تحلیلی پیرامون

برخی از عوامل ایجادکنندهٔ بالکینگ و روشهای کنترل آن

بیژن بینا* ـ علی قیصری** ـ شکوه‌السادات بابامیر***

همانگونه که خوانندگان محترم اطلاع دارند در مجله شمارهٔ ۱۲ نظرات برخی از محققین و صاحب نظران در مورد عوامل مولد بالکینگ و راههای کنترل آن بحث گردید. به علت اهمیت موضوع دنبالهٔ مطلب در این شماره ارائه می‌گردد.

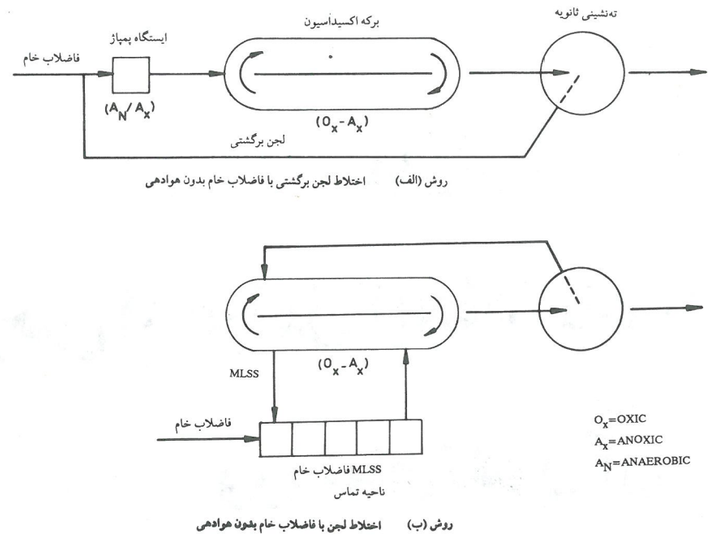
نواحی متناوب بیهوازی ـ هوازی[1]

تکنولوژی جدید در ارتباط با کنترل بالکینگ بیشتر شامل تغییراتی در سیستمهای متداول تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال با ایجاد مناطقی خاص در محل ورودی فاضلاب به سیستم می‌باشد. مزایای استفاده از این روش بهبود قابلیت ته‌نشینی، حذف نیتروژن و بهبود کیفیت پساب است [۱]. هر چند امروزه این تکنولوژی مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است ولی سابقه علمی آن به زمانهای قبل بر می‌گردد. دیویدسون که یک طراح و محقق بود در سال ۱۹۵۲ فرآیندی را جهت کنترل رشد بیش از حد باکتریهای رشته‌ای در فاضلابهای تقطیری[2] ارائه نمود که با تمام فرآیندهای شناخته شده تا آن زمان مغایرت داشت. نتایج تحقیقات دیویدسون نشان می‌داد که استفاده از نواحی متناوب بیهوازی ـ هوازی پدیدهٔ بالکینگ لجن را در مورد این نوع فاضلابها کنترل می‌نماید. این فرآیند مستلزم چندین ساعت تماس بیهوازی لجن فعال برگشتی با فاضلاب ورودی و به دنبال آن تصفیه هوازی می‌باشد. در حقیقت روش جدید دیویدسون خط بطلانی بر استفاده از روشهای تصفیه بیولوژیکی کاملاً هوازی بود. دیاگرام این فرآیند در شکل شماره (۱) نشان داده شده است.

*ـ استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
**ـ کارشناس ارشد مهندسین مشاور طرح و تحقیقات آب و فاضلاب
***ـ کارشناس ارشد شرکت آب و فاضلاب اصفهان

1- Anaerobic - Oxic alternating zones

2- Distillery



شکل شماره ۱ : دیاگرام فرآیند روش دیویدسون

در آن زمان هضم بیهوازی زمان ماند ۲۰-۱۵ روز را تداعی می‌کرد. در حالی که هضم بیهوازی دیویدسون MLSS لجن برگشتی را در مدت زمان چندین ساعت تصفیه می‌نمود. این روش اعتقاد عمومی مبنی بر اینکه لجن برگشتی می‌بایست در یک شرایط هوازی قرار گیرد در غیر این صورت کارآیی خود را در تصفیه فاضلاب از دست می‌دهد را تکذیب نمود. البته قبل از اواسط دههٔ ۱۹۶۰ این اظهارنظر مغایر اعتقاد عمومی مهندسین آب و فاضلاب آن زمان بود. اگر چه حتی در آن دوران نیز عده‌ای از مهندسین طراح که استفاده از اکسیژن خالص را در سیستم لجن فعال پیشنهاد نموده بودند، قبول داشتند که لجن فعال حداقل تا ۲۴ ساعت اگر در شرایط بیهوازی قرار گیرد آسیبی نخواهد دید.

طرح دیویدسون توسط مطالعات دیگران[۲] و نیز تجربیات متصدیان تصفیه‌خانه‌ها که با خاموش کردن هواده‌ها در شب (دبی ورودی کم) توانسته بودند پدیدهٔ بالکینگ را کنترل نمایند، تأیید گردید.

مهندسین با تجربه آن زمان بر این باور بودند که وجود فاضلاب ورودی غیرهوازی به مقدار زیاد در یک راکتور لجن فعال باعث اختلال در سیستم خواهد شد اگر چه کراوس[۳] دریافت که مقدار محدود لجن هضم شده برگشتی به حوضچهٔ هوادهی نه تنها باعث اختلال در فرآیند لجن فعال نخواهد شد بلکه به کنترل بالکینگ هم کمک می‌کند و تنها مقدار نامحدود آن باعث افزایش بار سیستم و عدم کارآیی آن خواهد شد.

دیویدسون در تجربیات خود دریافت که فاضلاب را می‌توان مستقیماً به دفعات مختلف تحت تصفیه بیهوازی - هوازی قرارداد و بدین صورت پدیدهٔ بالکینگ را کنترل نمود.

در سال ۱۹۵۲ دیویدسون متدی را ارائه نمود که در آن زمان ماند سیستم کم بوده و فاضلاب از فاز بیهوازی - هوازی عبور نموده و لجن فعال برگشتی با فاضلاب خام مخلوط شده و به ابتدای ناحیهٔ بیهوازی وارد می‌گردید. او مزایای این سیستم را بدین شرح تعریف نمود:

- کارآیی خوب تصفیه
- قابل اعتماد بودن سیستم
- کاهش شوک پذیری
- کاهش هزینه‌های ساختمانی

هدف دیویدسون از ارائه روش فوق پایداری سیستم لجن فعال و یا به عبارتی کنترل پدیدهٔ بالکینگ لجن بوده است که امروز کارشناسان به مزایای آن پی برده‌اند.

اگر چه در آن زمان تصفیه فاضلاب مراحل ابتدایی رشد خود را طی می‌نمود، با اینحال دیویدسون تشخیص داد که باکتریهای هوازی موجود در لجن برگشتی در نتیجهٔ عبور از ناحیه بیهوازی دچار آسیب نخواهند شد و این قبیل باکتریها تنها تحت تأثیر تحریکات غیرمعمول قرار می‌گیرند.

لازم به تذکر است که حتی تا بعد از سی و پنج سال مطلب جدیدی به نتیجهٔ فوق اضافه نگردید به جز اینکه تحریکی که دیویدسون به آن اشاره نموده بود باعث رشد ارگانیسم‌های بخصوصی خواهد شد که وجود آنها به زیان رشد ارگانیسم‌های ایجاد کنندهٔ بالکینگ است.

در حقیقت دیویدسون متدی را توصیف نمود که بوسیله ایجاد شرایط محیطی بتوان بالکینگ را کنترل نمود. این متد در سال ۱۹۷۴ بوسیله هاید و پاسویر[۴] مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت و سپس به عنوان فرآیند بیهوازی - هوازی (A/O) موسوم گردید.

اندیکس حجمی لجن فعال (SVI) فاضلابهای تقطیری بطور معمول بین ۱۰۰۰-۴۰۰ml/g می‌باشد که با استفاده از فرآیند بیهوازی - هوازی روش دیویدسون به ۲۳۰-۳۴ml/g کاهش می‌یابد. مدت زمان ماند مرحلهٔ بیهوازی ۶/۸-۱۳/۴ ساعت و درجه حرارت آن از ۷۳-۷۸°F متغیر بوده است. درصد حذف BOD برای فاضلاب خام تقطیری با BOD حدود ۴۸۵mg/L حدود ۹۹/۵ درصد و برای فاضلاب خام تقطیری با BOD ۸۸۴mg/L حدود ۹۸/۸ درصد گزارش شده است.

هاید و پاسویر برای کنترل بالکینگ از روشهای مختلف تغذیه سیستم بر روی برکه‌های اکسیداسیون استفاده کردند که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است.

همچنین آنها برای کنترل SVI از دو روش استفاده کردند که در شکل ۲ به صورت روش الف و ب نشان داده شده است.

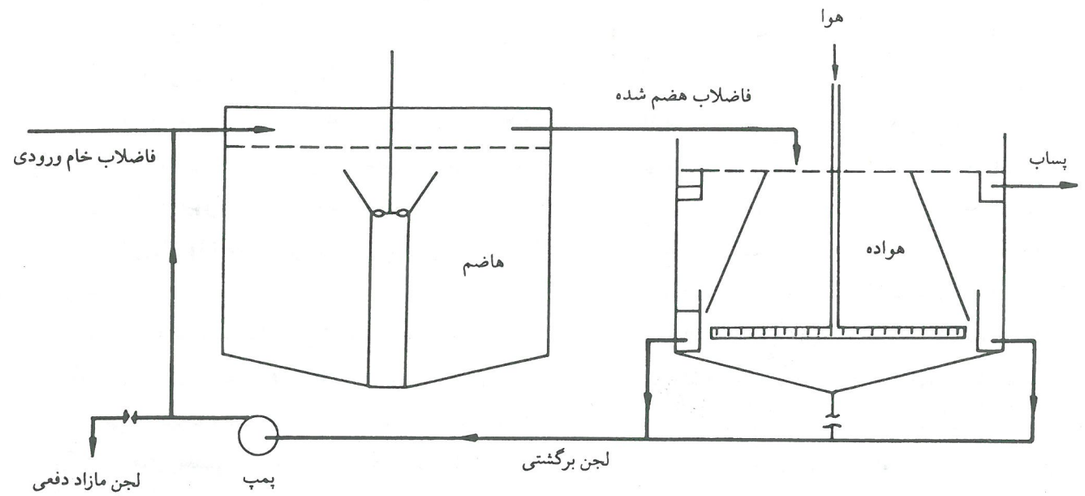
جدول شماره ۱ : اثر نحوهٔ تغذیه راکتور بر روی SVI

نحوهٔ تغذیه	SVI ml/g
پیوسته	۶۰۰-۵۰۰
ناپیوسته	۱۵۰-۱۰۰
پیوسته به همراه تانک اختلاط	۷۰
راکتور بسته	۵۰-۴۰

جدول شماره ۲ : تأثیر نحوهٔ لجن فعال برگشتی بر SVI در برکه‌های اکسیداسیون هلند

برکه اکسیداسیون	نحوه برگشت لجن	SVI (mL/g)	ناحیه ابتدایی
Zoeterwovde	اختلاط در محل پمپاژ	۵۵-۳۵	A الف
Nieuwkoop	اختلاط در محل پمپاژ	۴۵-۳۰	A
Hazerswoude	اختلاط در محل پمپاژ	۱۰۰-۶۰	A
Langeraar	مستقیم به برکه	۲۳۵-۱۶۰	O ب
Koudelerk	مستقیم به برکه	۱۶۰-۱۴۰	O
woubrugge	مستقیم‌به برکه	۲۰۰-۱۰۰	O

الف : بیهوازی یا انوکسیک ب : اکسیک



شکل شماره ۲ : دیاگرام روش بیهوازی / انوکسیک ـ هوازی پاسویروهاید

روش الف در حقیقت مشابه روش دیویدسون می‌باشد ولی در روش ب MLSS برگشتی در حوضچهٔ هوادهی با فاضلاب خام ورودی مخلوط می‌شود. در هر دو روش SVI بطور مؤثری کنترل شده که جدول شماره ۲ نشان دهندهٔ کارآیی خوب هر دو سیستم می‌باشد.

ناحیه ابتدایی و یا تانک اختلاط در مطالعات آنان بسته به کیفیت فاضلاب ورودی و طراحی فرایند بیهوازی و یا انوکسیک بوده است. نسبت F/M حدود ۱۰-۶کیلوگرم بر کیلوگرم MLSS در روز بوده است.

هاید و پاسویر در ادامه کار چودوبا و همکارانش مکانیزم جذب مواد آلی توسط باکتریهای هوازی در محیط فاقد اکسیژن را تشخیص دادند. آنها گزارش کردند که سرعت جذب سطحی مواد آلی سریع بوده و در این سرعت میزان بار لخته‌ای برای مدت کوتاهی (چند دقیقه) بالا می‌باشد. لازم به ذکر است که یکی از راههایی که به کمک آن میتوان نحوهٔ تغذیه سیستم را به سمت نهرگونه هدایت نمود، استفاده از عاملی بنام بار لخته‌ای می‌باشد. طبق تعریف این فاکتور به روش زیر محاسبه می‌گردد.

$$\text{بارلخته‌ای} = \frac{\text{مقدار موادآلی وارد شده به استخر هوادهی در واحد زمان}}{\text{مقدار لجن‌برگشتی به استخر هوادهی در واحد زمان}}$$

فاکتور مزبور بر حسب میلی‌گرم BOD ورودی به گرم مواد معلق لجن برگشتی بیان می‌گردد. برای کنترل بالکینگ مقدار بار لخته‌ای می‌بایست بالا نگهداری شود. آنها نتیجه گرفتند که باکتریها در داخل و یا روی لخته قرار می‌گیرند و مواد آلی به مقدار زیادی جذب سطح لخته می‌گردد. (عمل آنزیمی باکتریها در این میزان جذب در داخل لختهٔ مؤثر است).

بنابراین هاید و پاسویر نه تنها عقاید دیویدسون را تأیید نمودند بلکه مکانیزم بیولوژیکی را که بوسیله آن

ارگانیسم‌های مولد SVI پایین غالب می‌شوند را نیز ارائه نمودند. در حال حاضر پذیرفته شده که باکتریهای لخته ساز (غیر مولد بالکینگ) دارای قابلیت جذب ، ذخیره و تبدیل مواد غذایی در شرایط DO محدود هستند در حالی که باکتریهای رشته‌ای تحت شرایط فوق دارای قابلیت محدود می‌باشند. این شرایط بازدارنده برای ارگانیسمهای رشته‌ای در سیستم انوکسیک ـ بیهوازی ، و نیز سیستمهایی که اکسیژن محلول محدود دارند اتفاق می‌افتد.

در اواسط دههٔ ۱۹۷۰ فرایند چهار مرحله‌ای باردنفو[1] و فرآیند سه و پنج مرحله‌ای فاردوکس[2] و فرآیند A/O و فرآیند AN/Ax/O (A^2/O) مورد استقبال طراحان جهت تصفیه پیشرفته فاضلاب قرار گرفت. در هر یک از این فرآیندها یک مرحلهٔ بیهوازی و یا انوکسیک قبل از تصفیه هوازی وجود دارد.

راکتورهای با تغذیه نیمه پیوسته یا بسته[3]

آلدرن[4] و لاگت بنیانگذاران سیستم لجن فعال هیچگاه مواجه با مشکل بالکینگ لجن نشدند زیرا سیستم مورد نظر آنها استفاده از راکتورهای پر و خالی (بسته)بوده است که در حقیقت همان سیستم نیمه پیوسته است [۵].

بعضی از محققین قبل از سال ۱۹۶۹ اظهار نظر کرده بودند که در سیستم لجن فعال با جریان بسته رشد باکتریهای رشته‌ای متوقف می‌شود در صورتی که برای همان فاضلاب اگر نوع سیستم به اختلاط کامل تبدیل شود با رشد بیش از حد باکتریهایی رشته‌ای مواجه خواهیم گردید. پاسویر جهت کنترل پدیدهٔ بالکینگ در یکی از برکه‌های اکسیداسیون هلند با تغییر نوع تغذیه سیستم از پیوسته ($15m^3/h$) به جریان بسته ($60m^3/h$ در هر چهار ساعت یک ساعت) موفق گردید مقدار SVI را از ۵۰۰mL/g به ۱۰۰mL/g کاهش دهد.

از اوایل ۱۹۷۰ استفاده از راکتورهای بسته به وسیله خانه‌بندی کردن راکتورهای پیوسته عملی گردید و بدین ترتیب پدیدهٔ بالکینگ کنترل شد. البته باید متذکر گردید چندین سال طول کشید تا طراحی جدید راکتورهای خانه‌بندی شده از طرف جامعهٔ مهندسین طراح آن زمان پذیرفته گردد.

کنترل اکسیژن محلول[5]

ایده بکار بردن اکسیژن محلول محدود در ناحیه‌ای که F:M بالا نگه داشته می‌شود توسط متخصصین متعددی جهت کنترل رشد باکتریهای رشته‌ای بیان گردیده است.

مشاهدات باتلا[6] نشان می‌دهد که در یک سیستم در حال بهره‌برداری هشت مرحله‌ای در صورتی که غلظت اکسیژن محلول در مرحلهٔ اول در حد صفر نگهداری شده و در مراحل بعدی افزایش یابد باعث کاهش SVI از ۲۲۹-۲۳۵mL/g به ۹۱-۱۰۲mL/g خواهد شد. در این حوضچه‌های هوادهی هشت مرحله‌ای مقدار F:M بتدریج کاهش می‌یابد. او نتیجه‌گیری کرد که تاکید بر روی غلظت کم اکسیژن به جای قطع کامل آن باعث ایجاد محیطی نامناسب برای رشد باکتریهای رشته‌ای خواهد شد.

در دههٔ ۱۹۶۰ محققین پی بردند در صورتی که در ناحیه ابتدایی حوضچهٔ هوادهی اکسیژن محلول در حد کم تا صفر نگه‌داری شود به حذف بیولوژیکی فسفر به میزان ۹۵-۸۰ درصد می‌توان دست یافت.

گاربر[7] با کنترل DO در تصفیه‌خانه هیپریون لوس آنجلس به SDI بالاتر از یک (SVI<۱۰۰mL/g) که نشان دهندهٔ لجن بدون بالکینگ بود دست یافت [۶]. این محقق جهت بدست آوردن DO کم تا صفر در ابتدای حوضچه هوادهی از روش عکس هوادهی مرحله‌ای استفاده نمود.

در اواسط دههٔ ۱۹۶۰ استفاده از این تکنیک جهت کنترل SVI به همراه حذف بیولوژیکی فسفر در چند شهر امریکا متداول گردید. در کلمبوس[8] اوهایو جهت تصفیه

1- Bardenpho
2- Phoredox
3- Semi-continuous or batch-fed reactors
4- Aldern
5- Dissolved oxygen control
6- Bhaha
7- Garber
8- columbus

فاضلاب آبجو سازی از روش تغذیه مرحله‌ای لجن فعال استفاده می‌شد که باعث ایجاد بالکینگ غیرقابل کنترل شده بود. یک سری آزمایشات انجام شده در سال ۱۹۷۳ بر روی این تصفیه‌خانه نشان داد در صورتی که ۵۰-۲۵ درصد طول ۲۷۰ متری این حوضچه به ۸ قسمت تقسیم شود و DO در ابتدای حوضچه از صفر تا ۰/۲ mg/L نگهداری شود SVI بنحوه مطلوبی کنترل خواهد شد.

بطور کلی می‌توان گفت تحقیقات انجام شده کنترل بالکینگ شامل نقطه نظرات زیر می‌باشد.

الف : تقسیم بندی در راکتورهای تصفیه ثانویه

ب : ایجاد نواحی متناوب بیهوازی ـ هوازی

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

د : کنترل اکسیژن محلول

با این همه 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.

References :

1- Westgarth, W.C., Sulzer, F.T. and Okum, D.A. (1994), A Anaerobiosis in Activated Sludge Process. Vol. 2, Pergamon press.

2- Kraus, L.S. (1945)," The Use of Digested Sludge and Digester Overflow to Control Activated Sludge Bulking", Sew. Works J., 17, 1177.

3- Heide, B.A. and Pasveer, A. (1973)," Oxidation Ditch: Prevention and Control of Filamentous Sludge", Water, 7, 373.

4- Aldern, E, and Lockett, W.T. (1914). Experiments on the Oxidation of Sewage without the Aid of Filters, J. Soc, Chem. Ind, 33, 523.

5- Garber, W.F. (1972)," Phosphorus Removal by Chemical and Biological Mechanisms". Appl New Concepts Phys. Chem. Treat.