

بررسی تأثیر انتخابگرهای سه مرحله‌ای اناکسیک بر کاهش پدیده حجیم شدن لجن

حجت‌اله منزوی^۱ پرویز منجمی^۲ ایوب کریمی جشنی^۳

(دریافت ۸۵/۱۰/۱۹ پذیرش ۸۶/۲/۱۸)

چکیده

با وجود تحقیقات گسترده‌ای که پیرامون پدیده حجیم شدن لجن انجام شده است، همچنان به صورتی گسترده شاهد وجود این پدیده هستیم و هنوز راه حلی جامع برای برطرف نمودن این مشکل یافت نشده است. در این تحقیق تأثیر انتخابگرهای سه مرحله‌ای اناکسیک بر پدیده حجیم شدن لجن تحت یک مدل آزمایشگاهی بررسی شد. این آزمایش‌ها شامل دو پایلوت بود که یکی از آنها شامل یک حوض اختلاط کامل هوازی به همراه ته‌نشینی بود که قبل از آن یک انتخابگر سه مرحله‌ای با شرایط اناکسیک قرار داده شد (مدل آزمایشگاهی) و مدلی دیگر که تنها شامل یک حوض اختلاط کامل هوازی به همراه ته‌نشینی به منظور دیدن اثر انتخابگر بود (مدل شاهد). نتایج این تحقیق نشان داد که قابلیت ته‌نشینی لجن در انتخابگر با نسبت‌های F/M به اندازه کافی بالا برای ایجاد نرخ حذف بالای مواد غذایی توسط میکروارگانیسم‌های لخته‌ساز، تحت تأثیر مکانیسم حذف مواد غذایی داخل انتخابگر و بار لخته‌ای قرار می‌گیرد. به این صورت که در بارهای لخته‌ای پایین، مکانیسم ذخیره‌سازی مواد، غالب می‌گردد که منجر به افزایش قابلیت ته‌نشینی لجن شده و در بارهای لخته‌ای بالا، مکانیسم سوخت و ساز مواد غالب می‌گردد که منجر به کاهش قابلیت ته‌نشینی لجن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: حجیم شدن لجن، میکروارگانیسم‌های رشته‌ای، انتخابگر سه مرحله‌ای اناکسیک، بار لخته‌ای، بار لجن.

Impact of Three-Stage Anoxic Selector on Sludge Bulking Control

Hojjat Elah Monzavi¹ Parviz Monadjemi² Ayoub Karimi Jashni³

(Received May 8, 2006 Accepted Jan. 9, 2007)

Abstract

Despite extensive research carried out on sludge bulking, it is still a common problem world-wide and a comprehensive solution is yet to be developed. In this research, the effect of three-stage anoxic selector on controlling activated sludge bulking is investigated in laboratory sludge systems. These experiments were carried out on two pilot plants; a three-stage anoxic selector preceding a complete mix system (experimental unit) and a complete mix system (control unit). Results from this study indicate that in selector zones with F/M ratios high enough to allow for rapid substrate uptake to occur predominately by floc forming microorganisms, the sludge settleability is influenced by the mode of substrate removal in the selector and by floc loading along the following lines. The substrate storage mechanism predominates in substrate removal for lower floc loadings, leading to improved sludge settleability, while for higher floc loadings the high rate metabolic mechanism predominates for substrate removal, leading to impoverished sludge settleability.

Keywords: Sludge Bulking, Floc Forming Microorganisms, Three-Stage Anoxic Selector, Floc Loading, Sludge Loading.

1. MSc Graduate, Department of Civil Engineering, University of Shiraz,
h.monzavi@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Shiraz
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Shiraz

۱- کارشناس ارشد بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز،
h.monzavi@gmail.com
۲- استادیار بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز
۳- استادیار بخش مهندسی راه و ساختمان دانشگاه شیراز

می‌گردد. این انتخابگرها می‌توانند دارای شرایط هوازی، بی‌هوازی و آناکسیک باشند. نحوه عملکرد انتخابگرها بر اساس دو تئوری مطرح انتخاب سینتیکی^۸ و انتخاب متابولیسمی^۹ صورت می‌گیرد. انتخاب سینتیکی براساس این فرض انجام می‌گیرد که دو دسته میکرو ارگانیسم مطرح رشته‌ای و لخته ساز^{۱۰} نرخ رشد متفاوتی بسته به غلظت اولیه مواد غذایی، دارند. طبق این فرضیه در غلظتهای پایین مواد غذایی، رشد میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای (آنچه در سیستم‌های با رژیم هیدرولیکی اختلاط کامل رخ می‌دهد) و در غلظتهای بالا، رشد میکرو ارگانیسم‌های لخته ساز غالب می‌گردد. بر این اساس با توجه به حجم کوچک انتخابگر و در نتیجه آن ایجاد نسبت‌های بالای F/M، رشد میکرو ارگانیسم‌های لخته ساز غالب می‌شود. حال در این شرایط میکرو ارگانیسم‌ها به ذخیره‌سازی مواد غذایی می‌پردازند و هنگامی که وارد حوض هوادهی، جایی که غذای در دسترس میکرو ارگانیسم‌ها در محیط کم است، می‌شوند باکتری‌های لخته ساز از ذخیره سلولی خود مصرف می‌کنند، و میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای که اساساً از مواد محلول تجزیه‌پذیر استفاده می‌کنند به علت عدم وجود این مواد، قادر به رشد و نمو نیستند و از سیستم حذف می‌گردند. لازم به ذکر است که برای گسترش مدل‌های کینتیکی برای کمک به پیش‌بینی نحوه و چگونگی رویداد حجیم شدن لجن باید از کینتیک رشد باکتری‌های رشته‌ای و غیر رشته‌ای در شرایط مختلف آگاه باشیم [۵]. چرا که میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای یافت می‌شوند که دارای نرخ رشدی مشابه لخته‌سازها می‌باشند و طبق این تئوری، حذف کامل این میکرو ارگانیسم‌ها صورت نمی‌گیرد. از اینرو تئوری انتخاب براساس شرایط متابولیسمی متفاوت، مطرح شده است. در این تئوری این گونه بیان می‌گردد که میکرو ارگانیسم‌ها انرژی مورد نیاز خود را از اکسیداسیون مواد آلی به دست می‌آورند با این تفاوت که الکترون‌گیرنده نهایی، به جای اکسیژن محلول در شرایط هوازی، اکسیدهای نیتروژن در شرایط آناکسیک و پلی فسفات‌های ذخیره شده در شرایط بی‌هوازی می‌باشند. در عین حال مثلاً در شرایط آناکسیک تعدادی از میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای قادر به استفاده از اکسیدهای نیتروژن (نیترات، نیتريت، اکسید نیتريك، اکسید نیترو) به عنوان گیرنده الکترون در واکنش‌های انرژی‌زا و در نتیجه آن جذب و ذخیره مواد غذایی نیستند، یا اگر هستند تنها قادر به استفاده از نیترات و تبدیل آنها به نیتريت می‌باشند که این منجر به کاهش بازده آنها در استفاده از اکسیدهای نیتروژن و قابلیت جذب اندک و تجمع کمتر مواد غذایی توسط آنها در مقایسه با

سیستم لجن فعال یکی از پرکاربردترین سیستم‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب در دنیاست [۱]. کاربرد این فرآیند بستگی زیادی به موفقیت در جداسازی آب تصفیه شده و لجن در حوض ته‌نشینی نهایی دارد [۲]. به دلایل مختلف از جمله رشد پراکنده^۱، لخته‌های سوزنی^۲، بالا آمدن لجن^۳، حجیم شدن رشته‌ای^۴ و تشکیل کف^۵ عملکرد این فرآیند دچار مشکل می‌شود [۳].

رشد فزاینده باکتری‌های رشته‌ای^۶ در رقابت با باکتری‌های لخته‌ساز را در داخل توده‌های بیولوژیکی تشکیل شده، حجیم شدن رشته‌ای لجن گویند [۴]. این امر یکی از معمول‌ترین دلایل جداسازی نامناسب توده بیولوژیکی از فاضلاب و در نتیجه آن ته‌نشینی ضعیف در اکثر تصفیه‌خانه‌ها گزارش شده است [۵]. با وجود تحقیقات گسترده‌ای که پیرامون پدیده حجیم شدن لجن انجام شده، همچنان به صورت گسترده‌ای شاهد حضور این پدیده هستیم و هنوز راه حلی جامع برای برطرف نمودن این مشکل یافت نشده است [۶]. به طوری که طبق گفته پروفیسور مایکل ریچارد^۷ در کنفرانس سالانه سازمان محیط زیست آمریکا در سال ۲۰۰۳ بیش از نیمی از تصفیه‌خانه‌های موجود در این کشور دچار این پدیده هستند [۷].

به طور ساده و خلاصه می‌توان علت عدم این ته‌نشینی را عدم ایجاد لخته‌های سنگین و متراکم نسبت به حالتی که این میکروارگانیسم‌ها به مقدار کم وجود دارند ذکر کرد. عدم ته‌نشینی به موقع لجن می‌تواند منجر به خروج درصدی از لجن از حوض ته‌نشینی و افزایش مواد معلق در پساب خروجی، کاهش غلظت لجن در پایین حوض ته‌نشینی و پیرو آن کاهش غلظت میکرو ارگانیسم‌ها در حوض هوادهی و کاهش راندمان تصفیه، رقیق شدن لجن دفعی و افزایش هزینه‌های پمپاژ و تغلیظ لجن شود.

تقریباً به جرئت می‌توان گفت که هیچ سیستم لجن فعالی را نمی‌توان یافت که در مقابل رشد این میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای مقاوم باشد [۳]. میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای در اثر ایجاد شرایط متفاوتی ایجاد می‌گردند. یکی از معمول‌ترین این شرایط، در سیستم‌های با عمر لجن بالا (F/M پایین) اتفاق می‌افتد که یکی از راههای کنترل آن را استفاده از انتخابگر بیولوژیکی ذکر کرده اند [۳]. انتخابگر بیولوژیکی عبارت است از یک حوضچه کوچک که در آن توده بیولوژیکی برگشتی به همراه فاضلاب ورودی مخلوط

¹ Dispersed Growth

² Microflocs (Pinpoint Flocs)

³ Rising Sludge

⁴ Filamentous Bulking

⁵ Foaming and Scum

⁶ Filamentous Microorganisms

⁷ Michael Richard

⁸ Kinetic Selection

⁹ Metabolic Selection

¹⁰ Floc-Former Microorganisms

لخته‌سازها می‌گردد. در انتخابگرهای اناکسیک و بی‌هوایی، هر دو تئوری و در انتخابگرهای هوایی تنها تئوری انتخاب کینتیکی استفاده می‌گردد.

بنابراین، هدف نهایی در استفاده از انتخابگر ایجاد شرایطی است که میکرو ارگانیسم‌های لخته‌ساز با نرخ بیشتری به جذب و تجمع مواد غذایی مخصوصاً مواد سریعاً تجزیه پذیر^۱ پردازند تا در مرحله حضور در حوض هوادهی که مواد غذایی کمتری در دسترس میکرو ارگانیسم‌هاست از ذخیره سلولی خود استفاده کنند؛ در عین این که رشد میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای به علت نداشتن ذخیره کافی و مواد غذایی در محیط متوقف شود.

در این تحقیق، تأثیر انتخابگر با شرایط اناکسیک در کاهش پدیده حجیم شدن لجن رشته‌ای با استفاده از فاضلاب مصنوعی بر روی دو مدل لجن فعال با جریان پیوسته که یکی شامل یک انتخابگر اناکسیک (مدل آزمایشگاهی) و دیگری فاقد آن (مدل شاهد) بود بررسی شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- مدل آزمایشگاهی

مطابق شکل ۱ دو مدل آزمایشگاهی لجن فعال با رژیم هیدرولیکی اختلاط کامل به کار گرفته شد که اولی شامل یک حوض هوادهی و ته‌نشینی بود که قبل از آن یک انتخابگر سه مرحله‌ای با شرایط اناکسیک قرار داشت (مدل آزمایشگاهی) و دومی نیز مشابه مدل اول بود با این تفاوت که انتخابگر به منظور مشاهده اثر آن حذف شده بود (مدل شاهد).

حوضچه هوادهی در هر دو مدل به شکل مکعب مستطیل و به طول ۵۰ سانتی‌متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر، عمق ۵۰ سانتی‌متر و دارای ارتفاع آزاد ۱۵ سانتی‌متر بود. به این ترتیب حجم مفید حوضچه حدود ۱۰۰ لیتر بود که با توجه به دبی ورودی، ۱۰ لیتر در ساعت، زمان ماند ۱۰ ساعت را برای انجام فرآیند تصفیه فراهم می‌کرد. عمل اختلاط به صورت مکانیکی صورت می‌گرفت. به منظور جلوگیری از تشکیل جریان گردابی هنگام اختلاط چهار مانع عرضی داخل این حوضچه ایجاد شد. به منظور ایجاد هوای مورد نیاز از تعدادی پمپ هوای آکواریوم استفاده شد تا هوا با استفاده از شیلنگ‌های پلاستیکی به دیفیوزرهای تعبیه شده در کف حوض هوادهی منتقل گردد. میزان اکسیژن محلول در طول بهره‌برداری به گونه‌ای کنترل می‌شد تا مقدار آن از ۲ میلی‌گرم بر لیتر کمتر نشود.

میزان غلظت MLSS در هوادهی برای غلظتی معادل ۱۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر طراحی شد. لازم به ذکر است که مقدار MLVSS

در کمترین حالات معادل ۹۵ درصد MLSS بود. این امر از آن جهت رخ داد که توده بیولوژیکی به گونه‌ای که ذکر آن در بخش بهره‌برداری پایلوت خواهد آمد در آزمایشگاه ساخته شد و در فاضلاب ورودی نیز عواملی برای ایجاد اختلاف زیاد بین این دو مقدار وجود نداشت. عمر لجن نیز در طراحی، معادل ۱۰ روز در نظر گرفته شد. طبیعی است که این مقدار تنها در مقادیر پایین SVI^۲ (شاخص حجمی لجن) برقرار بود و در مقادیر بالای SVI در اثر پدیده حجیم شدن لجن این مقدار تغییر می‌کرد.

حوض ته‌نشینی نیز به شکل هرمی با ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر، طول ۵۵ سانتی‌متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع آزاد ۱۵ سانتی‌متر بود. شیب جداره انتهایی ته‌نشینی به گونه‌ای تعیین گشت که لجن به سهولت ته‌نشین شده و در انتهای حوضچه جمع گردد. زاویه این سطح با افق ۶۰ درجه انتخاب گردید. زمان ماند ایجاد شده ۲/۸ ساعت و حجم تقریبی آن ۴۲ لیتر بود.

انتخابگر بیولوژیکی به شکل استوانه‌ای با زمان ماند ۱۷ دقیقه و حجم ۹/۶ لیتر (به ترتیب ۲/۴، ۲/۴، ۴/۸) بود. اختلاط در آن نیز به صورت مکانیکی انجام شد به گونه‌ای که هم اختلاط کامل صورت گیرد و هم باعث کشیدن هوا به داخل نشود. مشخصات کلی این دو سیستم در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۲-۲- مشخصات فاضلاب مصنوعی

در این تحقیق از فاضلاب مصنوعی که مشخصات آن در جدولهای ۱ و ۲ آورده شده استفاده شد. در انتخاب فاضلاب مصنوعی سعی شد ترکیبات آن به گونه‌ای صورت گیرد که مدلی از فاضلاب شهری باشد. به عنوان مثال در یک فاضلاب شهری حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد آن را مواد سریعاً تجزیه‌پذیر و حدود ۷۵ درصد آن را مواد کلونیدی تشکیل می‌دهند، که در این فاضلاب کاملاً رعایت شده است. سعی شده تا مواردی چون COD، BOD، ضریب سینتیکی نرخ رشد (k)، نیتروژن، فسفر و... تماماً در محدوده معمول فاضلابها قرار گیرند [۸].

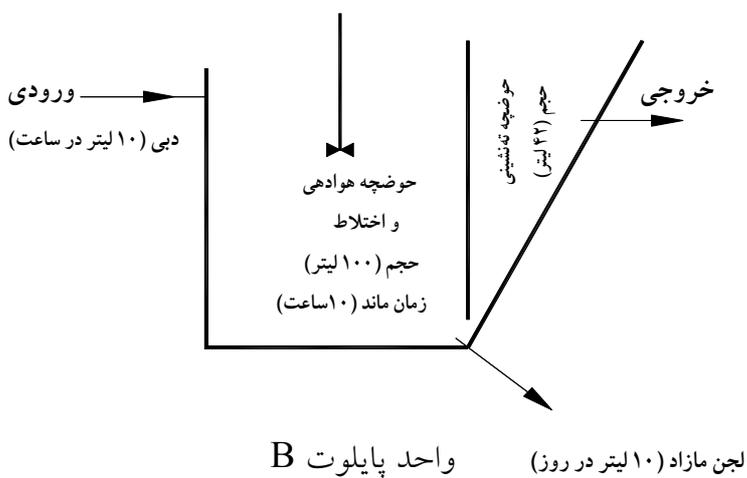
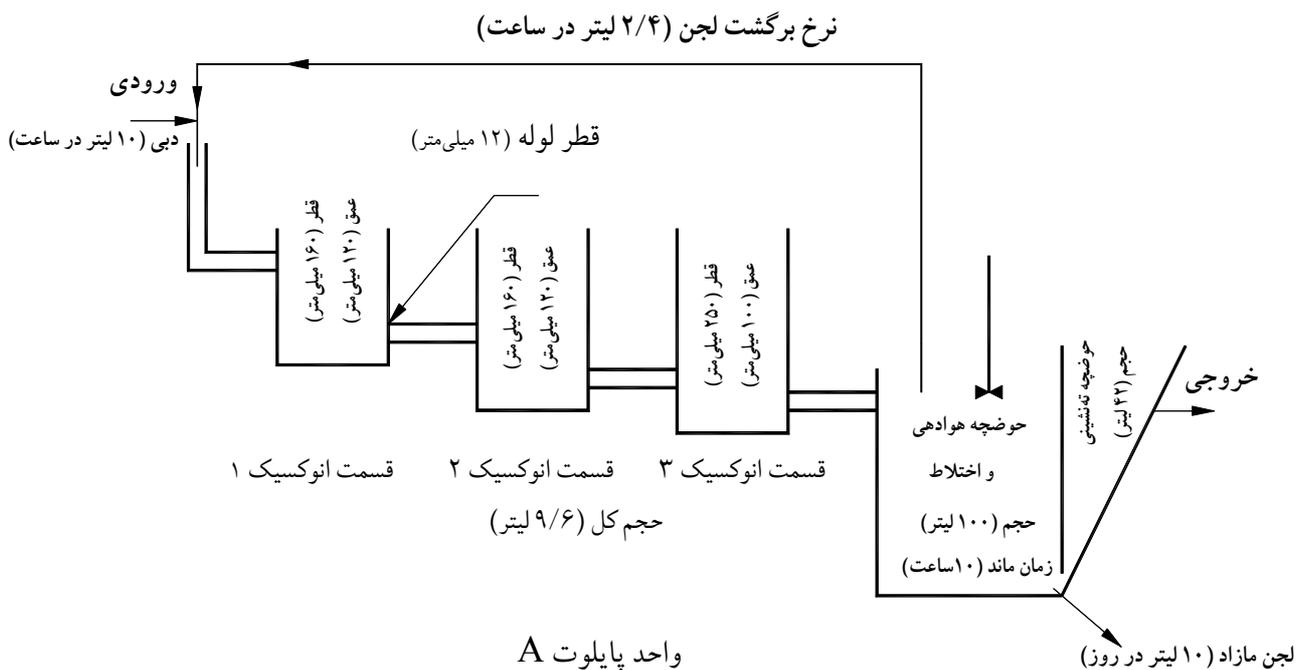
۲-۳- بهره‌برداری و آزمایشها

دوران بهره‌برداری این تحقیق که شامل ۲۲۱ روز بود به چهار دوره تقسیم شد:

فاز اول: به علت عدم دسترسی به توده بیولوژیکی که فاقد میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای باشند تصمیم گرفته شد که این توده بیولوژیکی در آزمایشگاه ایجاد شود. از اینرو ابتدا سیستم به

² Sludge Volume Index

¹ Readily Biodegradable



شکل ۱- نمای کلی از مدل‌های ساخته شده به همراه اجزای آن

روز هوادهی شد. این دوره، ۳۰ روز به طول انجامید. در پایان این دوره MLSS هوادهی حدود ۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود.
فاز دوم (روز ۰ تا ۴۱): سیستم با دبی‌های بسیار کمتر از مقدار طراحی، راه اندازی شد و به تدریج در مدت ۴۱ روز به دبی طرح (۱۰ لیتر بر ساعت) افزایش یافت. در پایان این دوره MLSS هوادهی حدود ۱۶۷۰ میلی‌گرم بر لیتر بود.

صورت ناپیوسته^۱ اجرا شد. به این ترتیب که یک COD نسبتاً بالا (حدود ۱۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) توسط همین فاضلاب مصنوعی در پایلوت‌ها ساخته شد. سپس مقداری کود گیاهی الک شده در آب مخلوط و قسمت صاف شده آن به این فاضلاب اضافه گردید. این مخلوط به مدت یک ماه هوادهی شد. در سه روز پایانی این دوره این مخلوط با ترکیب غلیظی از شیر و شیره انگور پر و به مدت ۳

^۱ Batch

جدول ۱- ترکیبات موجود در فاضلاب مصنوعی ساخته شده

غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	اجزاء تشکیل دهنده
۱۶۳/۲	شیر خشک
۱۶/۲	ساکاروز
۳۷/۶	یون استات
۶	دی پتاسیم هیدروژن فسفات
۷۸	سولفات آمونیوم
۳۰	اوره
۰/۱	کلرید آهن
برای خنثی سازی	سود سوز آور

جدول ۲- مشخصات آزمایشگاهی فاضلاب مصنوعی ساخته شده

غلظت (میلی‌گرم بر لیتر)	مشخصات شیمیایی
۳۰۰±۲۰	COD کل
۲۱۵±۲۰	COD محلول
۲۱۰±۲۰	BOD کل
۱۶۰±۲۰	BOD محلول
۵۵	نیتروژن کل
۵۵	نیتروژن کل کج‌دال
۳۰	نیتروژن آمونیاکی
۲۵	نیتروژن آلی
۱۰	فسفر کل
۴۰±۱۵	مواد معلق
۶۰	قلیائیت

بهره‌برداری به بعد، با نام دوران بهینه عملکرد انتخابگر نامیده شده است که مقادیر شاخص حجمی لجن در محدوده ثابتی باقی ماند. برای کنترل شرایط اناکسیک طبق تعریفی که در مقدمه بیان شد میزان غلظت اکسیژن محلول در انتخابگر به طور مداوم در طول کل بهره‌برداری تعیین می‌شد که کمتر از ۰/۱۹ میلی‌گرم بر لیتر بود. میزان نیترات برگشتی از هوادهی به انتخابگر نیز در کمترین حالت ۴/۱ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر انتخابگر بر شاخص حجمی لجن

شکل ۲ تغییرات SVI در دو مدل آزمایشگاهی و شاهد را در طول زمان نشان می‌دهد (فاز ۲، ۳ و ۴). SVI عبارت است از حجمی که یک گرم لجن خشک پس از نیم ساعت ته‌نشینی در حالت آبدار خود اشغال می‌کند. اگر مقدار SVI بین ۸۰ تا ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم

فاز سوم (روز ۴۱ تا ۸۷): سیستم با دبی طرح مورد بهره‌برداری قرار گرفت. مدت زمان این دوره ۴۶ روز بود. در فاز دوم و سوم توده بیولوژیکی برگشتی از هوادهی به اول خط، با نرخ ۱۰ لیتر بر ساعت وارد می‌شد که زمان ماند ۲۹ دقیقه را برای انتخابگر در فاز سوم ایجاد می‌کرد. در پایان این دوره MLSS هوادهی در مدل آزمایشگاهی برابر ۱۰۸۴ میلی‌گرم بر لیتر و در مدل شاهد برابر ۱۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. در این دوره انتخابگر نه تنها اثر مطلوبی بر روی مقادیر SVI نداشت که باعث افزایش آن نیز بود.

فاز چهارم (روز ۸۷ تا ۱۹۱): در این فاز مقدار نرخ برگشت لجن به ۲۴ لیتر در ساعت افزایش یافت. که به تبع آن زمان ماند انتخابگر به ۱۷ دقیقه کاهش یافت. این دوره ۱۰۴ روز به طول انجامید. در پایان این دوره MLSS هوادهی در مدل آزمایشگاهی برابر ۱۸۳۸ میلی‌گرم بر لیتر و در مدل شاهد برابر ۹۱۸ میلی‌گرم بر لیتر بود. در این دوره انتخابگر اثر مطلوبی بر روی مقادیر SVI نداشت و باعث کاهش آن شد. لازم به ذکر است که از روز ۱۵۰ ام

باشد نشان می‌دهد که ته‌نشینی لجن خوب است ولی وقتی که SVI بیش از ۱۵۰ میلی‌لیتر بر گرم باشد نشان دهنده ته‌نشینی نامناسب لجن است و معمولاً وقتی که SVI بیش از ۲۰۰ میلی‌لیتر بر گرم باشد بایستی انتظار پدیده بالکینگ در تصفیه‌خانه را داشت [۳].

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در مدل آزمایشگاهی انتخابگر در فاز ۲ و ۳ نه تنها عملکرد خوبی بر روی مقادیر SVI نداشته (تا روز ۸۷ام)، بلکه برعکس تأثیر منفی روی ته‌نشینی لجن داشته است. به طوری که در زمان ماند ۲۹ دقیقه (نرخ برگشت لجن ۱۰ لیتر در ساعت) SVI افزایش یافته و به حداکثر میزان خود رسیده است (۵۱۴ میلی‌گرم بر لیتر در مدل آزمایشگاهی و ۴۲۰ میلی‌گرم بر لیتر در مدل شاهد). این در حالی است که در مدل شاهد مقادیر SVI کمتر از مدل آزمایشگاهی است. اما در فاز چهارم یعنی در حالی که زمان ماند انتخابگر به ۱۷ دقیقه کاهش پیدا کرده است (نرخ برگشت لجن ۲۴ لیتر در ساعت) مقادیر SVI روند نزولی طی کرده‌اند به طوری که در دوره بهینه کارکرد (روز ۱۵۰ام بهره‌برداری به بعد) این مقادیر به طور متوسط برابر ۱۱۱ میلی‌لیتر بر گرم می‌باشد که در مقایسه با مقدار متوسط آن در مدل شاهد که دارای ۵۹۷ میلی‌لیتر بر گرم است نشان دهنده تأثیر بسیار مثبت انتخابگر در کاهش مقادیر SVI است. به عبارت دیگر در مدل آزمایشگاهی شامل انتخابگر، میزان تورم لجن به مقدار ۵/۴ برابر به نسبت مدل شاهد کاهش یافته است.

۳-۲- تأثیر بار لخته‌ای^۱ بر عملکرد انتخابگر

همان طور که توسط اکن فلدر^۲ و پاتوکزا^۳ در سال ۱۹۹۰ بیان شده است در طرح یک انتخابگر، ارضای دو شرط متناقض با یکدیگر مورد احتیاج است [۹]. این دو شرط عبارت‌اند از وجود غلظت بالای مواد غذایی در انتخابگر در عین رسیدن به یک راندمان حذف بالا در آن. وجود مواد غذایی بالا به این علت است که طبق تئوری انتخاب کینتیک، در غلظتهای بالا میکرو ارگانیسم‌هایی همچون باکتری‌های لخته‌ای که دارای نرخ رشد بالاتری نسبت به میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای می‌باشند غالب می‌شوند. در حالی که وجود راندمان بالا به علت آن است که مواد غذایی خروجی از انتخابگر (ورودی به حوض هوادهی) به قدری کم باشد که در حوض هوادهی به علت کاهش مواد غذایی قابل دسترس میکرو ارگانیسم‌ها (چرخه تغذیه-گرسنگی^۴) رشد میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای متوقف شده و میکرو ارگانیسم‌های لخته ساز از ذخیره سلولی خود استفاده کنند.

علت متناقض بودن این دو شرط آن است که طبق تئوری‌های موجود نمی‌توان همزمان هر دوی این شروط را ارضا کرد. چراکه طبق اصول سینتیک موجود (مانند رابطه مونود) رسیدن به راندمان حذف زیاد در بارهای آلی بالا مشکل است. برای مثال هر چقدر که بار آلی در انتخابگر افزایش یابد، غلظت تعادلی وارده نیز افزایش می‌یابد. بنابراین این بدیهی است که در عین افزایش نرخ حذف، راندمان حذف انتخابگر نیز کاهش پیدا کند (رابطه مونود نیز مؤید همین موضوع است). بنابراین تاملینسون^۵ و چمبرز^۶ در سال ۱۹۸۲ در کار تحقیقی خود به این نتیجه دست یافت‌اند که هر چقدر میزان نرخ جذب مواد افزایش یابد راندمان حذف کلی مواد کاهش خواهد یافت [۱۰].

پس ما به یک غلظت بهینه و تعادلی از مواد غذایی نیازمندیم تا در حین این که بیشترین بار آلی ورودی را داریم، بیشترین راندمان حذف را نیز داشته باشیم؛ به این ترتیب هم باکتری‌های لخته‌ساز به جای نوع رشته‌ای ترغیب به جذب مواد غذایی در انتخابگر می‌شوند و هم این که در حوض هوادهی به علت کاهش مواد غذایی خروجی از انتخابگر، رشد میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای کاهش می‌یابد.

لازم به ذکر است که منظور از بار لخته‌ای، نسبت فلاکس ماده غذایی ورودی به فلاکس توده بیولوژیکی برگشتی است در یک لحظه خاص. به عبارت دیگر همان بار آلی ورودی صرف‌نظر از زمان ماند هیدرولیکی است. این پارامتر اولین بار توسط آیکلبوم^۷ در سال ۱۹۸۲ تعریف شد [۱۱]. اکثر محققان به علت لحاظ نشدن زمان ماند هیدرولیکی، علاقه‌ای به استفاده از آن نشان ندادند در حالی که در این تحقیق مشخص می‌شود که چگونه مکانیسم حذف مواد در انتخابگر و در نهایت تأثیر مثبت یا منفی آن روی قابلیت ته‌نشینی لجن تحت تأثیر آن واقع می‌شود. شکل ۳ تغییرات بار لخته‌ای را در برابر راندمان حذف COD محلول برای کل انتخابگر و مقدار وزنی جرم حذف شده مواد غذایی داخل انتخابگر را برای فاز ۴ نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود در بارهای لخته‌ای پایین‌تر، راندمان بیشتری ایجاد شده است و جرم حذف شده نیز افزایش یافته است.

فرآیند جذب مواد غذایی^۸ بدون صرف آن در سوخت و ساز و رشد سلول‌ها را رشد نامتعادل یا همان مکانیسم ذخیره سازی^۹ گویند. فرآیند جذب مواد غذایی برای ساخت کربوهیدرات‌ها همزمان با جذب مواد مغذی (مانند نیتروژن) برای ساخت مواد

⁵ Tomlinson

⁶ Chambers

⁷ Eikelboom

⁸ Uptake Substrate

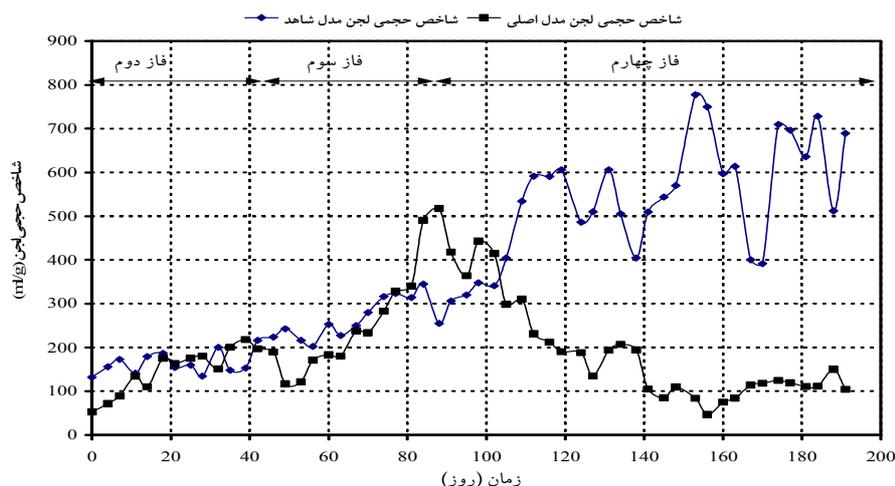
⁹ Unbalanced Growth-Metabolism Mechanism

¹ Floc Loading

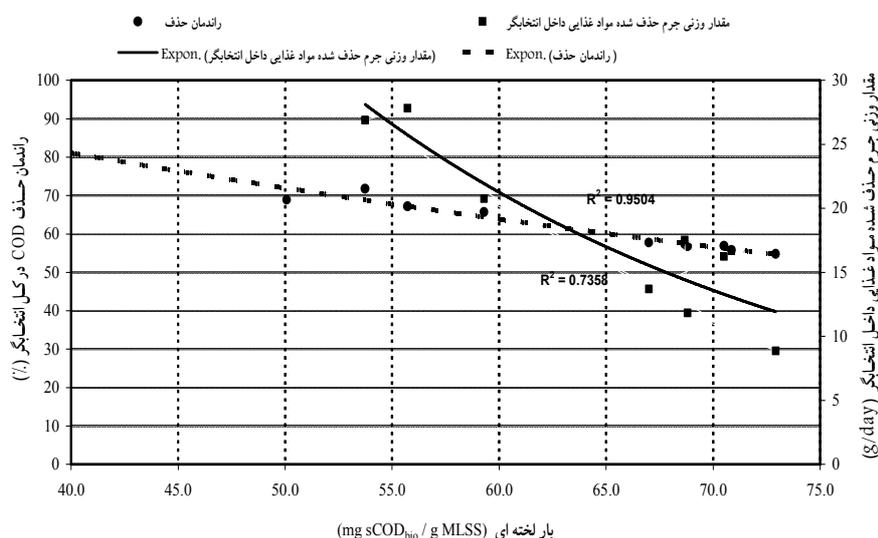
² Eckenfelder

³ Patockza

⁴ Feed-Starve Cycle



شکل ۲- تغییرات پارامتر SVI با استوانه مدرج به حجم ۱۰۰ میلی لیتر نسبت به زمان



شکل ۳- تغییرات راندمان حذف و مقدار جرم از مواد غذایی حذف شده نسبت به بار لخته ای

در شرایط رشد متعادل میزان مصرف نیترات هم برای استفاده در پروتئین سازی هم برای گرفتن انرژی لازم توسط احیای آن برای حذف مواد غذایی، بسیار بالاتر از زمانی است که رشد نامتعادل برقرار است. بنابراین در زمانی که مکانیسم سوخت و ساز حاکم است غلظت نیترات خروجی تقریباً صفر است. بنابراین اگر نسبت COD حذف شده بازای نیترات مصرف شده را در هر دو حالت تعیین کنیم، مقادیر این کسر برای حالت متعادل بسیار کمتر از حالت نامتعادل است. از اینرو طبق نظر جنکینز^۲ در سال ۱۹۹۳ اگر میزان میلی گرم

پروتئینی سلول را رشد متعادل یا همان مکانیسم سوخت و ساز^۱ گویند. از آنجا که مکانیسم ذخیره سازی به نسبت مکانیسم سوخت ساز انرژی کمتری نیاز دارد، از اینرو در این مکانیسم مقدار COD حذف شده از محیط بیشتر خواهد بود. البته تاکنون نقش مکانیسم ذخیره سازی و اهمیت آن در فرآیند لجن فعال بیشتر تحت تأثیر شرایط هوازی یا بی هوازی بررسی شده و توجه کمی به نقش این مکانیسم در شرایط آناکسیک شده است [۱۲]. در این تحقیق مکانیسم ذخیره سازی در این شرایط نیز بررسی شده است. از طرفی

² Jenkins

¹ Balanced Growth-Storage Mechanism

COD حذف شده بازای یک میلی‌گرم نیترات مصرف شده برابر ۸ یا کمتر باشد نشان دهنده وجود مکانیسم سوخت و ساز در حذف مواد است. در حالیکه مقادیر بزرگ‌تر از ۸ حاکی از وجود مکانیسم ذخیره‌سازی است [۱۳]. حال طبق آزمایش‌های انجام شده نتیجه می‌شود، زمانی که بارهای لخته‌ای پایین است (فاز ۴) به علت غالب شدن مکانیسم جذب و ذخیره سازی علاوه بر ذخیره مواد، به علت راندمان بالا در حذف مواد توسط انتخابگر، مواد غذایی در حوض هوادهی در دسترس میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای کم شده و باعث کاهش رشد آنها می‌شود (شکل ۴). در عوض زمانی که بار لخته‌ای بالاست (فازهای ۲ و ۳) مکانیسم سوخت و ساز غالب شده و باکتری‌های لخته ساز هنگام ورود به حوض هوادهی از ذخیره غذایی کافی برخوردار نیستند. از طرفی در این شرایط راندمان حذف مواد غذایی در انتخابگر نیز پایین است که در این شرایط مواد غذایی ورودی به حوض هوادهی منجر به رشد میکرو ارگانیسم‌های رشته‌ای می‌شوند (شکل ۵). شکل ۴ چگونگی تغییرات راندمان حذف و میزان COD حذف شده به ازای نیترات مصرف شده را بر اساس بار لخته‌ای در فاز ۴ نشان می‌دهد. شکل ۵ چگونگی تغییرات راندمان حذف و میزان COD حذف شده بازای نیترات مصرف شده را بر همان طور که از مقایسه دو شکل پیداست در فاز ۳ که مقادیر SVI بالاست علاوه بر مقادیر کمتر COD حذف شده بازای نیترات مصرف شده شاهد راندمان حذف کمتر به علت بار لخته‌ای بیشتر، می‌باشیم. همان طور که از شکل ۴ پیداست، در فاز ۴ مقدار حداکثر حذف در انتخابگر حدوداً برابر ۷۰ درصد است، در حالی که در فاز ۳ مقدار حداکثر حذف حدوداً برابر ۵۰ درصد است. مقدار میلی‌گرم COD حذف شده بازای میلی‌گرم نیترات مصرف شده نیز در فاز ۴

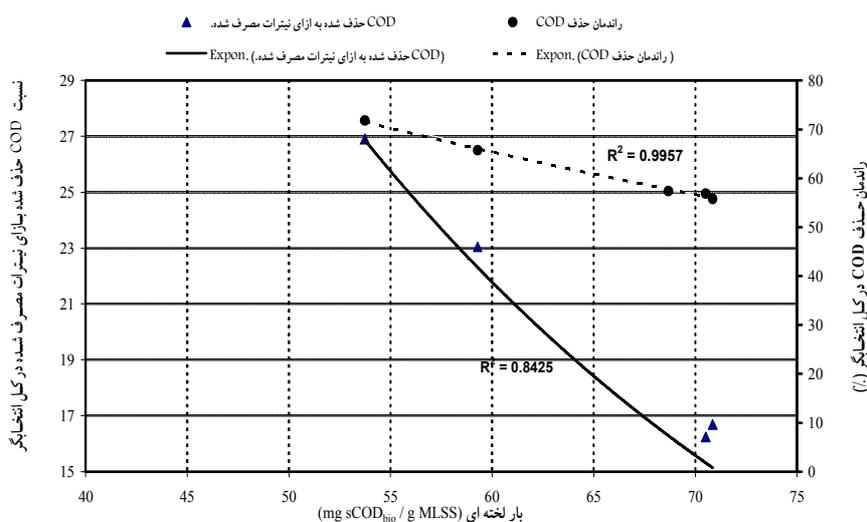
تقریباً در محدوده ۱۵ تا ۲۵ تغییر می‌کند، در حالی که در فاز ۳ در محدوده ۰/۵ تا ۷ تغییر می‌کند که مقدار بسیار پایین تری است. بنابراین مکانیسم حذف مواد غذایی با تغییر بار لخته‌ای، تغییر می‌کند. نکته جالب اینجاست که در تمامی این مراحل مقادیر نسبت F/M در محدوده ۲/۸ تا ۶/۸ برای فاز ۴ و محدوده ۸/۸ تا ۱۹/۲ برای فازهای ۲ و ۳ قرار داشت. که نشان دهنده مقادیر بالایی از F/M است. این موضوع نشان می‌دهد که تنها وجود مقادیر بالایی از نسبت F/M برای مؤثر بودن انتخابگر کافی نیست. از اینرو در عمل می‌توان با تغییر نرخ برگشت لجن و افزایش و کاهش لجن برگشتی و در نتیجه آن کاهش و افزایش بار لخته‌ای، شرایطی را فراهم آورد که بهترین راندمان را از انتخابگر داشته باشیم.

لازم به ذکر است که مقدار نیترات مصرف شده در حالتی که مکانیسم ذخیره‌سازی غالب بود کمتر از ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر و در حالتی که مکانیسم سوخت و ساز غالب بود در محدوده ۳/۱ تا ۶/۷ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بود.

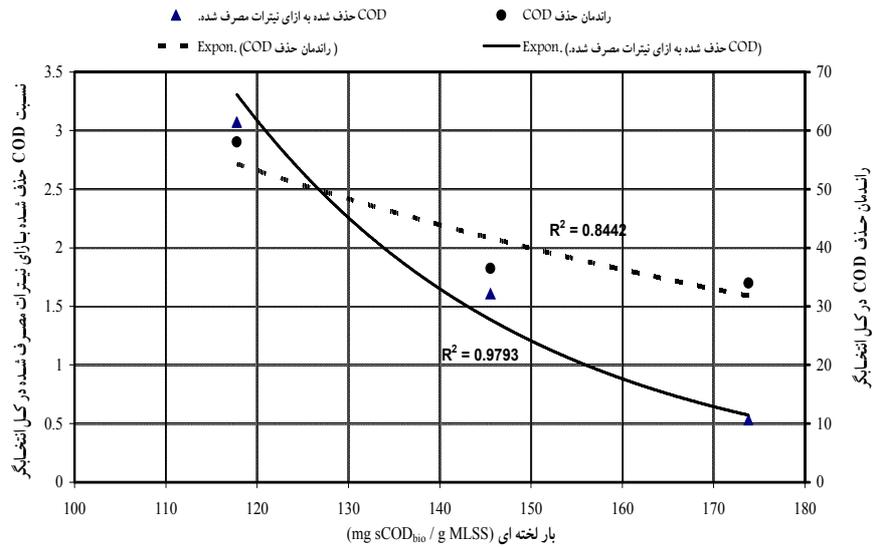
به طور کلی در شکل ۶ چگونگی تغییرات SVI در برابر تغییرات بار لخته‌ای نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در بارهای لخته‌ای کوچک‌تر از ۱۱۷/۸، مقادیر SVI در محدوده مناسب قرار می‌گیرد که نشان دهنده قابلیت ته‌نشینی بهتر لجن می‌باشد.

۴- مشاهدات میکروسکوپی

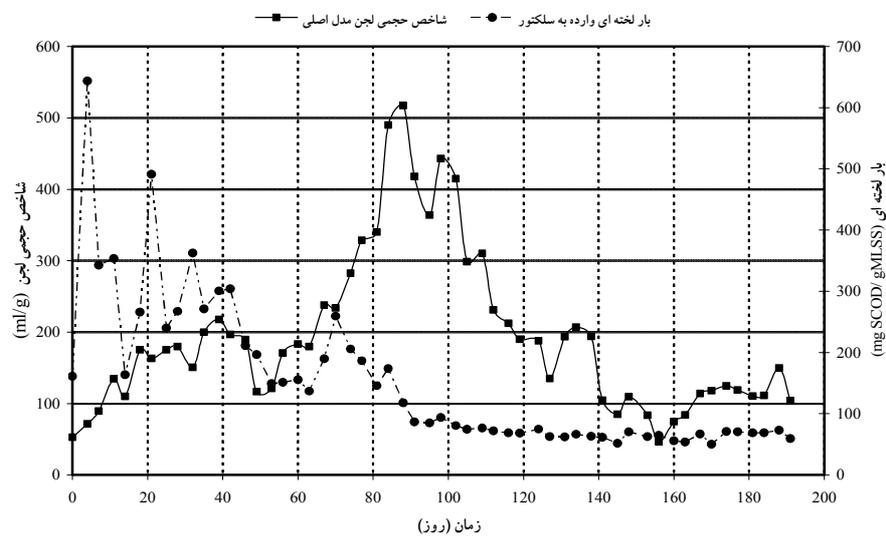
میکرو ارگانیسم غالب در این دوره ۰۲۱N بوده است که طبق مشاهدات میکروسکوپی، انتخابگر قادر به کاهش آن شده است. در شکل ۷ یک نمونه از هوادهی هر دو مدل در روز ۱۵۶ ام بهره‌برداری (فاز ۴) مشاهده می‌شود. که انتخابگر توانسته است در حذف این نوع میکرو ارگانیسم مؤثر واقع شود.



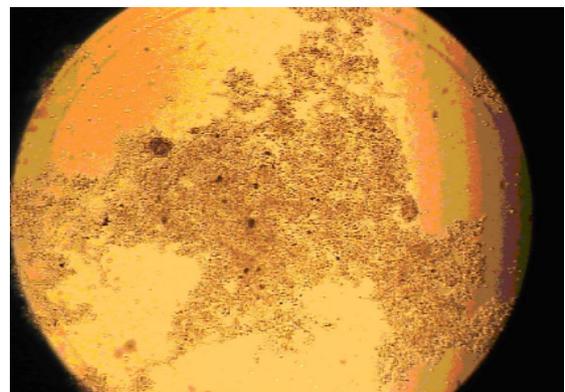
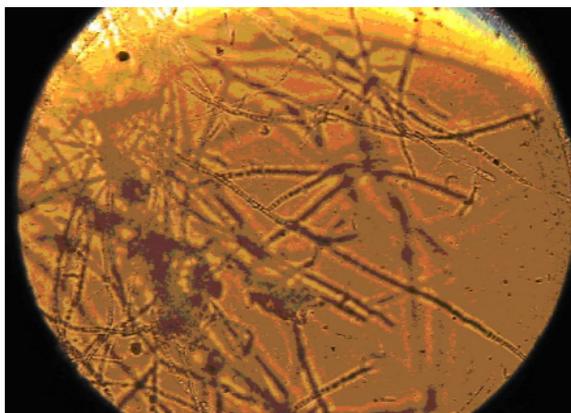
شکل ۴- تغییرات راندمان و COD حذف شده بازای نیترات مصرف شده نسبت به بار لخته‌ای (دوران بهینه فاز ۴)



شکل ۵- تغییرات راندمان و COD حذف شده یازای نیترات مصرف شده نسبت به بار لخته ای (فاز ۳)



شکل ۶- تغییرات بار لخته ای نسبت به زمان



شکل ۷- شکل سمت راست از مدل آزمایشگاهی (شامل انتخابگر) و سمت چپ از مدل شاهد (فاقد انتخابگر) در ۱۵۶ ام روز بهره برداری گرفته شده است.

۵- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد:

۱- مدل آزمایشگاهی که از انتخابگر اناکسیک برخوردار بود دارای مقادیر SVI کمتر و قابلیت ته‌نشینی بیشتری نسبت به مدل شاهد بود.

۲- نوع مکانیسم حذف مواد غذایی تحت تأثیر بار آلی لخته‌ای داخل انتخابگر قرار می‌گیرد. برای بارهای لخته‌ای پایین، مکانیسم ذخیره مواد و برای بارهای لخته‌ای بالا، مکانیسم سوخت و ساز آنها غالب می‌شود. از اینرو این فرضیه ایجاد می‌شود که برای انتخابگرهایی که از نسبت F/M به اندازه کافی بالا، برای ایجاد شرایط جذب مواد توسط میکروارگانیسم‌های با نرخ رشد بالا (لخته‌ساز) را ممکن می‌سازد، برخوردار می‌باشند، مکانیسم غالب در حذف مواد، تحت تأثیر بار لخته‌ای خواهد بود.

۳- در این تحقیق در نسبت‌های پایین‌تر از ۸ میلی‌گرم COD حذف شده بر میلی‌گرم نیترات مصرف شده، مکانیسم سوخت و ساز بر ذخیره‌سازی آنها غالب شد که در تأیید نتایج جنکینز می‌باشد.

۴- در این تحقیق در نسبت‌های بیشتر از ۸ میلی‌گرم COD حذف شده بر میلی‌گرم نیترات مصرف شده، میزان راندمان حذف بیشتر از حالتی بود که مقادیر COD حذف شده بر میلی‌گرم نیترات مصرف شده کمتر از ۸ بود.

۵- در شرایط غالب شدن مکانیسم سوخت و ساز، سلکتور دارای اثر خوبی روی ته‌نشینی نبوده و شاهد پدیده تورم لجن می‌باشیم. در حالی که در اثر غالب شدن مکانیسم ذخیره‌سازی، سلکتور اثر خوبی روی ته‌نشینی خواهد گذاشت.

۶- در بارهای لخته‌ای پایین‌تر (مکانیسم ذخیره‌سازی) مقدار راندمان حذف در سلکتور افزایش یافت، به طوری که در بارهای

لخته‌ای کمتر از ۹۳/۷، میزان راندمان حذف مواد غذایی بیشتر از ۵۳/۷ درصد بود.

۷- بیشترین راندمان حذف انتخابگر برابر ۷۱/۸ درصد بود که این میزان در بار لخته‌ای ۵۳/۷ و نسبت F/M برابر $3/9 \text{ kg(sCOD)/kg(MLSS)d}$ اتفاق افتاد.

۸- وجود F/M پایین در حوض هوادهی مدل شاهد برای رشد و توسعه میکروارگانیسم‌های رشته‌ای بسیار مساعد بود، به طوری که بعد از ۲۵ روز میزان رشد و تکثیر باکتری‌های رشته‌ای در این حوض افزایش یافت و مقدار SVI به بیش از ۲۰۰ میلی لیتر بر گرم رسید. وضعیت ته‌نشینی در این سیستم کلاً نامطلوب بود و حتی در مواردی، میزان SVI به حدود ۷۷۷ میلی‌لیتر بر گرم بر اساس استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری افزایش یافت.

۹- بهترین محدوده نسبت F/M برای انتخابگر اناکسیک برابر ۲/۸ تا ۴/۷ تعیین شد. لازم به ذکر است که مقادیر بالاتر باعث کاهش راندمان حذف و غالب شدن مکانیسم سوخت و ساز در حذف مواد غذایی می‌شوند و مقادیر پایین‌تر باعث کاهش فعالیت باکتری‌های لخته‌ساز در حذف مواد غذایی می‌گردند که در هر دو حالت، ماده غذایی خروجی از سلکتور افزایش یافته که این امر منجر به افزایش میکروارگانیسم‌های رشته‌ای می‌گردد.

۱۰- می‌توان با تغییر نرخ برگشت لجن به انتخابگر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، مقدار پارامتر بار لخته‌ای را در محدوده بهینه خود نگاه داشت تا بهترین عملکرد را از آن شاهد باشیم. مثلاً در اثر افزایش دبی یا افزایش COD در زمانهای اوج فاضلاب ورودی می‌توان با افزایش توده بیولوژیکی و کاهش بار لخته‌ای مکانیسم ذخیره‌سازی را غالب ساخت.

۶- مراجع

- 1- Eikelboom, D. H. (2000). *Sulfur Activated Sludge*, In: *Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution-Principles and Engineering*, eds P. N. Lens and L. Hulshoff Pol, PP. 449-466, IWA Publishing, London.
- 2- Clauss, F., Balavoine, C., Hlaine, D., and Martin, G. (1999). "Controlling the settling of activated sludge in pulp and paper wastewater treatment plants." *Water Sci. Technol.*, 40, 223-229.
- 3- Wanner, J. (1994). *Activated sludge bulking and foaming control*, 1st Ed., Technomic Publishing Co., Inc Lancaster, USA.
- 4- Kappeler, J., and Gujer, W. (1994). "Influences of wastewater composition and operating conditions on activated sludge bulking and scum formation." *Water Sci. Technol.*, 30, 181-189.
- 5- Edgardo, M. C., Giannuzi, L., and Zaritzky, N.E. (2004). "Use of image analysis in the study of competition between filamentous and non-filamentous bacteria." *Water Research*, 38, 2621-2630.
- 6- Martins, A. M., Pagilla, K., Heijnen, J., and Loosdrecht, M. (2004). "Filamentous bulking sludge-a critical review." *Water Research*, 38, 793-817.

- 7- Richard, M., Brown, S., and Collins, F. (2003). "Activated sludge microbiology problems and their control." *Presented at the 20th Annual USPEA National Operator Trainers [6] Conference*, Buffalo, NY.
- 8- Tchobanoglous, G., Burton, F.L., David Stensel, H. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th Ed., Metcalf & Eddy, Inc., McGraw-Hill, New York.
- 9- Eckenfelder, W.W., and Patockza, J. (1990). "Performance and design of a selector for bulking control." *Research Journal of the Water Pollution Control Federation*, 151-159.
- 10- Tomlinson, E.J., and Chambers, B. (1982). *Bulking of activated sludge: prevention and remedial methods*, E.J. Tomlinson, and B. Chambers, eds., 1st Ed., Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex.
- 11- Eikelboom, D.H. (1982). *Biosorption and prevention of bulking by means of high floc loading* In: *Bulking of activated sludge: prevention and remedial methods*, E.J. Tomlinson, and B. Chambers, eds., 1st Ed., Ellis Horwood Limited, Chichester, West Sussex.
- 12- Dionisi, D., Majone, M., Ramadori, R., and Beccari, M. (2001). "The storage of acetate under anoxic condition." *Water Research*, 35, 2661-2668.
- 13- Jenkins, D., Richard, M.G., and Daigger, G.T. (1993). *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*, Lewis Publishers, Chelsea, MI.