population of different predator Protozoa

مطابق با آنچه پیش‌بینی می‌شد، ایجاد تانک پیش تصفیه هوازی شامل دانه‌های QQ در کانیبال اصلاح شده منجر به افزایش باکتری‌های آزاد شده که در نهایت شکار پرتووزوآها می‌شوند و به دنبال آن جمعیت شکارچیان افزایش می‌یابد. رشد هر کدام از این گونه‌ها نیازمند شرایط خاصی است. برای نمونه تاژک‌داران که اغلب از باکتری‌های آزاد تغذیه می‌کنند (نه باکتری های چسبیده به فلاک های بیولوژیکی)، بیانگر شرایط نسبت غذا به جرم (F/M) بالا و یا کمبود اکسیژن است [30]. فرآیندهای دارای سیکل‌های هوازی-غیرهوازی شرایط مناسبی برای رشد و ایجاد تنوع در جمعیت پرتوزوآها دارند. همچنین فرآیندهای دارای راکتور بی‌هوازی جانبی که بیشتر دارای SRT بالاتری هستند نیز امکان رشد این جانوران شکارچی را فراهم می‌سازند.

۴- نتیجه‌گیری

تولید لجن یکی از مشخصه‌های خاص فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌باشد. مقدار تولید لجن بیولوژیکی و مشخصات کیفی آن علاوه بر ویژگی های کمی و کیفی فاضلاب به فرآیند تصفیه و شرایط راهبری آن بستگی دارد. از معایب عمده فرآیندهای هوازی تصفیه بیولوژیکی، تولید حجم نسبتاً بالای لجن مازاد است. فرآیند کانیبال به دلیل پایین بودن هزینه‌های ساخت و راهبری و همچنین سادگی طراحی، از جمله سیستم‌هایی است که به تازگی مورد توجه بیشتر پژوهشگران قرار گرفته است. در فاز اول این پژوهش با استفاده از فرآیند کانیبال به کاهش لجن مازاد تولیدی پرداخته شد، در فاز دوم با اضافه کردن یک راکتور پیش‌تصفیه هوازی شامل دانه‌های QQ، سازوکار شکار میکروبی افزایش یافت و کاهش شدید ضریب Y_{obc} را به‌دنبال داشت. همانطور که انتظار می‌رفت تخریب پدیه حد نصاب احساس در راکتور پیش تصفیه منجر به افزایش باکتری‌های آزاد شده و بدین ترتیب موقعیت را برای شکارچیان در راکتور هوازی فراهم کرده‌است با شمارش جمعیت یوکاریوت‌های شکارچی نتیجه گرفته شد سازوکار شکار میکروبی در سیستم افزایش یافته و به‌دنبال آن راندمان سیستم بهبود یافته است.

۵. مراجع

[1] Wei Y, Van Houten RT, Borger AR, Eikelboom DH, Fan Y. Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment. Water Res. 2003;37(18):4453–67.

[2] Erden G, Demir O, Filibeli A. Disintegration of biological sludge: Effect of ozone oxidation and ultrasonic treatment on aerobic digestibility. Bioresour Technol. 2010;101(21):8093–8.

[3] Spinosa, L., Vesilind, P. A., Sludge into biosolids: processing, disposal and utilization, IWA Publishing, UK, 2001.

[4] Chudoba, P., Chudoba J., Capdeville B., (1992), The Aspect of Energe2c Uncoupling of Microbial Growth in the Activated Sludge Process-OSA system, Wat. Sci. Tech., 26, 2477-2480.

[5] Novak, J. T., Chon, D. H., Cur2s, B. A., Doyle, M., 2006, Reduc2on of Sludge Genera2on Using the Cannibal Process: Mechanisms and Performance, in: Residuals and Bio-solids managementConference.

[6] Chudoba, P., Chudoba J., Capdeville B., (1992), The Aspect of Energe2c Uncoupling of Microbial Growth in the Activated Sludge Process-OSA system, Wat. Sci. Tech., 26, 2477-2480.

[7] Huang, X., Liang, P., Qian, Y., (2007), Excess sludge reduc2on induced by Tubifex in a recycled sludge reactor, Journal of Biotechnology, 127, 443-451.

[8] J.T. Novak, D.H. Chon, B.A. Curtis, M. Doyle, Biological solids reduction using the Cannibal process, Water Environ. Res. 79 (2007) 2380–2386. doi:10.2175/106143007x183862.

[9] L. Sun, C.W. Randall, J.T. Novak, The influence of sludge interchange times on the oxic-settling-anoxic process, Water Environ. Res. 82 (2010) 519–523.

[10] A. Takdastan, F. Karimi, N. Orooji, Effect of Oxic-Settling Anoxic Process on Operation Parameters and Biological Excess Sludge Reduction in Sequencing Batch Reactor Activated Sludge, J. Maz. Univ. Med. Sci. 28 (2018).

[11] Fuqua, W. C., Winans, S. C., Greenberg, E. P., (1994), Quorum sensing in bacteria: the LuxR-LuxI family of cell density-responsive transcrip2onal regulators, Journal of Bacteriology, 176, 269-275.

[12] Hooshangi, S., Bentley, W. E., (2008), From unicellular proper2es to mulcellular behavior: bacteria quorum sensing circuitry and applica2ons, Current opinion in biotechnology, 19.555-550.

[13] Hu, J. Y., Fan, Y., Lin, Y. H., Zhang, H. B., Ong, S. L., Dong, N., Xu, J. L., Ng, W. J ,.Zhang, L. H., (2003), Microbial diversity and prevalence of virulent pathogens in biofilms developed in a water reclama2on system, Research in microbiology, 154, 623-629.

[14] Cheong, W.-S., Lee, C.-H., Moon, Y.-H., Oh, H.-S., Kim, S.-R., Lee, S. H ,.Lee, C. H., Lee, J.-K., (2013), Isola2on and Identification of Indigenous Quorum Quenching Bacteria, Pseudomonas sp. 1A1, for Biofouling Control in MBR, Industrial & Engineering Chemistry Research, 52, 10554-10560.

[15] Salehiziri M, Amini H, Novak JT. Disruption of cell to cell communication in the aeration

unit of a cannibal process : Sludge reduction efficiency and related mechanisms. Biochem Eng J. 2018;137:326–33.

[16] Salehiziri M, Amini H, Novak JT. Chemosphere Preliminary investigation of quorum quenching effects on sludge quantity and quality of activated sludge process. Chemosphere. 2018;209:525–33.

[17] S.R. Kim, H.S. Oh, S.J. Jo, K.M. Yeon, C.H. Lee, D.J. Lim, C.H. Lee, J.K. Lee,Biofouling control with bead-entrapped quorum quenching bacteria inmembrane bioreactors: physical and biological effects, Environ. Sci. Technol.47 (2013) 836–842.

[18] Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th edition.

[19] Wang, J., Zhao, Q., Jin, W., Lin, J. (2008). "Mechanism on minimization of excess sludge in oxicsettling anaerobic (OSA) process", Frontiers of Environmental Science & Engineering in China, 2(1), 36–43.

[20] M.F. Dignac, V. Urbain, D. Rybacki, A. Bruchet, D. Snidaro, P. Scribe, Chemical description of extracellular polymers: Implication on activated sludge floc structure, in: Water Sci. Technol., 1998: pp. 45–53. doi:10.1016/S0273-1223(98)00676-3.

[21] S. R. Kim et al., "Biofouling control with bead-entrapped quorum quenching bacteria in membrance bioreactors: Physical and biological effects, '' Environ. Sci. Technol., vol. 47, no. 2, pp. 836-842, 2013.

[22] G.P. Sheng, H.Q. Yu, Characterization of extracellular polymeric substances of aerobic and anaerobic sludge using three-dimensional excitation and emission matrix fluorescence spectroscopy, Water Res. 40 (2006) 1233–1239. doi:10.1016/j.watres.2006.01.023.

[23] X.Y. Li, S.F. Yang, Influence of loosely bound extracellular polymeric substances (EPS) on the flocculation, sedimentation and dewaterability of activated sludge, Water Res. 41 (2007) 1022–1030. doi:10.1016/j.watres.2006.06.037.

[24] Y.C. Li, J.R. Zhu, Role of N-acyl homoserine lactone (AHL)-based quorum sensing (QS) in aerobic sludge granulation, Appl. Microbiol. Biotechnol. 98 (2014) 7623–7632. doi:10.1007/s00253-014-5815-3.

[25] C.H. Tan, K.S. Koh, C. Xie, M. Tay, Y. Zhou, R. Williams, W.J. Ng, S.A. Rice, S. Kjelleberg, The role of quorum sensing signalling in EPS production and the assembly of a sludge community into aerobic granules, ISME J. 8 (2014) 1186–1197. doi:10.1038/ismej.2013.240.

[26] A.J. Silva, J.A. Benitez, J.H. Wu, Attenuation of bacterial virulence by quorum sensing-regulated lysis, J. Biotechnol. 150 (2010) 22–30. doi:10.1016/j.jbiotec.2010.07.025.

[27] H.S. Oh, S.R. Kim, W.S. Cheong, C.H. Lee, J.K. Lee, Biofouling inhibition in MBR by Rhodococcus sp. BH4 isolated from real MBR plant, Appl. Microbiol. Biotechnol. 97 (2013) 10223–10231. doi:10.1007/s00253-013-4933-7.

[28] N. Bouayed, N. Dietrich, C. Lafforgue, C.H. Lee, C. Guigui, Process-oriented review of bacterial quorum quenching for membrane biofouling mitigation in membrane bioreactors (MBRs), Membranes (Basel). 6 (2016). doi:10.3390/membranes6040052.

[29] L. SHAO, P. HE, G. YU, P. HE, Effect of proteins, polysaccharides, and particle sizes on sludge dewaterability, J. Environ. Sci. 21 (2009) 83–88. doi:10.1016/S1001-0742(09)60015-2.

[30] P. Madoni, Estimates of ciliated protozoa biomass in activated sludge and biofilm, Bioresour. Technol. 48 (1994) 245–249. doi:10.1016/0960-8524(94)90153-8.

[31] W. Pauli, K. Jax, S. Berger, Protozoa in Wastewater Treatment : Function and Importance, Handb. Environ. Chem. Vol. 2 Part K. 2 (2001) 203–252. doi:10.1007/10508767-3.

The effect of Quorum Quenching System on Microbial Predation mechanism in excess sludge reduction

Pooneh Vosughi[1], Hassan Amini Rad[*2]

1 M. SC Student, Environment group. Faculty of civil and environmental Eng., Noshirvani University of technology

2 Assistant professor, Environment Group., Faculty of civil and environmental Eng., Noshirvani University of technology

h.a.rad@nit.ac.ir

Abstract

The removal and treatment of sludge from municipal wastewater treatment plants is important due to environmental factors, so there is a significant incentive to discover and develop strategic plans to reduce excess sludge production in sewage treatment processes. Activated sludge system is used as the main biological process for municipal and industrial wastewater treatment and an excess sludge production rate in this process is between 15-100 liters per kilogram of removed BOD_5. One of The usages an anaerobic reactor in the activated sludge system known as the Cannibal process that is one of the conventional methods used to reduce the sludge production rate at the sewage treatment line, which has low operating costs and relative simplicity to process design. The system's overall reducing efficiency is generally up to 50%. The purpose of this process is less production of sludge and also improvement of wastewater quality. In order to achieve reduction in excess sludge production, different mechanisms are considered which include microbial predation, uncoupling metabolism, endogenous metabolism and lysis-cryptic growth. The microbial predation mechanism is one of the important mechanisms in the cannibal process that is a suitable choice for reduction of excess sludge because of its low strategic cost and environmental compatibility. The objective of this research is the applicability of Quorum quenching (QQ) phenomenon in a conventional Cannibal process for enhancing the microbial predation mechanism to improve the efficiency of reducing sludge and other effective sludge parameters. Quorum sensing system is a new method of managing social behavior of microbial Population. The decomposition of Acyl Homosserine Lactones (AHL) is the most usable and practical way for creating disturbance in Quorum sensing system. For increasing the free bacteria population, Quorum quenching agent is used in the aerobic tank. These enhance microbial predation and show decrease in Extracellular Polymeric Substances (EPS). So far many bacteria with QQ feature are reported in biological wastewater treatment reactors. The basis of this project was designed in two laboratory phases and the reactors were operated with synthetic wastewater. In the first phase, the cannibal process was used in the form of a laboratory reactor, and in the second phase, by installing a separate aeration reactor and adding the *Rhodococcus* sp.BH4 bacteria, a quorum quenching bacteria, in a polymeric structure of alginate and introduced as QQ beads. The modified Cannibal process was designed. Microbial predation mechanism is one the methods that increase population of eukaryotic predators by changing the microbial structure of activated sludge system; by this method, efficiency of reduction of excess sludge production is increased. The results showed that the presence of QQ grains led to an increase in the number of eukaryotic species. The yield coefficient (Y_{obs}) in the modified Cannibal and the control Cannibal was 0.389 and 0.092, respectively, with a significant decrease of 77%. Also, the results of EPS, which indicates the proper functioning of this system, has been analyzed and investigated. The applied QQ primary treatment enhances the Microbial predation mechanism in Cannibal system, significantly improve the efficiency of this system, and biological excess sludge notably is decreased.

Keywords: Excess Sludge, Cannibal Process, Microbial Predation, Quorum Sensing/Quenching.