Archive of SID

کمینه‌سازی لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال با بهینه‌سازی پارامترهای تصفیه

سیامک بوداقپور
سیداحمد میرباقری
امید میرزای فشمی
دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده
به‌طور کلی چالش‌های زیست محیطی در زمینه تصفیه فاضلاب به‌ویژه سیستم لجن فعال(Activated Sludge System) وجود دارد که برای رفع آن می‌بایست مطالعات کاربردی انجام گیرد. این چالش‌ها اغلب در زمینه تولید و دفع لجن مازاد(Excess Sludge) تولیدی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با سیستم لجن فعال به‌وسیله بهینه‌سازی پارامترهای تصفیه فاضلاب است. بدین منظور در آزمایشگاه پایلوتی راه اندازه شد و فاضلاب آن از تصفیه‌خانه شهرک قدس تأمین سپس از نمونه‌گیری‌ها و آزمایش‌های لازم نتایج قابل توجهی حاصل شد. به‌طوریکه لجن تولیدی با افزایش غلظت اکسیژن محلول در مایع مخلوط کاهش می‌یابد و همچنین کاهش بار لجن وارده به حوض هواده کاهش تولید لجن را در پی دارد. افزایش اکسیژن محلول در حوضچه هواده و تأثیر آن در تولید لجن در نسبت‌های مختلف F/M که نشان‌دهنده بارگذاری‌های مختلف لجن بود، نشان از کاهش لجن تولیدی داد. در بار لجن۰/۴۱ ،$mg\ MLVSS/mg\ BOD_5$ با افزایش غلظت اکسیژن از ۲ تا ۵ mg/l ، مقدار مواد جامد موجود در حوض هواده تا حدود ۲۸٪ کاهش یافت. تأثیر بارگذاری مختلف لجن بر روی لجن تولیدی در غلظت ثابت اکسیژن در نمودار زیر بررسی شده است. در این نمودار ملاحظه می‌شود که کاهش لجن تولیدی به ازای غلظت اکسیژن محلول۵/۴ mg/l به ازای کاهش بارگذاری لجن از ۴ تا ۰/۱ $mg\ MLVSS/mg\ BOD_5$ به اندازه حدود ۳۳٪ است. در خاتمه یک مدل ریاضی رگراسیونی برای شبیه‌سازی توده‌های لجن و تأثیر پارامترهای مذکور مطرح شده است.
واژه های کلیدی: لجن فعال، اکسیژن محلول، بار لجن، توده بیولوژیکی، بهینه سازی

مقدمه

می‌توان به جرأت گفت که تصفیه آب و فاضلاب بزرگ‌ترین شاخه از مهندسی محیط زیست در سراسر دنیا است. یکی از تبعات که چالشی را در زمینه مهندسی محیط زیست و به‌ویژه تصفیه فاضلاب بوجود آورده، تولید ازدیاد لجن مازاد در سیستم‌های تصفیه فاضلاب به‌ویژه سیستم لجن فعال است (البته سیستمهایی وجود دارند که مشکل تولید لجن در آنها حل شده است از جمله FAS,MBBR,SBR) قوانین زیست محیطی جدید به شدت با تولید لجن مازاد زیاد مخالف است و بزرگ‌ترین عیب سیستم‌های تصفیه فاضلاب را بعد از تولید بو(در همه موارد بو زا نیستند)، تولید لجن مازاد زیاد می‌دانند. دفع این لجن مستلزم صرف هزینه زیاد خواهد بود[۱۴]. در بعضی از سیستم‌ها، حوضچه‌های هضم لجن را به این منظور در پایان سیستم تصفیه تعبیه می‌کنند که این امر مستلزم صرف هزینه، زمان، انرژی و نیروی انسانی است که در پایان، مشکلات حجم زیاد، حمل و نقل، عوامل بیماری‌زا و مکان دفع کماکان پابرجاست. از این رو کم کردن این لجن تولیدی یکی از مواردی است که باید به آن توجه شود.

مروری بر تحقیقات گذشته

حذف مواد آلی توسط باکتری‌ها در اثر عمل اکسیداسیون بیولوژیکی و تولید لجن از مراحل مهم تصفیه بیولوژیکی می‌باشد. تولید روزانه لجن مازاد حاصل از فرآیند لجن فعال متعارف حدود $15-100\ L/kg.BOD5$ است که حاوی بیش از۹۵٪ آب است[۱].

www.SID.ir

Archive of SID

بدیهی است که هدف کلی فرایند لجن فعال، حذف آلاینده های آلی بصورت تولید لجن مازاد است. در سال ۱۹۸۴ لجن مازادی که در کشورهای اروپایی تصفیه شد، به ۵/۵۶ میلیون تن مواد خشک رسید[۶]. بنابراین جهت کاهش لجن از روش‌های مختلفی استفاده شده است از آن جمله استفاده از ازن به میزان $10\ mg\ /\ g.MLSS$ در تانک هوادهی که اصول کار این فرآیند ترکیبی لجن فعال- ازن زنی توسط Hirolsnji و Kamiya در سال ۱۹۹۸ می‌باشد که بخشی از لجن فعال در تانک هوادهی با ازن زنی اکسیده می‌شود.

روش دیگر کنترل زمان ماند لجن و تجزیه بیولوژیکی لجن است. این روش توسط Lawrence and Mccarty، ۱۹۶۰ انجام شده است. روش دیگر استفاده از اکسیژن خالص جهت حذف لجن مازاد و بکار رفته است. Burgess و Boom در سال ۱۹۷۴ تولید لجن را در سیستم‌های لجن فعال با افزایش اکسیژن خالص به میزان ۴۵٪ کاهش دادند. همین عمل توسط Abbassi و همکارانش در سال ۱۹۹۹ انجام شده است که در این روش مواد بیولوژیکی هیدرولیز شده موجود در بافت فلوک، قابلیت تجزیه هوازی پیدا نموده و در نتیجه مقدار لجن کاهش یافته است[۲].

مراحل تحقیق، تجهیزات و داده‌های حاصله:

پایلوت مورد استفاده شامل دو حوضچه فلزی متوالی به حجمهای ۴۵۰ و ۲۰۰ لیتر است که اولی حوضچه هوادهی و دومی حوضچه ته‌نشینی ثانویه می‌باشند. فاضلاب از طریق یک سر ریز به شکل V از حوضچه هوادهی وارد حوضچه ته نشینی ثانویه می شود. ارتفاع سر ریز حوضچه ثانویه از سر ریز حوضچه هوادهی کمتر می باشد و این به این دلیل است که فاضلاب به حوضچه هوادهی بر نگردد.بعد ازحوضچه ته نشینی ثانویه یک فضا برای جمع آوری پساب و انتقال آن به چاه فاضلاب در نظر گرفته شد.

سیستم هوادهی این پایلوت، سیستم دیفیوزری است که در کف حوضچه هواده قرار گرفته و به‌صورت دو شاخه در کناره‌های خط طولی میانی به پخش هوا در حوضچه هواده می‌پردازد. هوا هم از طریق کمپرسور به این دیفیوزر می‌رسد و فاضلاب را هوادهی می‌کند. کمپرسور موجود دارای خروجی کنترل شده نیست و این امر باعث عدم کنترل مقدار اکسیژن (هوای) ورودی می شود. برای رفع این نقیصه، خروجی کمپرسور را به یک تبدیل با پنج شیر تنظیم وصل کرده تا بتوان هوای خروجی از آن را تنظیم و کنترل نمود تا در صورت نیاز آن را کم یا زیاد کرد.

به منظور کنترل اکسیژن محلول حوضچه هواده از یک DO متر بسیار حساس با دقت یک صدم استفاده شد تا در هر لحظه بتوان DO محلول را کنترل کرد. البته pH و دمای فاضلاب نیز با این DO متر قابل اندازه‌گیری و کنترل است. به منظور تأمین شرایط Steady State و واقعی بودن نتایج، مقداری فاضلاب درون مخزنی که بیرون از محیط آزمایشگاه قرار گرفته بود، ریخته شد. این مخزن را با رابطهایی به پایلوت متصل کردیم. برای کنترل دبی ورودی به پایلوت، از این مخزن رابطها را به یک مخزن تنظیم جریان متصل کرده با شناوری که به هر یک از دو رابط متصل شد، سطح ثابتی برای فاضلاب ورودی بدست آمد. به‌طوریکه توانستیم دبی ورودی را کنترل کنیم. بدین طریق چون سطح فاضلاب در مخزن بیرونی کاهش می‌یابد و هد فاضلاب ورودی و در نتیجه دبی ورودی کم می‌شود، بنابراین مخزن تنظیم باعث شد تا این نقیصه رفع شد.

برای پایلوت یک خط برگشت در نظر گرفته شده است. یک لوله از انتهای حوضچه ته‌نشینی به ابتدای حوضچه هواده مسوولیت این کار را داشت. یک پمپ در این مسیر لجن را از طریق این لوله به هواده می‌رساند. این پمپ مدرج نیست و تنها با استفاده از یک شیر گازی می‌توان جریان را کم و زیاد کرد ولی با این شیر نمی‌توان دقت کافی را در تنظیم جریان به‌کار برد. برای مدرج کردن این خط برگشت نیز از دو تبدیل با پنج شیر تنظیم یعنی

www.SID.ir

Archive of SID

در مجموع ده شیر تنظیم استفاده شد تا بتوان لجن را به‌طور کنترل شده برگشت داد و در محاسبات استفاده کرد.

از آنجایی که فاضلاب استفاده شده از پساب حوضچه ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه شهرک قدس آورده شده، می‌توان گفت سیستم دارای سه حوضچه ته‌نشینی اولیه، هواده و ته نشینی ثانویه می‌باشد و می‌توان به‌عنوان یک تصفیه‌خانه کوچک آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گیرد.

روش اجرای تحقیق

ابتدا با تزریق فاضلاب از پساب حوضچه ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه شهرک قدس و اضافه کردن لجن فعال به سیستم و راه‌اندازی سیستم هوادهی، پایلوت شروع به کار کرد. در برآورد اولیه، به نظر رسید که مقدار لجن موجود در هواده (میکروارگانیزمهای فعال) کم می‌باشد[بوی فاضلاب خام،کم نشدن BOD و کدر بودن رنگ فاضلاب تصفیه شده دلیل این مدعا بود] که این نقیصه با اضافه کردن لجن فعال خط برگشت تصفیه‌خانه شهرک قدس به سیستم مرتفع شد. بوی سیستم طبیعی بوده و همچنین رنگ فاضلاب خروجی و ورودی نیز حالت طبیعی داشت. پس از دو روز از شروع کار پایلوت، که تقریباً سیستم جا افتاد ، آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌های گرفته شده آغاز شد. این آزمایش‌ها شامل $MLVSS$ ، $MLSS$ ، BOD_5 و COD بود [۱۰] که بر روی نمونه‌های ورودی به حوضچه هواده و خروجی از حوضچه ته‌نشینی ثانویه صورت گرفت. این نمونه‌ها در ساعات مختلف با اختلاف زمانی حدود ۳ ساعت گرفته شد. در ابتدا خط برگشت، لجن ثابتی را برگشت می‌داد ولی بعد از یک روز درصد لجن‌های برگشتی به منظور کسب نتایج بهینه تغییر داده شد.

تئوری و به کارگیری مدل‌های ریاضی

به‌طور کل می‌توان سه بخش در هر توده بیولوژیک(Biological Floc) مانند شکل (۱) در نظر گرفت[۴]:

۱- منطقه A که تجزیه سوبسترای (ماده مغذی; Substrate) موجود در فاضلاب در آن صورت می‌گیرد. به‌طوریکه در این قسمت از توده بیولوژیک هم اکسیژن کافی موجود است و هم سوبسترا و در نتیجه اکسیداسیون بیولوژیکی، می‌توان انتظار کاهش غلظت اکسیژن و سوبسترا را در آن منطقه داشت.

۲- منطقه B که فقط اکسیژن در دسترس است. در این بخش محتویات سلول‌های مرده تجزیه می‌شود. هر چقدر این بخش بزرگ‌تر باشد، تجزیه بیشتری در محتویات سلول‌ها صورت می‌گیرد و می‌توان انتظار کاهش لجن را داشت.

۳- منطقه C در مرکز توده بیولوژیک واقع است. به‌طوریکه اکسیژن در دسترس نیست و یک منطقه بی‌هوازی است. پس میکروارگانیزم‌ها در این بخش فعال نخواهند بود و کاهش در سوبسترا رخ نمی‌دهد و این در حالی است که هیدرولیز سلول‌های مرده ادامه پیدا می‌کند و باعث افزایش سوبسترا می‌شود.

برای رسم پروفیل سوبسترا و اکسیژن در توده بیولوژیک نیاز به حل یک سری معادلات دیفرانسیل است که برای کسب نتیجه می‌بایست فرضیات و روابط زیر را در نظر گرفت[۷]:

۱) تجزیه بیولوژیکی فقط در توده بیولوژیک صورت می‌گیرد.

۲) توده بیولوژیک کروی است.

۳) توده بیولوژیک از سلول‌های مجزایی ساخته شده که به‌صورت یکنواخت در کل حجم توده بیولوژیک پخش شده‌اند و چگالی سلولی در توده در امتداد شعاع یکسان است. به‌عبارت دیگر توده در معرض هواده، هموژن فرض می‌شود و هوا از طریق تمام سطح به توده بیولوژیک می‌رسد.

۴) ضریب پخش مواد مغذی در توده بیولوژیک ثابت است و پخش مولکولی کنترل کننده انتقال ماده مغذی خواهد بود.

۵) نرخ رشد ویژه موناد(Monod)ی را برای دو ماده سوبستره و اکسیژن در نظر می‌گیریم. به‌طوریکه مقادیر

www.SID.ir

Archive of SID

آن را می‌توان توسط روابط زیر بدست آورد.

$$r_s = \frac{\mu_{max}}{Y_s}\frac{S}{K_s+S}\frac{O}{K_o+O}X \quad (۱)$$

$$r_o = \frac{\mu_{max}}{Y_o}\frac{S}{K_s+S}\frac{O}{K_o+O}X \quad (۲)$$

۶) هیدرولیز سلول‌ها باید به‌عنوان منبعی برای سوبسترہ در نظر گرفته شود. (این در حالیست که در مدل‌های مختلف معمولاً این منبع را در نظر نمی‌گیرند). نرخ تشکیل سوبسترہ نسبتی از غلظت میکروارگانیزم‌ها خواهد بود که به‌صورت رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$r_s - lys = k_{lys}X \quad (۳)$$

۷) مشخصات سوبسترای شکل گرفته از هیدرولیز سلول‌های مرده همان مشخصات سوبسترای موجود در فاضلاب است و به‌صورت یک نوع سوبسترہ باید در نظر گرفته شود.

۸) نرخ خودخوری درونی با واکنش‌های مونودی بیان می‌شود و به عنوان نرخ تجزیه سوبسترای شکل گرفته از هیدرولیز سلول‌ها تفسیر می‌شود:

$$r_{res} = k_{res}\frac{O}{K_d+O}X \quad (۴)$$

۹) با فرض $K'_s \le S$ ، کسر $\frac{S}{K'_s+S}$ برابر یک در نظر گرفته می‌شود.

با اعمال قانون پخش Fick و فرضیات بالا و اعمال بالانس جرمی خواهیم داشت:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}(D_s r^2 \frac{ds}{dr}) - \frac{\mu_{max}}{Y_s}\frac{S}{K_s+S}\frac{O}{K_o+O}X + K_{lys}X - K_{res}\frac{O}{K_{od}+O}X \quad (۵)$$

$$\frac{dO}{dt} = \frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}(D_s r^2 \frac{dO}{dr}) - \frac{\mu_{max}}{Y_o}\frac{S}{K_s+S}\frac{O}{K_o+O}X - \alpha K_{res}\frac{O}{K_{od}+O}X \quad (۶)$$

برای حل معادلات دیفرانسیل فوق نیاز به شرایط مرزی داریم. تقارن مرکزی در توده و در نظر گرفتن لایه مرزی بین توده بیولوژیک و مایع مخلوط که باعث می‌شود غلظت در سطح توده با غلظت در مایع مخلوط برابر شود. از جمله شرایط مرزیی هستند که در نظر گرفته می‌شوند.

$$[\frac{ds}{dr}]_{r=0} = 0 \qquad [\frac{do}{dr}]_{r=0} = 0 \quad (۷)$$

$$[S]_{r=R} = S_F \qquad [O]_{r=R} = O_F \quad (۸)$$

بحث در نتایج، تجزیه و تحلیل ضرایب کنتیکی

با انجام آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌های گرفته شده بعد از بدست آوردن ضرایب کینتیکی فاضلاب K_s ، K ، Y ، K_d (K_d = ضریب خودخوری درونی، $\frac{1}{\text{زمان}}$) تأثیر غلظت اکسیژن و بارگذاری لجن بر لجن تولیدی با رسم نمودارهای زیر بدست آمد.

$$\begin{cases}\frac{K_s}{K} = 39/63 \\ \frac{1}{K} = 0/35\end{cases} \Rightarrow K = 2/86 \ \& \ K_s = 101/9 \quad (۹)$$

$$\begin{cases} Y = 0/49 \\ K_d = 0/06 \end{cases} \quad (۱۰)$$

$$\frac{\mu_m}{Y} = K \Rightarrow \mu_m = 1/4$$

K_s	K	K_d	Y	μ_m
۱۰۱/۹	۲/۸۶	۰/۰۶	۰/۴۹	۱/۴

با حل معادلات (۱) تا (۸)، پروفیل سوبسترہ و اکسیژن در توده بیولوژیک بدست می‌آید[۳].

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش اکسیژن محلول در حوضچه هواده و تأثیر آن در تولید لجن در نسبت‌های مختلف $\frac{F}{M}$ که نشان‌دهنده بارگذاری‌هـــای مختلف لجـن می‌باشد، نشـــان از کاهش لجن تولیـــدی داد. در بـــار لجن ۰/۴۱ $mg\ MLVSS / mg\ BOD_5$ ، با افزایش غلظت اکسیژن از ۲ تا ۵ mg/l ، مقدار مواد جامد موجود در حوض هواده تا حدود ٪۲۸ کاهش یافت. تأثیر بارگذاری مختلف لجن بر روی لجن تولیدی در غلظت ثابت اکسیژن در نمودار شکل ۷ بررسی شده است. در این نمودار ملاحظه می‌شود که کاهش لجن تولیدی به ازای غلظت اکسیژن محلول $mg/l\ 5/4$ به ازای کاهش بارگذاری لجن از ۰/۴ تا ۰/۱ $mg\ MLVSS / mg\ BOD_5$ به اندازه حدود ٪۳۳ است.

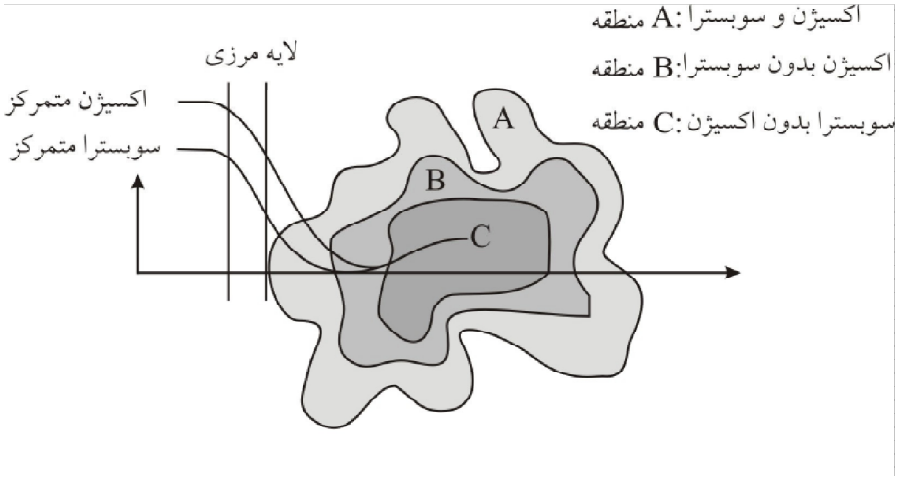
به منظور تسریع در ته‌نشینی[1] مواد جامد معلق در حوضچه ته‌نشینی ثانویه، می‌توان از مواد منعقد کننده[2] کمکی نظیر آهک استفاده کرد. البته باید در نظر داشت که به علت شرایط خاص میکروارگانیزم‌ها برای زندگی و حساسیت آنها در مقابل تغییرات نمی‌توان از آهک، به مقدار زیاد استفاده کرد. محدوده مناسب برای زندگی و فعالیت میکروارگانیزم‌های سیستم لجن فعال از نظر pH، ۶ تا ۸ می‌باشد.

استفاده بیش از حد آهک باعث افزایش pH می‌شود و محیط قلیایی را که برای رشد و فعالیت میکروارگانیزم‌ها مناسب نیست، بوجود می‌آورد.

به منظور دستیابی به غلظت مناسب آزمایش ته‌نشینی برای فاضلاب انجام شد. پس از نمونه‌گیری از فاضلاب، نمونه در استوانه‌های مدرج یک لیتری ریخته شد و با زمان سطح لجن شکل گرفته اندازه‌گیری گردید. البته در استوانه‌های مختلف از غلظت‌های متفاوت آهک استفاده و pH هم اندازه‌گیری شد. غلظت‌های آهک بکار رفته در این آزمایش صفر، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر است که بهترین نتیجه در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بدست آمد. زیرا در pH مجاز کمترین زمان را برای ته‌نشینی می‌دهد. در غلظت‌های بالاتر، ته‌نشینی مناسب‌تر و سریع‌تر حاصل شد. ولی مایع، قلیایی شده و pH از ۸ بیشتر می‌شود و این برای فعالیت میکروارگانیزم‌ها مضر است.(شکل ۸)[۴]

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات و آزمایشات صورت گرفته می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

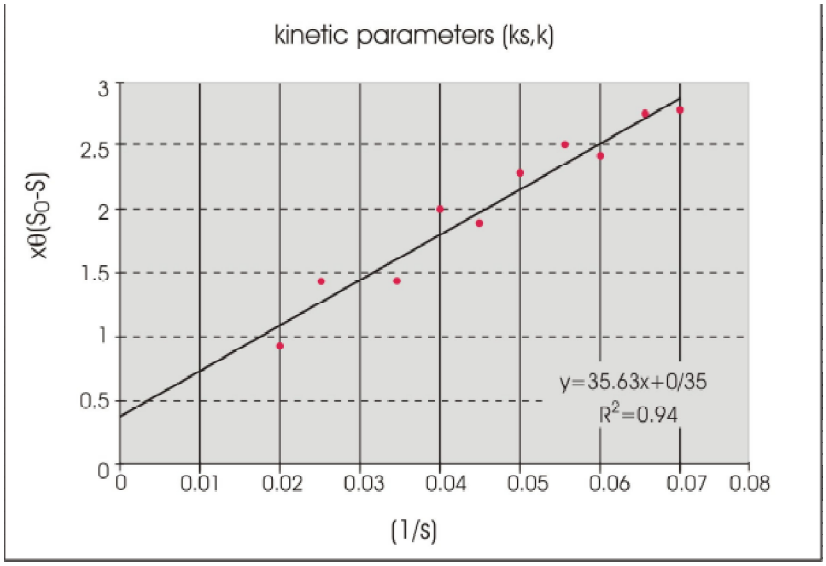


شکل(۱)- مناطق موجود در بافت توده

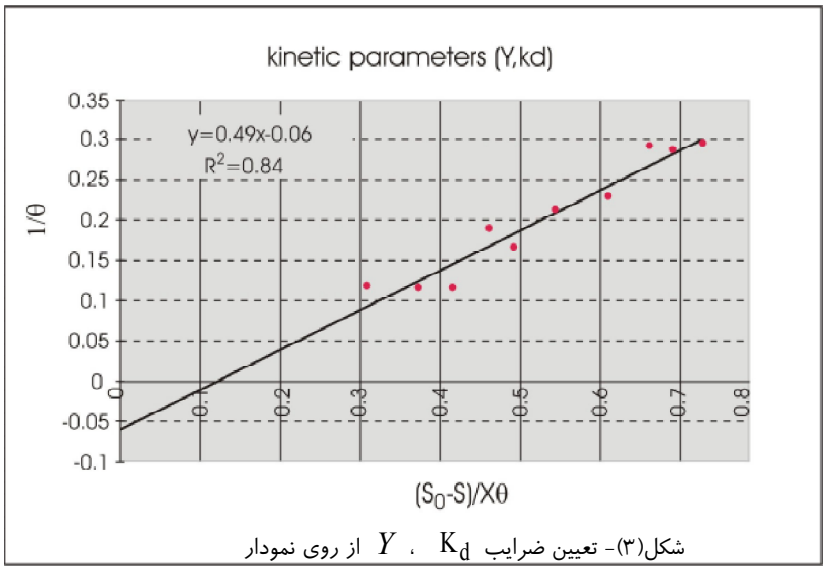
۱- Settlement
۲- Coagulant

www.SID.ir

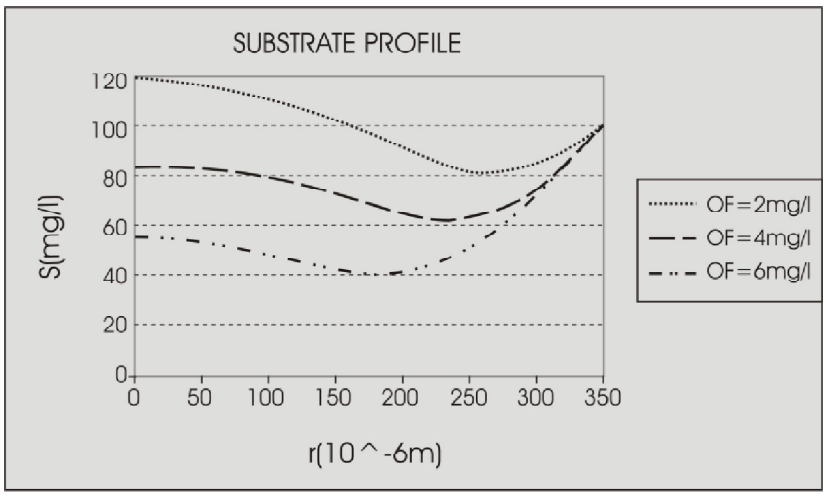
Archive of SID



شکل(۲)- تعیین ضرایب K ، K_s از روی نمودار



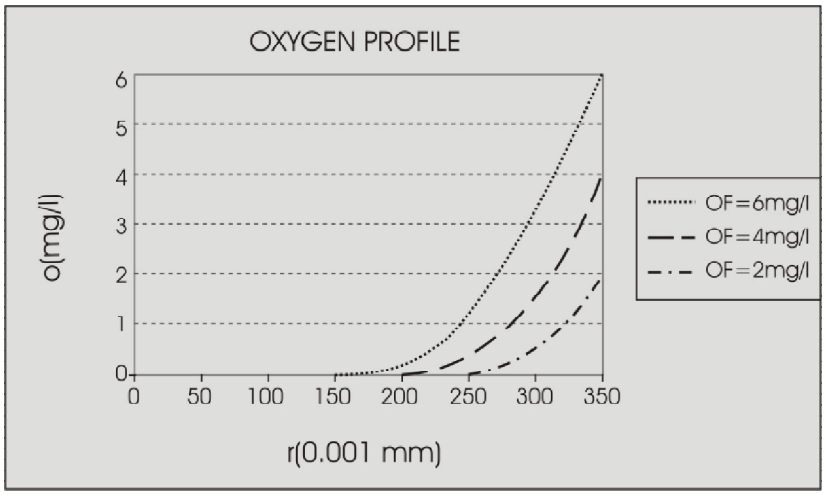
شکل(۳)- تعیین ضرایب K_d ، Y از روی نمودار



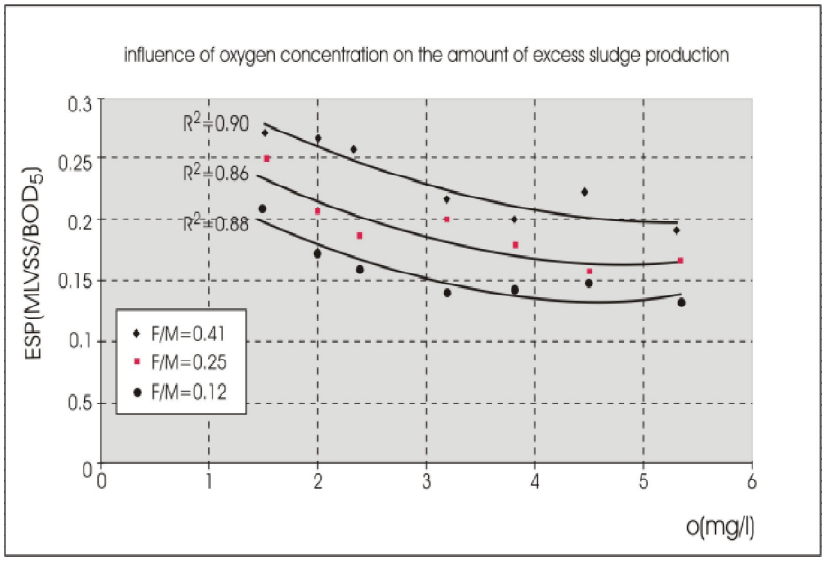
شکل(۴)- پروفیل سوبسترہ در توده بیولوژیکی

www.SID.ir

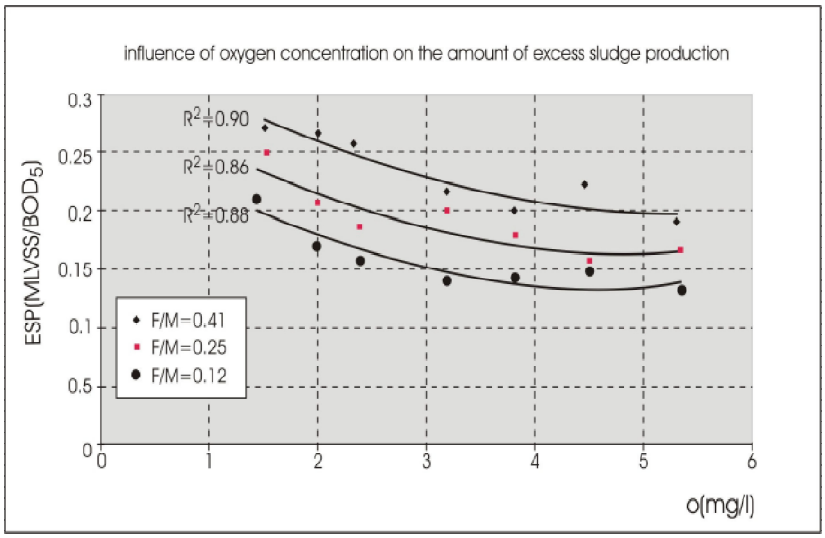
Archive of SID



شکل(۵)- پروفیل اکسیژن در توده بیولوژیکی

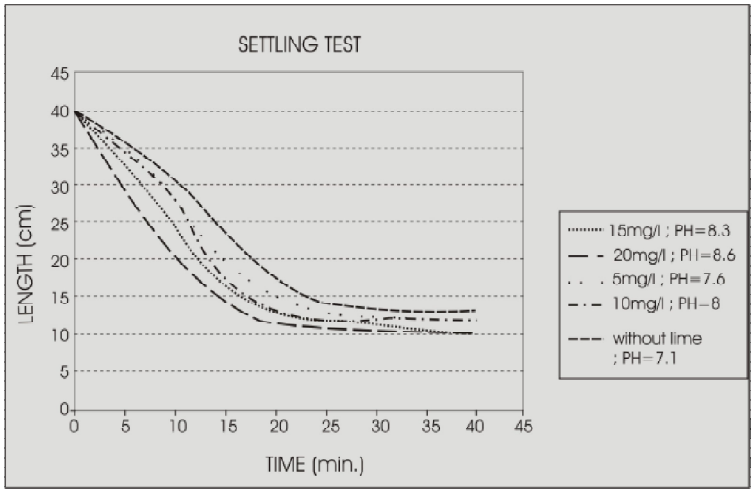


شکل(٦)- تأثیر غلظت اکسیژن بر مقدار تولید لجن مازاد



شکل(۷)- تأثیر بارگذاری لجن بر مقدار تولید لجن مازاد

www.SID.ir



شکل(۸)- نمودار ته‌نشینی با آهک

۱) افزایش غلظت اکسیژن در حوضچه هواده باعث پخش و نفوذ عمیق‌تر اکسیژن در توده بیولوژیکی شده و منطقه هوازی درون توده را افزایش می‌دهد که این خود باعث کاهش سوبسترای درون توده و بالطبع کاهش لجن خواهد شد.

۲) کاهش لجن تولیدی ناشی از بارگذاری کم لجن به علت شرایط محدودیت سوبسترا است که این نفوذ و پخش عمیق‌تر اکسیژن را در توده سبب می‌شود و باعث کاهش لجن تولیدی خواهد شد.

۳) نفوذ بیشتر اکسیژن به درون توده بیولوژیک باعث تجزیه بیشتر میکروارگانیزم‌های هیدرولیز شده و در نتیجه باعث کاهش لجن خواهد شد.

۴) بخش بیرونی توده بیولوژیک قادر است که در متابولیسم آلاینده‌های فاضلاب شرکت کند. در حالیکه بخش درونی در این زمینه غیر فعال خواهد بود.

۵) افزایش اکسیژن محلول مایع مخلوط، محدوده‌ای از توده را که در آن متابولیسم پروتوپلاسم ناشی از سلول‌های مرده صورت می‌گیرد، بزرگ‌تر می‌کند و این باعث کاهش لجن تولیدی می‌شود.

۶) برای ته‌نشینی بهتر و سریع‌تر مواد جامد معلق می‌توان از آهک به مقدار حداکثر استفاده کرد. زیرا مقدار pH از ۸ که حداکثر مقدار مجاز برای فعالیت و رشد میکروارگانیزم‌ها می‌باشد، تجاوز نمی‌کند[۱۱].

Reference

1. Metcalf & Eddy, Inc, 1991: Wastewater Engineering: Treatment, Disposal And Reuse, ed, New York, McGraw-Hill.

2. Abbassi, B, Dullstein, Rabiger, N, 1999: Minimization Of Excess Sludge Production By Increase Of Oxygen Concentration In Activated Sludge Flocs, Wat. Res. 34,139-146.

3. Benefield, L. D, Molz, F, 1993: A Kinetic Model For The Activated Sludge Process Which Considers Diffusion And Reaction In The Microbial Floc, Biotechnol. Bioengng, 25,2591-2615.

4. Benefield, L.D; Randall, C.W, 1980. Biological Process Design For Wastewater Treatment, Prentice-Hall, Inc.

5. Lishman, L.A; Murphy, K.L, 1994: The Significance Of Hydrolysis In Microbial Death And Decay, Wat. Res. 28,2417-2419.

6. Peavy, H.S; Rowe, D.R; Tchobanoglous, G, 1985: Environmental Engineering, McGraw-Hill, Inc.

7. Qasim, S.R, 1999: Wastewater Treatment Plants: Planning, Design And Operation, Technomic Publishing company, Inc.

8. Steel, E.W; McGhee, T.J, 1979: Water Supply

www.SID.ir

Archive of SID

And Sewerage, McGraw-Hill, Inc, ed.

۹. ابریشم چی ، ا. ؛ افشار ، ع. ؛ جمشید ، ب.: مهندسی فاضلاب . ،جلد اول ، مرکز نشر دانشگاهی اصفهان ، ۱۳۷۴

۱۰. اسدی ، م.: فرآیند لجن فعال ، اصول اداره و بهره برداری ، .سازمان آب و فاضلاب اصفهان ، ۱۳۶۷

۱۱. ترکیان ، ا. : مهندسی محیط زیست ، جلد اول : آب و فاضلاب . ، کنکاش ، ۱۳۷۴

۱۲. رنولدز ، ت. د. ؛ ریچاردز ، پ. ا. : واحدهای عملیاتی و فرآیندی در مهندسی محیط زیست ، جلد اول و دوم ؛ ترجمه : ترکیان ، ا. ؛ جعفر زاده ، م. ت. ؛ مردان ، س.؛ شرکت شهرکهای صنعتی تهران . ، ۱۳۷۹

۱۳. سازمان حفاظت محیط زیست : ضوابط و استانداردهای زیست . محیطی ، سازمان حفاظت محیط زیست ، ۱۳۷۸

۱۴. منزوی ، م. ت. : تصفیه فاضلاب ، دانشگاه تهران ، ۱۳۷۲ .

۱۵. ندافی ، ک.: تصفیه فاضلاب ، سازمان سازندگی وزارت آموزش .وزارت نیرو ، چاپ اول ، ۱۳۷۹

www.SID.ir