تحلیلی پیرامون برخی از

عوامل ایجادکننده بالکینگ

و روشهای کنترل آن

بیژن بینا[۱] ـ علی قیصری[۲] ـ شکوه‌السادات بابامیر[۳]

۱ـ عضو هیأت علمی دانشکده بهداشت دانشگاه اصفهان
۲ـ کارشناس ارشد مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب
۳ـ کارشناس ارشد شرکت آب و فاضلاب اصفهان

مقدمه

بدون شک فرآیند لجن فعال یکی از متداول‌ترین روشهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌باشد که از اوائل قرن نوزدهم در اروپا و امریکا بکار گرفته شده و دربارهٔ آن بیش از فرآیندهای بیولوژیکی دیگر تحقیق شده است. متأسفانه علیرغم همهٔ تحقیقات انجام شده مشاهده گردیده است که در بسیاری از نقاط دنیا سیستم لجن فعال به دلائل مختلف قادر به تأمین معیارهای طراحی شده و مورد انتظار نیستند. این مشکلات بیشتر به علت طراحی نامناسب، بهره‌برداری ناصحیح و کیفیت فاضلاب ورودی می‌باشد. از جمله مشکلات سیستمهای فرآیند لجن فعال عدم ته‌نشینی مناسب در حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه است. این امر موجب بالا رفتن غلظت مواد معلق (ss) و BOD_5 در پساب خروجی و عدم تطابق کیفیت پساب با استانداردهای جهانی خواهد شد. ضمناً عدم ته‌نشینی مناسب باعث می‌گردد که غلظت لجن برگشتی به حوض هوادهی کاهش یافته و کار سیستم دچار اختلال شود.

در این مقاله ضمن ارائه خلاصه‌ای از تحقیقات و پیشرفتهای بدست آمده در جهت حل مشکل بالکینگ سعی گردیده است که اساس تکنیکهای بکارگرفته شده از ابتدای امر مورد بررسی قرار گیرد.

اگر چه تحقیقات انجام شده در زمینهٔ حل مشکل بالکینگ در دههٔ گذشته بسیار متنوع و گسترده می‌باشد با اینحال می‌بایست متذکر شد که اساس علمی این تحقیقات به سالهای قبل از ۱۹۸۰ بر می‌گردد و شاید بتوان به جرأت گفت که تکنیک جدیدی به تکنیکهای گذشته اضافه نگردیده است و اساس کنترل پدیدهٔ بالکینگ همان نظرات و تئوریهای ارائه شده توسط محققین گذشته می‌باشد. معضل بالکینگ لجن فعال از همان ابتدای پیدایش این سیستم، طراحان و بهره‌برداران را به فکر واداشته است. البته در گذشته به علت مشکلاتی نظیر عدم وجود معیارهای اندازه‌گیری ته‌نشینی مانند SVI (اندیکس حجمی لجن) و یا SDI (اندیکس دانسیتهٔ لجن) در توصیف وضعیت عدم ته‌نشینی لجن با مشکلاتی روبرو بوده‌اند و در مقالات بجای واژهٔ بالکینگ از عباراتی نظیر عدم پایداری فرآیند و یا عدم ته‌نشینی لجن استفاده می‌کرده‌اند.

در حال حاضر مطالعات انجام شده در بعضی از کشورها نشان می‌دهد که حدود ۵۰٪ از واحدهای تصفیه بروش لجن فعال دچار مشکل بالکینگ ناشی از رشد بیش از حد باکتریهای رشته‌ای می‌باشند.

تاکنون عوامل متعددی از جمله بالا و پایین بودن Do، کم یا زیاد بودن F/M (نسبت غذا به میکروارگانیسم)، pH پایین و یا دلائلی مثل شکل راکتور را در رشد بیش از حد باکتریهای رشته‌ای

مؤثر دانسته‌اند. همانطور که ملاحظه می‌شود این عوامل بسیار متغیر و پیچیده می‌باشند و به نظر می‌رسد که تکنولوژی در جهت کنترل ارگانیسمهای رشته‌ای مولد بالکینگ بکندی پیشرفت می‌کند با اینهمه تحقیقات نشان می‌دهد که هر نوع خاصی از باکتریهای رشته‌ای توسط یک سری از شرایط محیطی رشد بوجود می‌آید. جدول شماره ۱ باکتریهای رشته‌ای غالب و عامل اصلی ایجاد آنها را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۱) : باکتریهای رشته‌ای غالب و شرایط پیدایش آنها

شرایط	انواع
Do پایین	H. hydrossis, Type 1701, s. natans
F/M پایین	0041, 0675, 0092, 0581, 0961, 0803, M. Parvicella, Nocardia, H.hydrossis
فاضلابهای سمی و حاوی سولفید	Thiothrix SPP, Beggiatoa SPP., Type 021N
pH پایین	قارچ
کمبود مواد غذایی	Type 021N, 0041, 0675, s.natans H. hydrossis, Thiothrix SPP.

تکنولوژی موجود در کنترل بالکینگ

امروزه چهار روش کنترل بیولوژیکی برای مهار پدیدهٔ بالکینگ پیشنهاد می‌شود که عبارتند از:

۱ـ استفاده از راکتورهایی با جریان نهرگونه (PFR[1]) و یا حوضچه‌های خانه‌بندی شده که در آنها نسبت طول به عرض بزرگتر یا مساوی (۱:۲۰) در نظر گرفته شده است. در اینگونه راکتورها جریان برگشتی (back mixing) به حداقل رسیده و کنترل Do در ابتدای حوضچه میسر می‌باشد.

۲ـ استفاده از یک سری راکتورهای بیولوژیکی مجزا بجای راکتورهای بیولوژیکی خانه‌بندی شده جهت حذف کامل جریان برگشتی و نیز کاهش تدریجی نسبت F/M در حین عبور از اینگونه راکتورهاست.

۳ـ ایجاد شرایط کاملاً هوازی (Do≥ ۲ mg/lit) و یا مقدار جزیی اکسیژن محلول (Do≤mg/۰/۲lit) در ابتدای راکتورها، ضمناً در هر دو صورت مقدار بار F/M می‌بایست kg (≥۳BO5/kg Mlss.d) نگهداری شود.

۴ـ استفاده از راکتورهای سری شده با جریان بسته (SBR)[2] بدون هوادهی (این متد معادل یک PFR است که به مقدار نامتناهی خانه‌بندی شده است).

هر چند چهار روش ذکر شده باعث کنترل SVI در حد قابل قبولی (SVI≤ ۱۲۰ml/g) گردیده با این وجود مشاهده شده در بعضی از موارد با وجود استفاده از روشهای فوق مقادیر SVI از حد ذکر شده بیشتر بوده که این موضوع خود نیاز به تحقیقات بیشتری را در این زمینه نشان می‌دهد.

استفاده از راکتورهای بسته برای افزایش کارآیی سیستم در صنایع شیمیایی و دارویی از مدتها قبل تجربه شده است. لون اسپیل[1] در سال ۱۹۵۷ گزارش نموده است که سرعت واکنش در

۱- plug flow reactor ۲- suquencing batch reactor

سیستمهای بسته نسبت به سیستمهای پیوسته به مراتب بیشتر است معمولاً در عمل برای رسیدن به حالت سنتیتک ایده‌آل که در راکتورهای بسته به وقوع می‌پیوندد از راکتورهای خانه‌بندی شده استفاده می‌گردد و این در حالی است که مزیت تداوم جریان نیز حفظ شده است.

علت بالا بودن سرعت واکنش در راکتورهای بسته بالا بودن غلظت سوبسترا در این گونه راکتورهاست. در سیستمهای متعارف لجن فعال (اختلاط کامل) (CMAS)[2] به علت پایین بودن غلظت سوبسترا نه تنها سرعت واکنش پایین بوده بلکه زمینه را برای رشد باکتریهای رشته‌ای فراهم می‌آورد. علت آن اینست که اینگونه باکتریها نسبت به باکتریهای لخته ساز دارای ثابتهای[3] نیمه اشباع کمتری می‌باشد. نهایتاً این شرایط باعث تولید پدیدهٔ بالکینگ ناشی از رشد باکتریهای رشته‌ای می‌شود.

جمع‌آوری و مطالعات انجام شده در ارتباط با کنترل بالکینگ توسط بعضی از محققین صورت گرفته است (۲ و ۳). جالب است که اشاره گردد استفاده از SVI که امروزه در کنترل بالکینگ به عنوان خاصیت فشردگی لجن بکار برده می‌شود اولین بار توسط دو نفر بنامهای ولینگتون دونالدسون[4] و دیویدسون[5] در حدود ۵۰-۳۰ سال قبل ارائه گردیده است. این محققین بعد از آزمایشات مفاهیمی را ارائه نموده‌اند که حتی امروزه در طراحی تصفیه‌خانه‌های پیشرفته بکار می‌رود. نقطه نظرات آنها شامل موارد زیر است:

الف : تقسیم‌بندی در راکتورهای تصفیه‌ثانویه

ب : نواحی متناوب هوازی ـ غیرهوازی

ج : راکتورهایی با جریان نیمه پیوسته و یا با جریان بسته

د : کنترل اکسیژن محلول

با توجه به مفاهیم ارائه شده در بالا توسط دیویدسون و دونالدسون سعی شده است در ذیل مطالبی دربارهٔ نقطه‌نظرات فوق جهت کنترل بالکینگ ارائه گردد.

راکتورهای لجن فعال خانه‌بندی شده Compartmentalized Activated sludge reactors دونالدسون در مقالات سال ۱۹۳۲ مزیت حوضچه‌های هوادهی خانه‌بندی شده را جهت جلوگیری از جریان برگشتی نشان می‌دهد از همان دوران دونالدسون علت ناپایداری فرآیند لجن فعال را جریان برگشتی حدس می‌زده است. اگر چه ۳۵ سال بعد اختلاف در سینتیک بیولوژیکی PFR در مقایسه با CMAS مشخص گردید البته در سالهای ۱۹۷۰ـ ۱۹۶۰ مهندسین طراح راکتورهای CMAS را بر راکتورهای PFR ترجیح می‌دادند ولی بعدها مجدداً سیستمهای PFR مورد توجه قرار گرفت.

به عقیدهٔ دونالدسون عامل اصلی ایجاد بالکینگ رشد ارگانیسمهای رشته‌ای است که در شرایط مناسب غذایی غالب می‌شوند که او آنها را علفهای هرز لجن فعال نامید.

در اینجا می‌بایست اشاره شود اگر اکسیژن محلول نیز به عنوان منبع غذایی در نظر گرفته شود می‌توان گفت محققین تا پنجاه سال بعد نتوانستند توصیف بهتری برای بالکینگ ارائه نمایند.

آقای دونالدسون در تجربیات خود در تصفیه‌خانه نیوجرسی متوجه شد که جریان میان بر (short-circuits) باعث کاهش زمان ماند واقعی می‌گردد و این امر موجب غالب شدن اسفرتیلوس می‌شود و او علت این مشکل را عدم زمان ماند کافی برای تماس ماده آلی و لجن فعال ذکر نموده است.

در مقالهٔ بعدی دونالدسون عقاید خود را در ارتباط با علل و نیز راه حلهای احتمالی مشکل بالکینگ بیان نموده‌اند او رشد میکروارگانیسمهای رشته‌ای را به عواملی مانند پیک بار آلی، زمان کم هوادهی، و جریان میان‌بر که بطور همزمان اتفاق بیافتد نسبت داد همچنین متذکر شد با وجود این شرایط تأثیر هوا در کنترل بالکینگ بی‌اثر است. نتیجه مطالعات دونالدسون باعث استفاده از (baffle) در حوضچه‌های هوادهی تنافلای[6] گردید که برای جلوگیری از بوجود آمدن جریان میان‌بر و جریان برگشتی بکار رفته بود.

در دههٔ ۱۹۳۰ استفاده از راکتورهای (PFR) باعث انتقال کم اکسیژن محلول در قسمت ابتدای حوضچه هوادهی همراه با F/M بالا گردید و این امر موجب ایجاد شرایط نامساعد برای رشد باکتریهای رشته‌ای و نهایتاً کنترل بالکینگ شد.

علیرغم مطالعات دونالدسون، در دهه‌های بعدی مهندسین طراح سیستمهای لجن فعال را بطور کامل هوازی نگه‌داشتند هر چند این امر باعث افزایش اکسیژن محلول در ابتدای حوضچهٔ هوادهی می‌شود اما نهایتاً باعث ایجاد پدیدهٔ بالکینگ می‌گردد. مزایای راکتورهای CMAS، سری شده با کاربرد اکسیژن خالص

۱- Leven spiel

۲- Completely mixed Activated sludge

۳- half-saturation constants

۴- Wellington Donaldson ۵- Alex.B.Davidson

۶ - Tenafly

همزمان توسط مهندسین طراح مورد توجه قرار گرفت و اینگونه راکتورها در طراحی تصفیه‌خانه‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

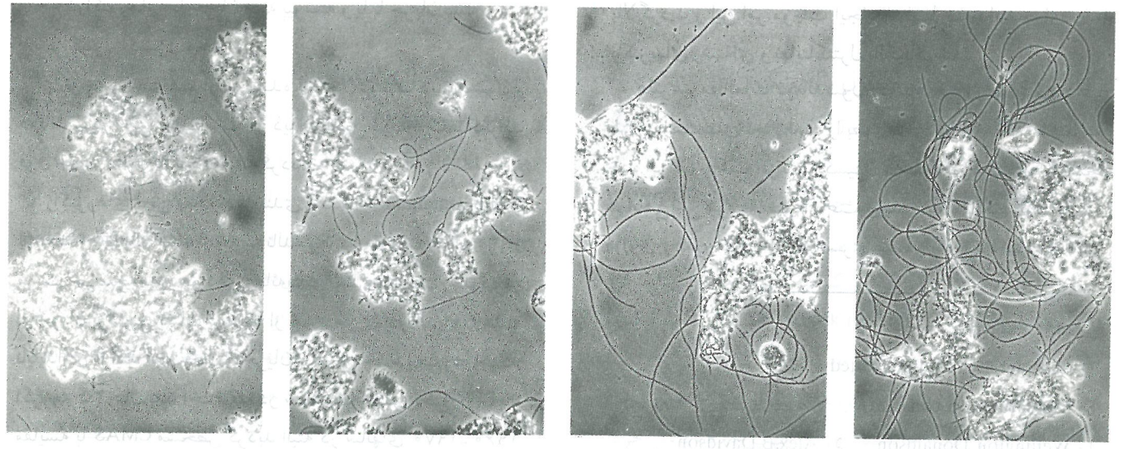
در مطالعات دیگری که در سال ۱۹۷۳ انجام شد مشخص گردید هر چه تعداد خانه‌ها در راکتورها بیشتر باشد مقدار SVI کمتر خواهد بود و یا به عبارت دیگر هر چه مقدار عدد پراکندگی کمتر باشد SVI کمتری بدست خواهد آمد. لازم به ذکر است که در راکتورهای اختلاط کامل تک واحدی عدد پراکندگی بطرف بینهایت میل می‌کند در صورتی که در راکتورهای PFR ایده‌آل مانند راکتورهای جریان بسته مقدار عدد پراکندگی به سمت صفر میل می‌کند. جدول شماره ۲ تأثیر خانه‌بندی شدن راکتورهای جریان پیوسته و عدد پراکندگی را بر روی SVI نشان می‌دهد.

چودوبا[1] اظهار می‌دارد در آزمایشات فوق مقدار اکسیژن محلول در تمام خانه‌ها حدود ۲mg/lit نگهداری می‌شد. گر چه بعداً متذکر گردید که میزان اکسیژن محلول در ابتدای حوضچه کمتر از ۰/۵ mg/lit بوده است.

چودوبا در تأیید راکتورهای خانه‌بندی شده نسبت به راکتورهای اختلاط کامل، اظهار می‌دارد که باکتریهای رشته‌ای مولد بالکینگ در اینگونه راکتورها رشد محدود داشته، به علت وجود نواحی هوازی و بیهوازی پدیدهٔ نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون اتفاق افتاده، احتمال حذف فسفات در اولین خانهٔ غیرهوازی وجود داشته و باکتریهای نیتریفایر[2] در این سیستم نسبت به غلظت بالای ازت آمونیاکی نسبت به آنهایی که در

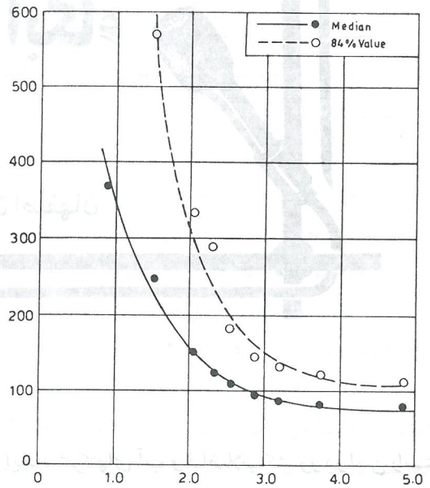
SVI ml .g	عدد پراکندگی (D)	تعداد خانه‌ها
۵۱۷	∞	۱
۳۰۰	۱/۰۶	۴
۹۱	۰/۱۷	۸
۵۱	۰/۰۳۳	۱۶

جدول شماره (۲) : تأثیر خانه‌بندی شدن راکتورهای جریان پیوسته و عدد پراکندگی بر روی SVI



۱- Chudoba ۲- nitrifiers

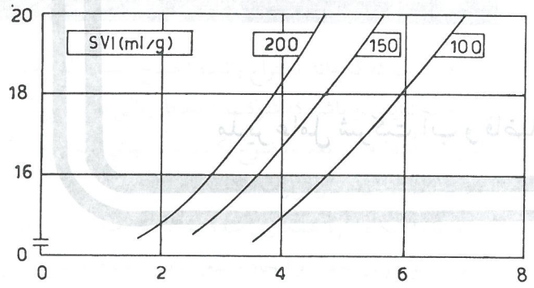
سیستم اختلاط کامل بوجود می‌آیند حساسیت کمتری داشته است. جنکینز[1] نیز در مطالعات خود مفاهیم ارائه شده توسط دونالدسون را تأیید نمود. لجن‌هایی که دارای فسفر بالا بوده SVI کمتری داشته (شکلهای ۱ و ۲). بنابراین همانگونه که چودوبا گزارش نموده است راکتورهایی که دارای عدد پراکندگی کم می‌باشند لجنی با SVI پایین تولید می‌کنند.



شکل (۱) رابطه بین SVI و فسفر به نسبت MLSS آلی

همچنین بارنارد[2] مشاهده نمود که لازمهٔ حذف فسفر وجود یک مرحلهٔ غیرهوازی در تصفیهٔ فاضلاب می‌باشد و ارتباطی بین کنترل لجن بالک شده و حذف فسفر غالباً مشاهده شده است که البته استثناهایی در این نتیجه‌گیری ممکن است وجود داشته باشدکه مربوط به پارامترهای طراحی می‌باشد.

۱- Jenkins ۲- Barnard



شکل (۲) رابطه بین SVI ، نیتروژن و فسفر به نسبت کربن

References

۱- D.Jenkins, ET. AL. Causes and Control of Activated-Sludge Bulking

۲- B. Chambers and E.J. Tomlinson. Bulking of Activated Sludge: Preventation and Remedial Measures.

۳- Jenkins, D., ET AL . "Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming."

۴- Donaldson, W., Use of Activated Sludge Increasing