



نهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران

دانشگاه علم و صنعت ایران
۳-۵ آذر، ماه ۱۳۸۳

تأثیر آمونیاک بر گرانولاسیون لجن بی هوازی و عملکرد راکتورهای UASB

جلال الدین شایگان ، توحید نودل^{۱*}
دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف
tohid_n@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق تأثیر آمونیاک بر فرآیند گرانولاسیون لجن بی هوازی و عملکرد راکتورهای UASB بررسی شده است. برای انجام آزمایشات از چهار راکتور ۳۶ لیتری بصورت موازی استفاده شده است. در تهیه فاضلاب ورودی از ملاس چغندر قند بعنوان منبع کربن، از کلرید آمونیوم بعنوان منبع نیتروژن آمونیاکی و از بی کربنات سدیم و سود برای ایجاد قلیائیت و pH مورد نظر استفاده شد. در طول آزمایشات غلظت آمونیاک در فاضلاب ورودی به راکتورهای یک تا چهار به ترتیب برابر با ۵۰، ۳۵۰، ۶۵۰ و ۱۰۰۰ mgNH₄-N/l بودند. سایر شرایط از قبیل دبی و غلظت فاضلاب ورودی، قلیائیت و دما در هر چهار راکتور کاملاً یکسان اعمال می شدند. اولین ذرات گرانول در روز ۱۱۶م در راکتور شماره ۱ (۵۰ mgNH₄-N/l) مشاهده شدند. گرانولهای راکتور دوم (۳۵۰ mgNH₄-N/l) در روز ۱۱۸م و راکتورهای سوم (۶۵۰ mgNH₄-N/l) و چهارم (۱۰۰۰ mgNH₄-N/l) در روز ۱۲۳م تشکیل شدند. مقایسه عملکرد راکتورها نشان می دهد که غلظت آمونیاک در این آزمایشات در محدوده غلظت مفید آمونیاک بوده و هیچ بازدارندگی در این غلظتها مشاهده نمی شود. در نهایت، راندمان حذف COD راکتور شماره ۱ به ۸۵٪ و راکتورهای دوم تا چهارم به حدود ۹۰٪ رسید. در روزهای اولیه راه اندازی و قبل از رسیدن به لجن گرانوله، pH راکتورها بویژه راکتورهای ۳ و ۴ حساسیت بیشتری را در برابر افزایش بار نشان دادند. مقایسه گرانولهای بدست آمده نشان داد که اندازه متوسط گرانولها با افزایش غلظت آمونیاک کاهش می یابد. در غلظت ۱۰۰۰ mgNH₄-N/l در چند مورد حالت خفیفی از لخته شدن و شناور شدن لجن مشاهده شد.

کلمات کلیدی: تصفیه بی هوازی، راکتور UASB، گرانول، آمونیاک

مقدمه

در سالهای اخیر استفاده از راکتورهای UASB^۱ در تصفیه بی هوازی انواع فاضلابها مرسوم شده است. توسعه لجن گرانوله فاکتور کلیدی در موفقیت یک راکتور UASB می باشد. گرانول در واقع توده ای از باکتریهای مختلف می باشد که در مقابل تنشهای هیدرولیکی و شوکهای شیمیایی و فیزیکی مقاومت بسیار زیادی از خود نشان می دهد. در گرانول با توجه به ماهیت فاضلاب، توازن گونه های متفاوت باکتریایی که برای مراحل هضم آلاینده ها تا مرحله نهایی لازم است، برقرار می باشد. لجن گرانوله به علت دانسیته و سرعت ته نشینی بالا، موجب انباشت بیشتر لجن در راکتور می گردد و در نتیجه سرعت هضم مواد و کارایی راکتور افزایش می یابد. همچنین بعلت وجود درصد قابل توجهی از باکتریهای متانزا، محدودیت مراحل هضم که عمدتاً مرحله تخمیر متانی است از بین می رود. از دیگر مزیت های لجن گرانوله مقاوم بودن در برابر شوکها و عوامل بازدارنده می باشد [۱].

با وجود اینکه راکتورهای UASB، در بعضی موارد بدون تشکیل لجن گرانوله نیز عملیات تصفیه را در حد مطلوب انجام می دهند، لیکن مزایای منحصربفرد لجن گرانوله باعث شده است که رسیدن به گرانول معیاری برای راه اندازی مطلوب و کامل راکتورهای UASB باشد. یکی از مشکلات راکتورهای UASB، طولانی بودن مدت راه اندازی آنها می باشد. معمولاً توسعه لجن گرانوله در این راکتورها حدود دو تا هشت ماه طول می کشد [۷]. در صورتیکه استراتژی مناسبی برای راه اندازی راکتور بکار نرود، این مدت طولانی تر شده و یا حتی رسیدن به لجن گرانوله غیرممکن خواهد بود. در حالیکه با شناخت همه جانبه فرآیند گرانوله شدن و عوامل موثر بر این فرآیند، می توان طول مدت راه اندازی را به حداقل کاهش داده و به لجن گرانوله مناسبی دست یافت. مواد زیادی بصورت آلی و یا معدنی وجود دارند که ممکن است برای رشد و فعالیت میکروارگانیسمها در یک سیستم تصفیه بی هوازی مفید و یا مضر واقع گردند. این امر بر اساس افزایش و یا کاهش در فعالیت بیولوژیکی سیستم مشخص می شود. البته در سیستمهایی که رسیدن به لجن گرانوله مد نظر می باشد، این مواد ممکن است با تاثیر بر فرآیند گرانوله شدن و تاثیر بر خصوصیات لجن گرانوله، عملیات تصفیه بی هوازی را بیشتر تحت تاثیر قرار دهند. آمونیاک یکی از این مواد می باشد که سیستمهای تصفیه بی هوازی را تحت تاثیر قرار می دهد. تحقیقات نشان می دهد که غلظتهای پایین از آمونیاک عملکرد سیستمهای بی هوازی را بهبود می بخشد ولی رفته رفته با افزایش غلظت آن، آثار سمیت مشاهده می شود [۱۱، ۱۰، ۳]. بسیاری از محققان نوع غیر یونیزه آمونیاک یا همان آمونیاک آزاد را عامل اصلی و فعال در بازدارندگی عنوان کرده اند [۹، ۸، ۴، ۳]. آمونیاک معمولاً در واحدهای تصفیه بی هوازی از تجزیه و تخمیر مواد پروتئینی و اوره تولید می شود [۹]. این مسئله در فرآیندهای هضم بی هوازی بعنوان یک مشکل جدی مطرح است و در غلظتهای بالای مواد پروتئینی، عملیات هضم متوقف خواهد شد [۸، ۴، ۳]. در بحث گرانوله شدن لجن، آمونیاک علاوه بر تاثیر بر فعالیت لجن، در گزینش و کیفیت فیزیکی لجن نیز تاثیر خواهد گذاشت.

تحقیقات زیادی در زمینه بررسی تاثیر آمونیاک بر سیستمهای بی هوازی انجام شده است؛ اما اکثر این تحقیقات به سیستمهای هضم لجن معطوف گردیده و مطالعات کمی در مورد تاثیر آمونیاک بر گرانوله شدن

^۱ Upflow anaerobic sludge blanket reactors

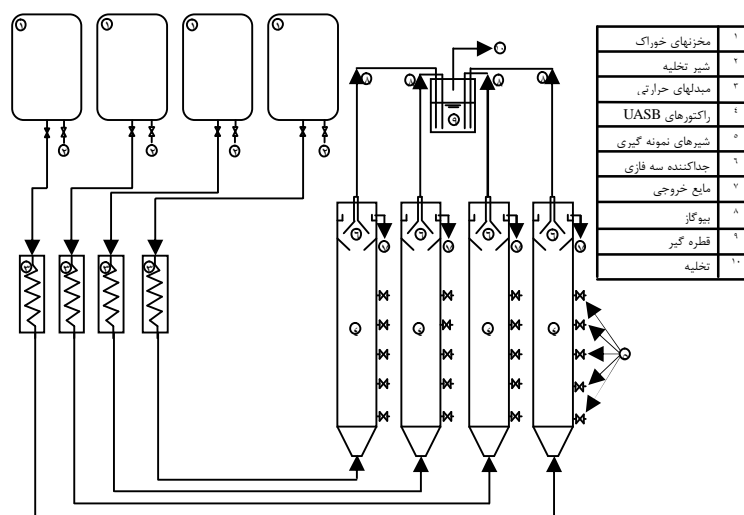
لجن و عملکرد راکتورهای UASB انجام گرفته است. آزمایشات Hulshoff و همکارانش نشان می‌دهد که امکان تشکیل لجن گرانوله در غلظت 1000 mg/l از نیتروژن آمونیاکی، میسر نمی‌باشد. همچنین در غلظتهای 40 mg/l و 400 mg/l از نیتروژن آمونیاکی، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در فرآیند تشکیل گرانول مشاهده نمی‌شود. گزارش این تحقیق بصورت خلاصه بوده و در آن به اطلاعات جامعی از قبیل شرایط اعمالی و مقایسه گرانولهای بدست آمده اشاره‌ای نشده است.

در این تحقیق با راه‌اندازی چهار راکتور UASB موازی در چهار غلظت مختلف از آمونیاک، سعی شده است تا تاثیر غلظتهای مختلف از آمونیاک بر روند راه‌اندازی، فرآیند گرانوله شدن لجن و عملکرد راکتورها بررسی شود.

مواد و روشها

برای بررسی اثر غلظتهای مختلف آمونیاک در فرآیند گرانولاسیون، عملیات راه‌اندازی باید در چندین غلظت از آمونیاک انجام می‌گرفت. بنابراین تکرار مرحله راه‌اندازی و یا راه‌اندازی چند راکتور بشکل موازی ضروری بود. برای انجام آزمایشات از پایلوتی استفاده شد که نمای کلی آن در شکل (۱) آمده است.

بدلیل متفاوت بودن ترکیب خوراک ورودی به راکتورها، چهار مخزن 200 لیتری برای تهیه خوراک در نظر گرفته شد. برای تنظیم دمای فاضلاب ورودی به راکتورها نیز از چهار دستگاه مبدل حرارتی الکتریکی استفاده شد. چهار راکتور UASB استوانه‌ای در این پایلوت مورد استفاده قرار گرفت. قطر این راکتورها برابر $18/5$ و ارتفاع مفید آنها برابر 135 سانتی متر می‌باشد. حجم مفید راکتورها حدود 36 لیتر بوده که حدود 4 لیتر از آن مربوط به بخش ته‌نشینی است. برای هر راکتور یک محل ورود خوراک، پنج شیر نمونه برداری، جداکننده سه فاز، سیستم جمع آوری جریان خروجی و سیستم هدایت کننده بیوگاز در نظر گرفته شد. جنس راکتورها از پلکسی گلاس انتخاب شد تا امکان مشاهده داخل راکتورها وجود داشته باشد.



شکل ۱- نمای کلی پایلوت

لجن نطفه

در این آزمایشات برای راه اندازی راکتورها، از لجن مازاد تصفیه خانه فاضلاب شهری واقع در شهرک تیمسار فکوری بعنوان لجن نطفه استفاده شد. سیستم مورد استفاده در این تصفیه خانه سیستم لجن فعال می باشد. این لجن قبل از استفاده بمدت حدود ۳ ماه در یک لاگون بصورت بی هوازی تخمیر شده بود. برای آماده سازی لجن، ابتدا رقیق سازی با آب انجام گرفت و سپس مقداری ملاس بصورت ناپیوسته به آنها اضافه شد تا باکتریها با خوراک جدید انطباق یابند. این دوره حدود ۳ هفته بطول انجامید. قبل از انتقال این لجن به داخل راکتورها می بایست مواد درشت و زاید از آن جدا می شد. به همین منظور لجن آماده شده از غربالی با منافذ یک میلی متر عبور داده شد. در نهایت حدود ۱۸ لیتر از آن به هر یک از راکتورها انتقال داده شد (نصف حجم هر راکتور).

فاضلاب ورودی

از فاضلاب مصنوعی بعنوان خوراک راکتورها استفاده شد. این فاضلاب بصورت روزانه و بطور جداگانه برای هر راکتور تهیه می شد. در تهیه این فاضلاب ملاس چغندر قند بعنوان منبع تامین کربن و کلرید آمونیوم برای تامین آمونیاک مورد استفاده قرار گرفتند. برای تنظیم قلیائیت و pH مورد نظر نیز از بی کربنات سدیم و سود استفاده شد. همچنین برای تامین ازت و فسفر مورد نیاز، اوره و فسفات آمونیوم به خوراک راکتورها افزوده می گردید. مقادیر اوره و فسفات آمونیوم در ابتدای آزمایشات طوری تنظیم می شدند که نسبت COD: N: P برابر ۱: ۵: ۱۰۰ باشد (بدون در نظر گرفتن کلرید آمونیوم).

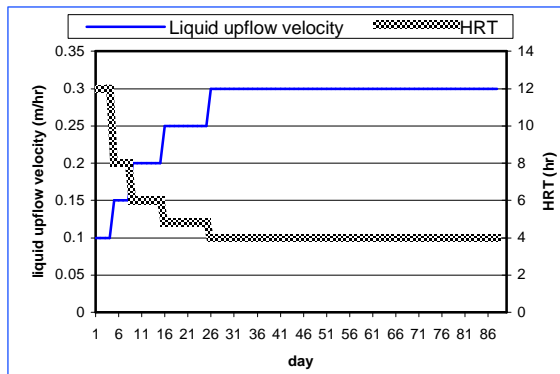
روشهای آنالیز

تست های COD، BOD، TSS و SVI بر طبق روشهای استاندارد انجام گرفتند [۲]. برای اندازه گیری توزیع اندازه ذرات گرانول، از روشی که توسط Laguna و همکارانش ارائه شده است استفاده شد [۶]. سرعت ته نشینی گرانولها نیز در یک استوانه شیشه ای به ارتفاع ۶۰ سانتی متر اندازه گیری شد.

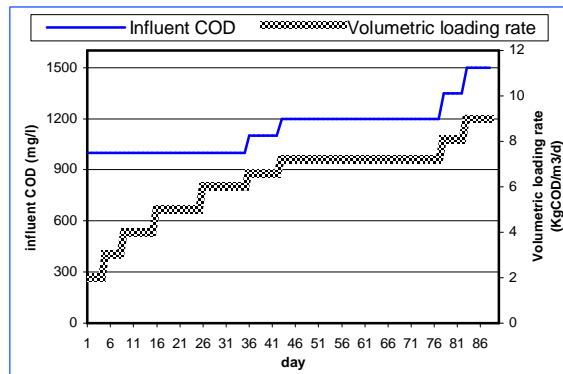
روش انجام آزمایشات

بعد از انتقال لجن نطفه به داخل راکتورها و قبل از خوراک دهی پیوسته، عملیات شستشوی لجن در راکتورها انجام شد. این شستشو که با جریان کم و بمدت چند ساعت در روز انجام می گرفت حدود ۵ روز بطول انجامید. بعد از این شستشو عملیات خوراک دهی پیوسته آغاز شد و راکتورها بصورت موازی راه اندازی شدند. همه شرایط عملیاتی مثل نوع و مقدار لجن نطفه، غلظت و دبی فاضلاب ورودی، دما، قلیائیت بی کربناته و میزان مواد مغذی در هر چهار راکتور کاملاً یکسان در نظر گرفته شدند. تنها پارامتری که این چهار راکتور را از هم متمایز می کرد غلظت آمونیاک در فاضلاب ورودی آنها بود. برای مقایسه اثر غلظتهای مختلف آمونیاک با هم، چهار غلظت مختلف در نظر گرفته شد. غلظت نیتروژن آمونیاکی در راکتورهای اول تا چهارم به ترتیب برابر ۵۰ mgN/l، ۳۵۰ mgN/l، ۶۵۰ mgN/l، ۱۰۰۰ mgN/l انتخاب شد.

هر چهار راکتور ابتدا با سرعت رو به بالای مایع برابر 0.1 m/hr و غلظت فاضلاب ورودی برابر 1 mgCOD/l راه اندازی شدند. در هر مرحله افزایش بار آلی، سرعت مایع حدود 0.05 m/hr افزایش داده می‌شد. بعد از رسیدن به 0.3 m/hr (زمان ماند ۴ ساعتی)، سرعت مایع تا انتهای آزمایشات در این مقدار ثابت نگه داشته شده و از این مرحله به بعد برای افزایش بار آلی، غلظت ورودی افزایش داده شد. نمودار افزایش غلظت ورودی و بار آلی در شکل (۲-الف) و افزایش سرعت رو به بالای مایع و تغییرات HRT در شکل (۲-ب) آمده است. دمای فاضلاب ورودی نیز با استفاده از مبدل‌های حرارتی در 32 ± 1 درجه سلسیوس تنظیم شد و در طول آزمایشات دمای فاضلاب ورودی در این دما ثابت نگه داشته شد.



ب



الف

شکل ۲- (الف): نمودار افزایش غلظت فاضلاب ورودی و بار آلی، (ب): نمودار افزایش سرعت روبه بالای مایع و تغییرات HRT

نتایج و بحث

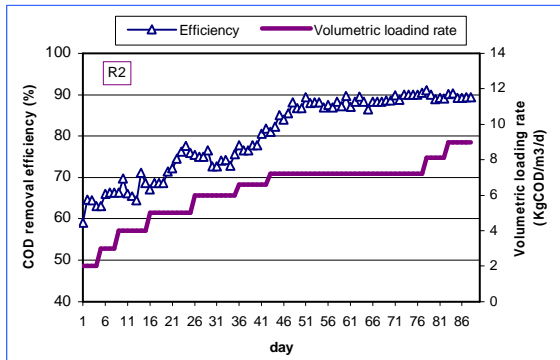
زمان تشکیل گرانولها

بعد از راه‌اندازی، داخل راکتورها بصورت روزانه کنترل می‌شد تا زمان تشکیل اولین ذرات گرانول ثبت گردد. اولین گرانولها در راکتور شماره ۱ تشکیل شدند. این گرانولها در اوایل هفته سوم (حدوداً روز ۱۶ ام) مشاهده گردید. حدود ۲ روز بعد نیز ذرات گرانوله در راکتور شماره ۲ دیده شدند. پس از سپری شدن یک هفته از تشکیل گرانول در راکتور شماره ۱، گرانولهایی در راکتورهای شماره ۳ و ۴ مشاهده شد. همانگونه که مشخص است غلظت آمونیاک تاثیر چندانی در تشکیل گرانول نداشته و ذرات گرانول در یک بازه زمانی یک هفته‌ای در هر چهار غلظت از آمونیاک تشکیل یافته‌اند. همچنین زمان تشکیل گرانول در راکتورها در مقایسه با اکثر تحقیقات قبلی بسیار کوتاه می‌باشد. آماده سازی مناسب لجن نطفه، خوراک مناسب و انتخاب و اعمال شرایط بهینه در طول راه اندازی می‌توانند دلیل تشکیل سریع گرانولها باشند.

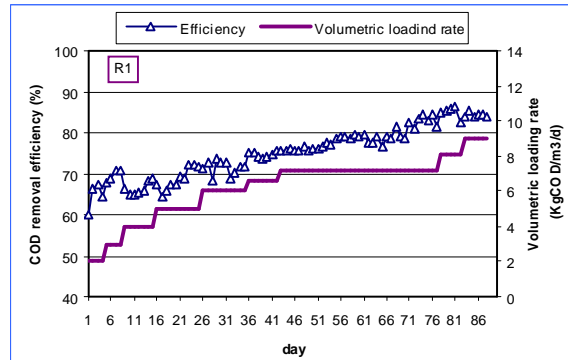
عملکرد راکتورها

در شکل (۳) راندمان حذف COD و افزایش بار آلی راکتورهای ۱ تا ۴ آورده شده است. همه راکتورها رفتار تقریباً یکسانی را در برابر افزایش بار آلی از خود نشان می‌دادند. در روزهای اولیه، با افزایش بار در هر مرحله

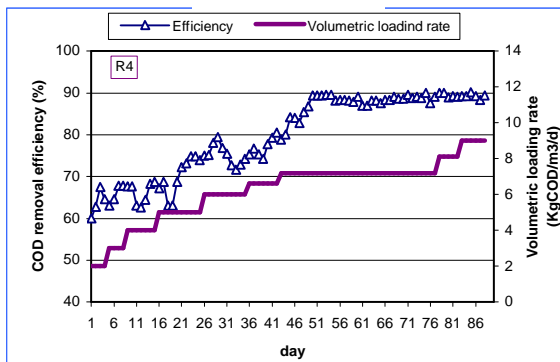
راندمان کاهش می‌یافت ولی بعد از مدت کوتاهی اثرات این افزایش بار از بین می‌رفت. از روی شکل (۳) کاملاً مشخص است که با تشکیل لجن گرانوله در راکتورها، مقاومت آنها در برابر افزایش بار بیشتر شده و تغییرات کمتری در موقع افزایش بار مشاهده می‌شود. تا زمانی که غلظت ورودی افزایش داده نشده بود، راندمان راکتورها با سرعت کمی افزایش می‌یافت. با افزایش غلظت فاضلاب ورودی در روز ۳۶ ام، افزایش سریعی در راندمان راکتورها مشاهده شد.



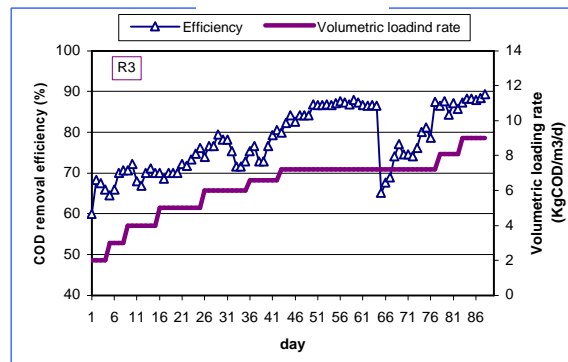
ب



الف



د



ج

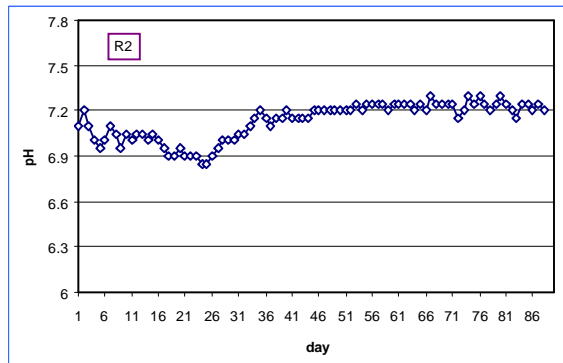
شکل ۳- راندمان حذف COD، (الف): راکتور شماره ۱، (ب): راکتور شماره ۲، (ج): راکتور شماره ۳، (د): راکتور شماره ۴

از روی شکلها مشخص است که راندمان حذف COD راکتور اول در مقایسه با سه راکتور دیگر کمتر می‌باشد. این راندمان برای راکتور شماره یک حدود ۸۵٪-۸۰٪ و برای سه راکتور بعدی برابر ۹۰٪-۸۵٪ می‌باشد. همچنین اندازه‌گیری BOD نشان داد که راندمان حذف BOD در راکتورها حدود ۹۵٪-۹۰٪ است. نتایج تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که در غلظتهای پایین از آمونیاک میزان فرار لجن افزایش می‌یابد [۵، ۱۰]. یکی از دلایل پایین بودن راندمان راکتور شماره ۱ می‌تواند همین مسئله باشد. در رابطه با عملکرد راکتورها، راکتور شماره ۳ بعلت یک شوک دمایی ناخواسته رفتار متفاوتی را در یک محدوده ۱۰ روزه نشان داد. در روز ۶۵ ام بعلت خراب شدن ترموستات مبدل مربوط به راکتور شماره ۳، دمای فاضلاب ورودی به این راکتور بطور ناگهانی به حدود ۴۵ درجه سلسیوس افزایش یافته و شوک دمایی ناخواسته‌ای به این سیستم وارد شد. اثرات

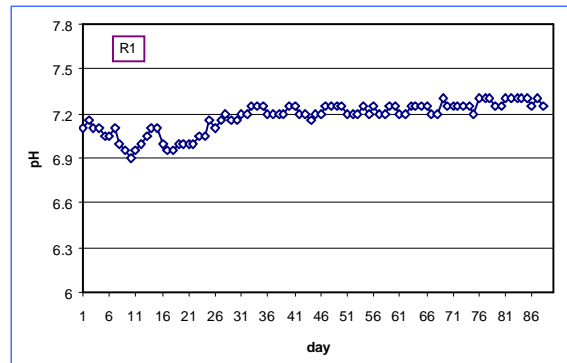
این شوک شدید و ناگهانی در قسمت (ج) از شکل (۳) مشاهده می‌شود. پس از رفع اشکال و بازگرداندن دما به حالت قبلی، مدتی طول کشید تا راکتور به حالت قبلی بازگردد.

تغییرات pH در راکتورها

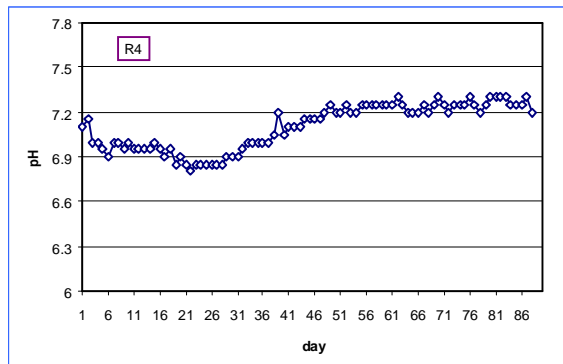
در این آزمایشات سعی شد تا با افزودن مقادیر مناسب سود و بی‌کربنات سدیم، pH راکتورها در محدوده ۷-۷/۲ حفظ شود. این مقادیر pH علاوه بر اینکه محدوده بهینه برای فعالیت باکتریهای متانزا می‌باشند، غلظت آمونیاک آزاد را نیز در حد امکان پایین نگه می‌دارند. شکل (۴) تغییرات pH راکتورها در طول انجام آزمایشات را نشان می‌دهد. در روزهای اولیه راه‌اندازی و قبل از رسیدن به لجن گرانبه، pH راکتورها بویژه راکتورهای ۳ و ۴ حساسیت بیشتری را در برابر افزایش بار نشان دادند. بتدریج و با رشد گرانبه‌ها و افزایش راندمان، pH راکتورها به مقدار بهینه ۷/۲ رسیده و تغییرات زیادی در آن مشاهده نشد.



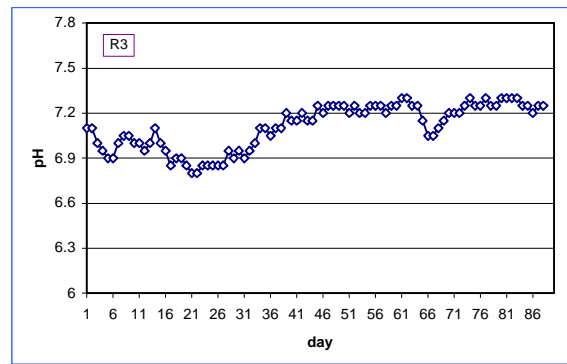
ب



الف



د



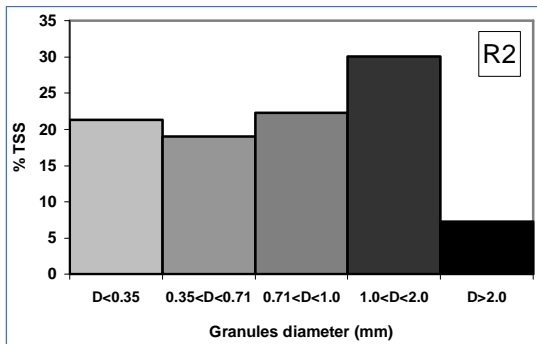
ج

شکل ۴- تغییرات pH در راکتورها، (الف): راکتور شماره ۱، (ب): راکتور شماره ۲، (ج): راکتور شماره ۳، (د): راکتور شماره ۴

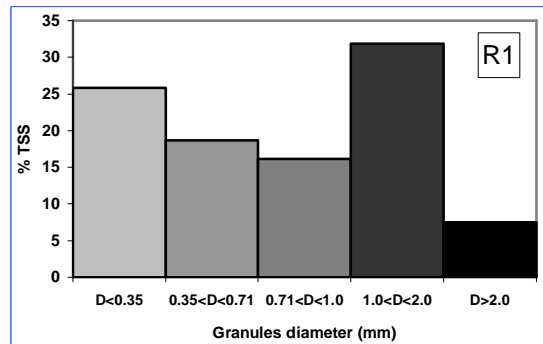
مشخصات گرانبه‌ها

در روز ۶۲ ام از لجن راکتورها نمونه‌گیری شد. شکل (۵) توزیع اندازه وزنی گرانبه‌های راکتورهای شماره ۱ تا ۴ را نشان می‌دهد. از روی شکل (۵) مشخص است که گرانبه‌های راکتورهای شماره ۱ و ۲ از نظر توزیع اندازه تفاوت قابل ملاحظه‌ای با گرانبه‌های ۳ و ۴ دارند. شکل (۵) نشان می‌دهد که گرانبه‌های بدست آمده از راکتورهای ۱ و ۲ توزیع اندازه تقریباً یکسانی دارند. همچنین اندازه گرانبه‌های راکتور سوم تقریباً مشابه

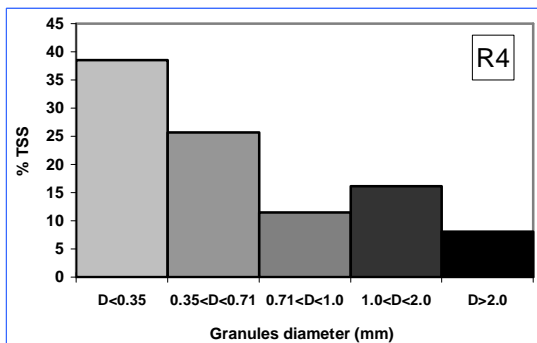
گرانولهای راکتور ۴ می‌باشند. کاملاً مشخص است که اندازه متوسط ذرات در غلظتهای پایین آمونیاک (راکتور ۱ و ۲) بیشتر از غلظتهای بالای آمونیاک (راکتور ۳ و ۴) می‌باشد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که غلظت بالای آمونیاک باعث شده است که درصد گرانولهای ریز افزایش یابد.



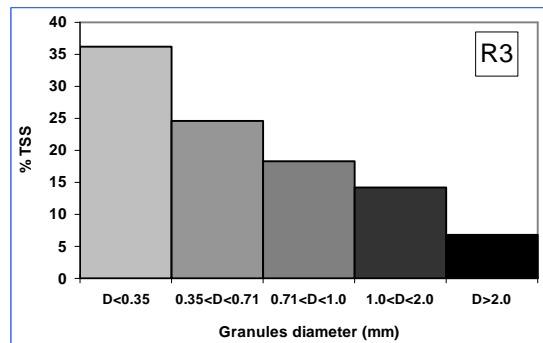
ب



الف



د



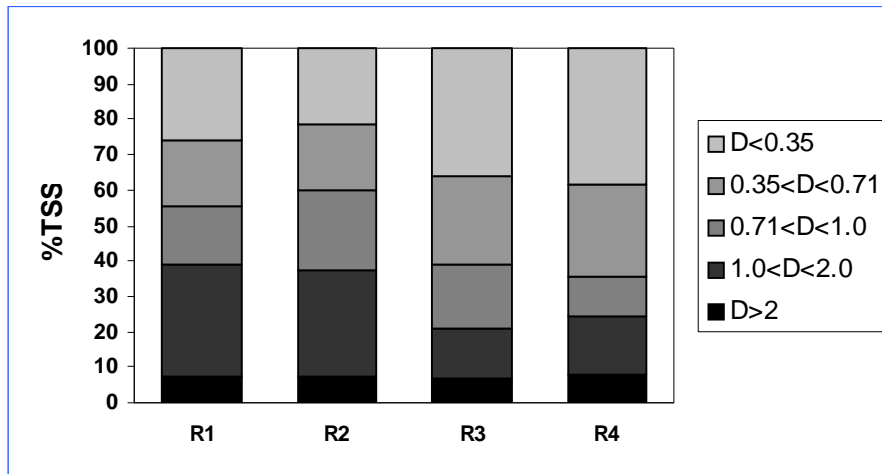
ج

شکل ۵- توزیع اندازه وزنی گرانولها (الف): راکتور شماره ۱، (ب): راکتور شماره ۲، (ج): راکتور شماره ۳، (د): راکتور شماره ۴

شکل (۶) نیز توزیع اندازه گرانولهای چهار راکتور را در کنار هم نشان می‌دهد. همچنین درشتترین گرانولهایی که در این چهار نمونه موجود بودند حدوداً ۷ میلی متر قطر داشتند که کمابیش در هر چهار نمونه مشاهده شدند.

نتایج اندازه‌گیری سرعت ته نشینی گرانولها نشان داد که سرعت ته نشینی این گرانولها تفاوت چندانی با هم ندارند. سرعت ته نشینی گرانولها بسته به قطر آنها بین ۴۰ m/hr و ۱۲۰ m/hr در نوسان بود که نشان می‌دهد گرانولهای بدست آمده قابلیت ته نشینی بسیار خوبی دارند. با توجه به اینکه گرانولهای راکتور ۱ و ۲ درشتتر از گرانولهای دو راکتور دیگر می‌باشند، می‌توان گفت که سرعت ته نشینی برای کل لجن در راکتورهای ۱ و ۲ بیشتر از راکتورهای ۳ و ۴ خواهد بود.

تست SVI برای اندازه گیری قابلیت ته نشینی انجام می‌گیرد. این تست برای نمونه های گرفته شده از چهار راکتور انجام شد و نتایج نشان داد که SVI هر چهار لجن تقریباً یکسان بوده و مقدار آن در محدوده ml/g ۲۰-۳۰ می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که لجن‌های حاصله قابلیت ته نشینی بسیار خوبی دارند.



شکل ۶- توزیع اندازه وزنی گرانول راکتورهای ۱ تا ۴

مشاهدات عینی

مورد خاصی که در طول آزمایشات مشاهده شد رفتار گرانول راکتورها در حین عملیات بود. به این ترتیب که گرانول راکتورها رفتار متفاوتی را به هنگام صعود به بالای راکتور از خود نشان می‌دادند. گرانولهای زوال یافته راکتورهای ۱ و ۲ به بالای راکتور صعود کرده و سپس همراه جریان خروجی از راکتور خارج می‌شدند در حالیکه گرانول راکتورهای ۳ و ۴ رفتار متفاوتی داشتند.

در این دو راکتور با چسبیدن لجن‌های غیر گرانوله به گرانولها، لخته‌های بزرگ تشکیل می‌شد که با بدام افتادن حبابهای گاز در اطراف و داخل این لخته‌ها دانسیته ظاهری آنها کاهش یافته و به بالای راکتور منتقل می‌شدند. این شرایط بیشتر برای راکتور شماره چهار (بالاترین غلظت آمونیاک) اتفاق می‌افتاد و در صورتیکه اختلاط داخل راکتور کاهش می‌یافت (بدلیل کم شدن جریان مایع و بیوگاز)، این حالت تشدید می‌شد. حالت حاد این مسئله چندین بار بموقع قطع شدن جریان خوراک ورودی به راکتور شماره ۴ مشاهده شد. در این حالت اکثر بستر لجنی به شکل توده در آمده و در قسمت بالای راکتور تجمع می‌کردند و تا موقعیکه گاز داخل توده خارج نمی‌شد به بستر لجن بر نمی‌گشتند.

نتیجه گیری

تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که گرانول در غلظت $1000 \text{ mgN-NH}_4/\text{l}$ از آمونیاک تشکیل نمی‌شود و در این غلظت سمیت نسبتاً شدیدی بوجود می‌آید. در حالیکه در این آزمایشات در این غلظت، لجن گرانوله مناسب بدست آمد. با توجه به تشکیل گرانول مناسب در این غلظت (راکتور شماره ۴) و عملکرد مناسب این راکتور، تشکیل گرانول در غلظتهای بالا نیز ممکن بنظر می‌رسد. برای اطمینان از رسیدن به گرانول در غلظتهای بالا باید با انتخاب pH و دمای مناسب، غلظت آمونیاک آزاد به حداقل رسانیده شود. عملکرد راکتورها نیز نشان می‌دهد که محدوده $350 \text{ mgN-NH}_4/\text{l}$ تا $1000 \text{ mgN-NH}_4/\text{l}$ از آمونیاک در محدوده مفید غلظت آمونیاک بوده و هیچ اثر بازدارندگی در این غلظتها مشاهده نمی‌شود. مقایسه گرانولهای تشکیل شده نشان می‌دهد که با افزایش غلظت آمونیاک ($>350 \text{ mgN-NH}_4/\text{l}$) اندازه متوسط گرانولها کاهش می‌یابند و سرعت ته نشینی و SVI گرانولها تقریباً یکسان می‌باشند. همچنین در غلظتهای بالای آمونیاک حالت خفیفی از لخته‌ای شدن لجن روی داده و در شرایطی که اختلاط کافی نباشد سبب صعود بستر لجنی به بالای راکتور می‌شود.

منابع و مراجع

۱. حسین مهدیزاده، تعیین عوامل موثر بر گرانوله شدن لجن بی هوازی در راکتور UASB، پایان نامه دکتری، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، ۱۳۸۰.
2. American Public Health Association., Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed., American Public Health Association Inc., Washington D.C., 1989.
3. Angelidaki, I. and Ahring, B.K., Anaerobic thermophilic digestion of manure at different ammonia loads: effect of temperature, Wat. Res., Vol. 28, No.3, 1994, pp. 727-731.
4. Borja, R., Sanchez, E. and Weiland, P., Influence of ammonia concentration on thermophilic anaerobic digestion of cattle manure in upflow anaerobic sludge blanket(UASB)Reactors, Process Biochemistry, Vol. 31, No. 5, 1996, pp. 477-483.
5. Hulshoff Pol, L.W., De Zeeuw, W.J., Velzeboer, C.T.M. and Lettinga, G., Granulation in UASB-Reactors, Wat. Sci. Tech., Vol. 15, 1983, pp. 291-304.
6. Laguna, A., Ouattara, A., Gonzalez, R.O., Baron, O., Fama, G., El Mamouni, R., Guiot, S., Monroy, O. and Macarie, H., A simple and low cost technique for determination the granulometry of upflow anaerobic sludge blanket reactor sludge, Wat. Sci. Tech., Vol. 40, No., pp. 1999, 8, 1-8.
7. Liu, Y., Hai-Lou, X., Shu-Fang, Y. and Joo-Hwa, T., Mechanisms and models for anaerobic granulation in upflow anaerobic sludge blanket reactor, Wat. Res., Vol. 37, 2003, pp. 661-673.
8. Omil, F., Mendez, R. and Lema, J.M., Anaerobic treatment of saline wastewaters under high sulphide and ammonia content, Bioresource Tech., Vol. 54, 1995, pp. 269-278.
9. Sung, S. and Liu, T., Ammonia inhibition on thermophilic anaerobic digestion, Chemosphere, Vol. 53, Issue 1, 2003, pp. 43-52
10. Thavesri, J., Gernaey, K., Kaonga, B., Boucneau, G. and Verstraete, W., Organic and ammonium nitrogen and oxygen in relation to granular sludge growth in lab-scale UASB reactors, Wat. Sci. Tech., Vol. 30, No.12, 1994, pp. 43-53.
11. Van Valsen, A.F.M., Adaptation of methanogenic sludge to high Ammonia-Nitrogen concentrations, Wat. Res., Vol. 13, 1979, pp. 995-999.