Review Study of Sequencing Batch Reactors Efficiency in Developed Countries

*Hakimpour, K. (M.Sc) and **Ghobad, S. (M.Sc)

*Faculty of Health and Safety, Tehran

**Karaj Azad University

Abstract

One of the main environmental problem in the developing countries is lack of legislation and suitable management for collection and disposal of wastewater. In selection of proper wastewater system. The efficiency and ease of operation must be considered. Industrial wastewater comparison to domestic one have much more organic loading. On the other hand the variation in the quality of industrial wastewater influent causes the treatment and operation much more complicated.

However, the use of Sequence Batch Reactors (SBR) were used successfully in many developed countries for many years. Flexibility and ease of operation in treatment of high organic made this system very attractive. Besides, from economical point of veiw and small land requirement are ther advantages of this system. However, limited pilot research were done of the SBR and its usefulness reported.

عملکرد راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR)[1] در تصفیه فاضلاب

مروری بر تجربیات کشورهای صنعتی در استفاده عملی از سیستم SBR

کورش حکیم‌پور* سالار قباد**

چکیده

یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی جوامع در حال توسعه عدم برنامه‌ریزی جهت تصفیه فاضلاب می‌باشد. در انتخاب سیستم تصفیه، نحوه بهره‌برداری و کارایی سیستم نیز باید مورد توجه قرار گیرد. فاضلاب‌های صنعتی نسبت به فاضلاب‌های خانگی و شهری دارای بار آلودگی به مراتب بیشتری هستند. از سوی دیگر متغیر بودن ترکیب فاضلاب، بهره‌برداری از تأسیسات تصفیه فاضلاب صنعتی را همواره دچار اشکال نموده است. بسیاری از کشورهای صنعتی و نیمه صنعتی تجربه استفاده از راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR) جهت تصفیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی را با موفقیت پشت سرگذاشته‌اند. قابلیت انعطاف و سادگی فرایند به ویژه در رابطه با بارهای آلودگی صنعتی نظیر صنایع غذایی و لبنی و نیز مقرون به صرفه بودن این سیستم باعث اهمیت استفاده از آن در تصفیه فاضلاب گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سیستم SBR با توجه به این که ساده بوده و نسبت به فن‌آوری‌هایی نظیر بیوفیلم و لجن فعال متعارف زمین کمتری را اشغال می‌نماید در سال‌های اخیر به شدت مورد توجه قرار گرفته است.

شایان ذکر است که در چند سال اخیر مطالعات مشخص و محدودی در زمینه SBR در حد پایلوت در مراکز تحقیقاتی و آموزشی کشورمان صورت گرفته که نتایج رضایت بخشی را هم در برداشته است. قدر مسلم وجود مطالعات پایه توأم با استفاده از تجارب سایر کشورها می‌تواند به توسعه فن‌آوری تصفیه فاضلاب در ایران که صنعت نوپایی است کمک‌های شایان توجهی نماید.

مقدمه

در اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی باگسترش و توسعه فن‌آوری و ابداع تجهیزات جدید گرایشاتی در زمینه توسعه سیستم‌های تصفیه فاضلاب به وجود آمد که در آن ابتدا راکتور از فاضلاب پر شده و سپس تخلیه می‌گردید (نظیر سیستم SBR).

آنچه که در حال حاضر باعث گردیده سیستم SBR از کارایی بالایی برخوردار باشد را باید در ارتقای تجهیزات هوادهی و نوآوری در سیستم‌های کنترل جستجو نمود. این امر سبب گردیده که فن‌آوری SBR بتواند رقابت موفقیت‌آمیزی را با سایر سیستم‌های تصفیه فاضلاب از جمله روش لجن فعال متعارف بنماید. هر فاضلابی را که با روش متعارف بتوان تصفیه نمود می‌توان به کمک سیستم SBR نیز تصفیه کرد [۱].

سیستم SBR را می‌توان نوعی روش لجن فعال دانست که در آن راکتور از فاضلاب پر شده و سپس به تدریج در طی یک سیکل زمانی تخلیه می‌گردد. در واقع فرایندهای واحد مربوط به

1- Sequencing Batch Reactor

* - عضو هیأت علمی دانشکده حفاظت و بهداشت کار

** - عضو هیأت علمی دانشکده عمران دانشگاه آزاد اسلامی کرج

سیستم SBR و روش متعارف بسیار نزدیک به هم هستند، به طوری که هوادهی و ته‌نشینی (زلال سازی) در هر دو سیستم انجام می‌گردد ولی یک اختلاف اساسی به چشم می‌خورد. در روش متعارف، فرایندها به طور همزمان در مخازن مستقلی صورت می‌گیرد لیکن در سیستم SBR فرایندها به طور متوالی در همان مخزن صورت می‌گیرد [۲].

تشریح فرایند

هر مخزن در سیستم SBR در طی مدت زمانی معین از فاضلاب پُر شده و سپس در حالت ناپیوسته بهره‌برداری می‌گردد. پس از تصفیه، اجازه داده می‌شود مایع مخلوط برای مدت زمان از پیش تعیین شده‌ای ته‌نشین گردیده و سپس مایع زلال رویی از سطح مخزن خارج می‌گردد. حین تصفیه و مراحل ته‌نشینی و تخلیه، جریان فاضلاب به یک مخزن SBR دیگر موجود در سیستم هدایت می‌گردد و یا در حالتی که مخزن SBR به صورت منفرد است به یک مخزن ذخیره هدایت می‌شود تا پس از خروج کامل مایع رویی در مخزن SBR به آن تخلیه گردد.

در هر سیستم SBR عمل تصفیه، ته‌نشینی مواد جامد مایع مخلوط و تخلیه مایع رویی در همان مخزن انجام می‌گیرد. بنابراین چنین سیستم‌هایی به حوض‌های ته‌نشینی نهایی و پمپ‌های برگشت لجن فعال نیازی ندارند. مقایسه بین سیستم SBR و سیستم لجن فعال متعارف در شکل ۱ نشان داده شده است.

معمولاً بهره‌برداری از سیستم‌های SBR تحت پنج مرحله زیر صورت می‌گیرد :

۱- پرشدن[1] راکتور از فاضلاب

۲- وقوع واکنش[2] در راکتور (منظور هوادهی)

۳- ته‌نشینی مواد جامد در راکتور (زلال‌سازی)

۴- تخلیه[3] و خروج پساب زلال شده از راکتور

۵- مرحله غیر فعال[4] که آن را مرحله سکون نیز نامیده‌اند

شکل ۲ مخزن منفرد SBR را در هر یک از مراحل بهره‌برداری فوق و طی یک سیکل زمانی کامل نشان می‌دهد. مراحل فوق به شرح ذیل می‌باشد :

۱- پر شدن راکتور از فاضلاب :

هدف از این مرحله، افزودن سوبسترا (فاضلاب خام یا پساب خروجی حوض ته‌نشینی اولیه) به راکتور می‌باشد. با انجام این مرحله سطح فاضلاب در راکتور که در انتهای دوره بهره‌برداری کاهش یافته و به ۲۵درصد ظرفیت راکتور رسیده به یکباره به ۱۰۰ درصد افزایش می‌یابد. چنانچه این فرایند در راکتور به صورت زمانی کنترل گردد در این صورت پُر شدن راکتور چیزی حدود ۲۵٪ از سیکل زمانی کامل بهره‌برداری از راکتور را شامل خواهد شد.

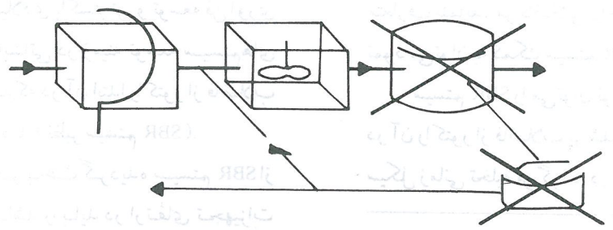
۲- واکنش :

هدف از این مرحله، تکمیل واکنش‌هایی است که با پُرشدن راکتور فاضلاب آغاز گردیده است. معمولاً مرحله واکنش، ۳۵ درصد از سیکل زمانی کامل بهره‌برداری از راکتور را شامل می‌گردد.

۳- ته‌نشین شدن :

هدف از مرحله ته‌نشینی این است که اجازه دهیم جداسازی مواد جامد صورت گیرد تا بدین ترتیب پساب زلال شده تخلیه گردد. در سیستم SBR فرایند ته‌نشینی معمولاً به مراتب مؤثرتر از ته‌نشینی در سیستم جریان پیوسته صورت

1- Fill
2- React
3- Draw
4- Idle



شکل ۱ - مقایسه سیستم SBR و سیستم لجن فعال متعارف

وضعیت مخزن SBR	وضعیت بهره برداری هواده	هدف	درصد	
			سیکل زمانی	حداکثر حجم
پر شدن	روشن / خاموش (اختیاری)	افزایش سوبسترا	۲۵	۲۵ به ۱۰۰
واکنش (هوادهی)	روشن و در مدار	زمان هوادهی	۳۵	۱۰۰
ته نشینی	هواده خاموش	زلال سازی	۲۰	۱۰۰
تخلیه پساب	هواده خاموش	تخلیه پساب	۱۵	۱۰۰ به ۳۵
سکون	هواده روشن/ خاموش (اختیاری)	تخلیه لجن مازاد	۵	۳۵ به ۲۵

شکل ۲ - مراحل بهره‌برداری از یک راکتور ناپیوسته متوالی در طی یک سیل زمانی

می‌گیرد زیرا در این مرحله، مواد موجود در راکتور کاملاً ساکن می‌باشند.

۴- تخلیه[1] پساب

هدف از این مرحله، خروج پساب تصفیه‌شده از راکتور است.

در حال حاضر مکانیسم‌های متعددی در این خصوص به کار برده می‌شوند که سرریزهای قابل تنظیم یا سرریزهای شناور از آن جمله‌اند. زمان انجام این مرحله بین ۵ تا ۳۰ درصد از سیکل زمانی کامل بهره‌برداری (۱۵دقیقه الی ۲ ساعت) می‌باشد و معمولاً این زمان حدود ۴۵ دقیقه طول می‌کشد.

۵- مرحله غیر فعال (سکون):

هدف از مرحله غیر فعال در یک سیستم SBR که متشکل از چند مخزن است، فراهم نمودن زمان لازم برای راکتور جهت تکمیل سیکل پُرکردن راکتور از فاضلاب است. با توجه به غیر ضروری بودن مرحله غیر فعال غالباً آن را حذف می‌نمایند.

در برخی موارد اصلاحاتی در فرایند مربوط به هر مرحله صورت گرفته که این تغییرات به منظور نیل به اهداف خاص تصفیه انجام گرفته است. یکی از اصلاحیه‌های انجام شده در فرایند SBR، سیستم هوادهی ممتد با سیکل متناوب[2] نامیده می‌شود که بر اساس تغذیه پیوسته نظیر سیستم SBR به صورت متناوب انجام می‌گیرد با این تفاوت که ICEAS یک سیستم SBR متشکل از یک مخزن ذخیره و یک مخزن SBR و یا حداقل دو مخزن SBR جهت تأمین جریان ورودی ثابت فاضلاب به تصفیه‌خانه می‌باشد [۳].

فقدان استانداردهای طراحی قابل قبول، معضل اصلی استفاده از فن‌آوری SBR از مرحله تحقیقاتی به مرحله کاربرد عملی وسیع‌تر می‌باشد.

دفع لجن هم‌گام مؤثر دیگری در بهره‌برداری SBR می‌باشد که عملکرد آن را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد. البته این مرحله جزو پنج مرحله اصلی فرایند محسوب نمی‌گردد. در این سیستم فاصله زمانی دفع لجن و مقدار لجن دفعی، بر حسب نیاز می‌باشد که نظیر این مسئله در سیستم جریان پیوسته متعارف هم به چشم می‌خورد. در بهره‌برداری از این راکتور معمولاً دفع لجن طی فازهای ته‌نشینی و یا مرحله غیر فعال انجام می‌گیرد و نیازی به سیستم برگشت لجن فعال (RAS) در راکتورهای ناپیوسته متوالی نمی‌باشد. زیرا لجنی در مرحله واکنش (هوادهی) دفع نمی‌شود و در واقع هوادهی و ته‌نشینی در یک حوضچه صورت می‌گیرد. پس هیچ لجنی نباید به منظور حفظ مقدار لجن در حوضچه هوادهی از حوض ته‌نشینی ثانویه برگشت داده شود. از جمله اصلاحات انجام شده در فرایند SBR این است که بهره‌برداری از راکتور به جای جریان ناپیوسته، با جریان پیوسته صورت بگیرد.

برخی از مهمترین مزایای سیستم SBR عبارتنداز :

۱- یک مخزن SBR در حین پُرشدن راکتور از فاضلاب

۱- دفع لجن معمولاً طی فازهای ته‌نشینی یا مرحله غیرفعال صورت می‌گیرد ولی این عمل بر حسب وضعیت بهره‌برداری می‌تواند در مراحل دیگر هم انجام گیرد.

2- Intermittent Cycle Extended Aeration System (ICEAS)

نظیر یک حوض متعادل‌کننده عمل می‌نماید. بنابراین می‌تواند به آسانی جریان حداکثر فاضلاب و بارهای مربوط به شوک BOD (اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی) را بدون این که خللی به کیفیت پساب وارد گردد تحمل نماید. در واقع عملکرد چندین سیستم تصفیه‌خانه کوچک به روش لجن فعال با جریان پیوسته که در مواقع حداکثر جریان روزانه، تولید پساب مناسب و یکنواختی نمی‌نمودند پس از تبدیل به بهره‌برداری به روش SBR به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود یافت [۴].

۲- از آنجاکه تخلیه پساب به طور متناوب و با محدودیت انجام می‌گیرد لذا پساب ممکن است تا زمانی که به کیفیت مناسب نرسیده است تخلیه نگردد.

۳- در ابتدای دوره بهره‌برداری از طرح وقتی که جریان به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به ظرفیت طرح کمتر باشد سنسورهای کنترل سطح آب را می‌توان در ارتفاع پایین‌تر بگونه‌ای تنظیم نمود که جزء کمی از ظرفیت مخزن مورد استفاده قرار گیرد. به این ترتیب زمان تصفیه را می‌توان همانند زمان پیش‌بینی شده در طراحی به گونه‌ای در نظر گرفتن که هیچگونه انرژی به طور غیر ضروری در اثر هوادهی بیش از حد هدر نرود.

۴- مواد جامد مایع مخلوط نمی‌توانند در هنگام تخلیه پساب از مخزن SBR در اثر شوک‌های هیدرولیکی خارج شوند زیرا آنها را می‌توان تا زمان لازم در مخزن نگهداشت.

۵- هیچگونه پمپاژ لجن فعال برگشتی در سیستم SBR لازم نمی‌باشد زیرا همواره مایع مخلوط در راکتور وجود دارد.

۶- جداسازی فاز مایع و جامد (ته‌نشینی) تحت شرایط آرام نزدیک به ایده‌آل صورت می‌گیرد و هیچگونه جریان میان‌بر در حین ته‌نشینی صورت نمی‌گیرد.

۷- از آنجاکه اکسیژن محلول حین مرحله پُرشدن کم اکسیژنی (آنوکسیک) نزدیک به صفر یا صفر می‌باشد باعث می‌شود یک اکسیژن خواهی شدیدی حین مرحله واکنش بوجود آید. این امر می‌تواند به طریقی با افزایش کارایی انتقال اکسیژن همان تجهیزات هوادهی امکان‌پذیر گردد.

۸- رشد باکتری‌های رشته‌ای را می‌توان به آسانی با تغییر در استراتژی بهره‌برداری حین مرحله پُرشدن راکتور تحت کنترل در آورد. محققینی نظیر چیزا و اروین[1] نتایج حاصل از مطالعه‌ای راگزارش کردند که طی آن در یکسری راکتورهای ناپیوسته مقادیر شاخص حجمی لجن (SVI) را به صورت موفقیت‌آمیزی از ۶۰۰ به ۵۰ میلی‌لیتر برگرم رسانده بودند به طوری که این راکتورها تحت تغییرات کنترل شده‌ای نظیر تغییر استراتژی‌های بهره‌برداری قرار داشتند. بدین ترتیب زمان پُرشدن راکتور از صددرصد در مورد شاخص حجمی لجن به میزان ۶۰۰ میلی‌لیتر برگرم به طوری موفقیت‌آمیزی به صفر در صد در مورد شاخص حجمی لجن حدود ۵۰ میلی‌لیتر برگرم رسید. اروین و همکارانش گزارش نمودند که قسمت عمده مرحله پُرشدن راکتور از فاضلاب مخلوط نشده و هوادهی نشده باید به گونه‌ای باشد که متعاقب آن عمل هوادهی و اختلاط به مدت ۱۵ الی ۳۰ دقیقه انجام گیرد [۵].

راهکارهای بهره‌برداری از سیستم SBR

راکتور ناپیوسته با عملیات متوالی را می‌توان به آسانی طوری طراحی نمود که منطبق با استراتژی‌های زیر بهره‌برداری از آن صورت گیرد:

الف) راکتور ناپیوسته متوالی می‌تواند طوری طراحی گردد که نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون یا حذف فسفر در آن انجام گیرد بدون این که مواد شیمیایی به‌کار بریم. نیتریفیکاسیون می‌تواند در اثر افزایش مدت زمان هوادهی و یا در اثر افزایش مدت زمان اختلاط و یا هوادهی طی مرحله پُرشدن راکتور از فاضلاب انجام گیرد. در حالی که دنیتریفیکاسیون می‌تواند در اثر افزایش مدت زمان ته‌نشینی و زمان تخلیه و یا هر دو آنها بگونه‌ای انجام گیرد که مقدار DO در طی این زمان‌ها در حد صفر باشد.

حذف فسفر هم می‌تواند به طور موفقیت‌آمیزی در اثر انتخاب یک راهکار انجام گیرد. بدین ترتیب که طبق این راهکار، ازت اکسید شده و اکسیژن محلول حین مرحله پُرشدن راکتور حذف می‌گردد (شرایط بی‌هوازی به جای شرایط کم اکسیژنی یا به جای شرایط هوازی) و اجازه انجام عمل هوادهی را طی دوره واکنش می‌دهند [۶].

این راهکار به طور موفقیت‌آمیزی طی سال‌های گذشته در تصفیه‌خانه فاضلاب کالور[2] به منظور کاهش فسفر فاضلاب و رساندن آن در حد کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر به‌کار گرفته شده است. این تغییرات در راهکارهای بهره‌برداری در سیستم SBR

1- Chieasa and Irvine 2- Culver

منحصر به فرد می‌باشد و با تنظیم ساده دستگاه میکروپروسسور به سهولت امکان‌پذیر است.

ب) اروین در مورد سیستم SBR گزارش نموده است که مقدار اسید ریبونوکلئیک (RNA) میکروارگانیسم‌ها در این سیستم حدود ۳ الی ۴ برابر مقداری است که انتظار می‌رود در سیستم جریان پیوسته متعارف وجود داشته باشد [۶].

از آنجاکه سرعت رشد میکروارگانیسم بستگی به مقدار RNA سلول دارد، هر چه مقدار آن در محیط سیستم SBR بیشتر باشد قادر خواهد بود نسبت به سیستم جریان پیوسته متعارف مقادیر بالاتری از سوبسترا را تصفیه نماید.

فن‌آوری SBR قادر به حذف BOD و انجام عمل نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون است و می‌تواند فسفر را به کمک مواد شیمیایی و یا بدون استفاده از این مواد و از طریق تغییر در راهکار بهره‌برداری از سیستم حذف نماید.

مروری بر اطلاعات مندرج در جدول ۱ نشان می‌دهد که هر دو تصفیه‌خانه‌ای که عملکرد آنها مورد ارزیابی قرارگرفت با وجود ساده بودن اهداف تصفیه در آنها (حذف BOD و مواد معلق) راهکار بهره‌برداری یکسانی را مورد استفاده قرار دادند.

اگر نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون و یا حذف فسفر از جمله اهداف تصفیه محسوب گردد، در این صورت تعداد سیکل‌های بهره‌برداری افزایش خواهد یافت.

نیتریفیکاسیون در صورتی که مقدار SRT طولانی و به قدر کافی (۱۵ الی ۱۰ روز یا بیشتر) باشد انجام می‌گردد زیراکه در این صورت موجودات نیترات ساز به خوبی رشد خواهند نمود. ضمن این که حجم حوض هوادهی هم در غلظت اکسیژن محلول ۲ میلی‌گرم در لیتر جهت انجام عمل نیتریفیکاسیون نیز مناسب می‌باشد. از سوی دیگر به منظور وقوع دنیتریفیکاسیون، یک حوض کم اکسیژن و یک دوره کم اکسیژنی در راکتور باید در نظرگرفته شود (وجود نیتراتها و عدم وجود اکسیژن محلول)، اگر شرایط مذکور در راکتور SBR به طور مستمر فراهم گردد ابتدا نیتریفیکاسیون انجام می‌گردد و به دنبال آن عمل دنیتریفیکاسیون صورت خواهد گرفت.

در یک راکتور SBR حذف فسفر می‌تواند در اثر افزودن ماده منعقدکننده و انجام عمل ته‌نشینی و یا از طریق بیولوژیکی بدون افزایش مواد شیمیایی (نظیر آنچه در تصفیه‌خانه کالور صورت می‌گیرد) انجام گردد. حذف بیولوژیکی در درجه اول نیازمند یک دوره بیهوازی (در غیاب اکسیژن محلول و ازت اکسید شده) می‌باشد که طی آن سوبسترا وجود دارد. متعاقب این دوره باید یک دوره هوازی (که اکسیژن محلول حضور دارد) وجود داشته باشد که موجب افزایش جذب فسفر از طریق تشکیل لجن حاصله می‌گردد. اصل فوق اساس اجرای راهکار مناسب کنترل در راکتور SBR جهت حذف فسفر بدون افزودن مواد شیمیایی می‌باشد [۸].

مبانی فوق را می‌توان به منظور توسعه راهکارهای بهره‌برداری مختلف در زمینه نیل به اهداف متفاوت کیفیت آب مورد استفاده قرار داد. یک راهکار پیشنهادی برای هر یک از اهداف متداول که در کیفیت آب وجود دارد در شکل ۳ نشان داده شده است.

در بهره‌برداری از سیستم SBR باید توجه نمود که:

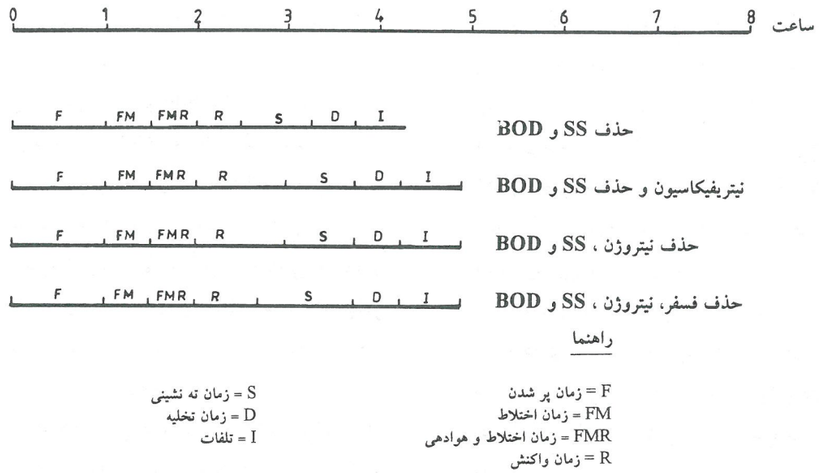
۱- در یک تصفیه‌خانه، زمان پر شدن تابع میزان جریان ورودی است که بهره‌بردار هیچگونه کنترلی روی آن ندارد. هر چه جریان ورودی به تصفیه‌خانه بیشتر باشد زمان پر شدن راکتور کوتاه‌تر است و بالعکس.

۲- به منظور افزایش زمان واکنش در راکتور الزاماً کل طول سیکل بهره‌برداری نباید افزایش یابد. زمان واکنش (هوادهی) طولانی‌تر جهت انجام عمل نیتریفیکاسیون یا تصفیه فاضلاب‌های با شدت آلودگی بالا را می‌توان با راه‌اندازی تجهیزات هوادهی در حین مراحل پرشدن، اختلاط و هوادهی انجام داد.

۳- راهکارهای بهره‌برداری از راکتور جهت انجام اعمال نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون ممکن است الزاماً متفاوت نباشند.

با توجه به این که نیتریفیکاسیون باید قبل از دنیتریفیکاسیون انجام گیرد و مقدار DO حین مراحل ته‌نشینی، جداسازی و سکون به کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر برسد راهکارهای بهره‌برداری مشخصی را می‌توان به کار برد. تصفیه‌خانه‌های زیادی ازت پساب خروجی خود را تا حدودی حذف می‌نمایند هر چند حذف ازت از ابتدا جزو اهداف این تصفیه‌خانه نبوده است (تصفیه‌خانه‌های کالور، گلن‌لی و ریورکرست[1]).

1- Glenlea & Rivercrest



شکل ۳- استراتژی‌های بهره‌برداری پیشنهادی جهت اهداف مختلف دستیابی به کیفیت آب

۴- از آنجاکه حذف فسفر مستلزم وجود یک مرحله بیهوازی است (اکسیژن محلول صفر و ازت اکسید شده صفر) که متعاقب آن مرحله هوازی (اکسیژن محلول بالا) قرارگرفته است، سیستم نیترات زدا به سهولت به منظور حذف فسفر به کار برده می‌شود.

جمع‌بندی این مفاهیم به منظور نیل به اهداف مختلف تصفیه و با انتخاب یک استراتژی بهره‌برداری موفق در یک تصفیه‌خانه به روش SBR چیزی نیست که دقیقاً منطبق بر علم باشد. لیکن این مسأله علاوه بر سیستم SBR در سایر سیستم‌ها نیز مشهود است به طوری که سیستم‌های با جریان پیوسته نیز با مشکلات مشابهی روبر می باشند. به نظر می‌رسد که توانایی بهره‌بردار جهت جمع‌بندی مفاهیم فوق و رسیدن به یک راهکار بهره‌برداری موفق در روش SBR مشابه همان راهکار است که در سیستم لجن فعال با جریان پیوسته مشاهده می‌گردد. در بیشتر موارد سیستم‌های با جریان پیوسته فقط در صورت صرف هزینه‌های قابل ملاحظه‌ای جهت احداث تأسیسات تصفیه پیشرفته می‌تواند منجر به حذف قابل ملاحظه ازت و فسفر گردند. در حالی که تصفیه‌خانه‌های SBR قادرند با تغییر مناسبی در راهکار بهره‌برداری به همین اهداف برسند.

بحث و نتایج

از مقایسه عملکرد سیستم SBR در ۸ تصفیه‌خانه فاضلاب که در جدول ۱ خلاصه‌ای از ارزیابی آنها ذکر گردید نتایج زیر حاصل می‌گردد:

● بهره‌برداری از هر یک از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب که به روش SBR صورت می‌گرفت نشان داد که این فرایند در مقایسه با فرایندهای جریان پیوسته متعارف، لجن فعال و صافی‌های چکنده که قبلاً مورد استفاده قرار گرفته بودند ساده‌تر بهره‌برداری می‌شود.

● کیفیت پساب کلیه تصفیه‌خانه‌ها به جز تصفیه‌خانه گراندی سنتر[1] به حد مجاز رسید. مشکل در تصفیه‌خانه فوق به دلیل طراحی نامناسب قسمت ته‌نشینی بود به طوری که این امر باعث می‌گردید که مواد جامد مایع مخلوط حین مرحله پُرشدن، هوادهی و ته‌نشینی وارد سیستم لوله کشی ته‌نشینی (قسمت خروجی) گردد. متعاقباً این مواد جامد بهمراه پساب ته‌نشین شده تخلیه می‌گردید. اقداماتی به منظور جایگزینی سیستم ته‌نشینی در تصفیه‌خانه فوق صورت گرفته است.

این مواد جامد به طور پیوسته با پساب خروجی جدا شده بود تا سیستم جدیدی جایگزین حوض‌های جداکننده (ته‌نشینی) گردد.

● در بین این تصفیه‌خانه‌ها فقط تصفیه‌خانه کالور و یامبا[2] دارای تصفیه اولیه می‌باشند. تصفیه‌خانه‌های مذکور دارای حوض‌های ته‌نشینی اولیه بوده‌اند تا از آن در فرایند SBR بتوانند استفاده نمایند.

1- Grundy Center 2- Yamba

● اگرچه اساساً هشت تصفیه‌خانه فوق از نظر اهداف کیفیت فاضلابی که تصفیه می‌گردد مشابه بوده‌اند ولی مبانی طراحی و ابعاد راکتور و قدرت مصرفی در هر یک از این تصفیه‌خانه‌ها یکسان نبوده است. به عنوان مثال زمان ماند تئوریکی (V/Q) بین ۷/۵ ساعت در تصفیه‌خانه ریورکرست تا ۴۹ ساعت در تصفیه‌خانه گلن‌لی بود. اختلاف در مقادیر F/M نیز مشابه این اختلاف در زمان‌های ماند بود، به طوری که در تصفیه‌خانه ریورکرست برابر $0/18 day^{-1}$ و در تصفیه‌خانه گلن‌لی برابر $0/032 day^{-1}$ بود.

● حتی روش به کار رفته در طراحی این تصفیه‌خانه‌ها نیز توسط مهندسین طراح متغیر بود، به گونه‌ای که در برخی موارد روش به‌کارگرفته شده روش تجربی بود که در این روش اندازه راکتورهای SBR بر اساس زمان‌های ماند اختیاری به دست می‌آمد و در روش‌های دیگر اندازه راکتورهای SBR و تجهیزات هوادهی بر اساس مقادیر بار آلی نسبت به F/M غلظت لجن در پایان مرحله ته‌نشینی و مدت زمان ماند در زمان‌های مختلف از جمله کل سیکل تصفیه می‌باشد. هر دو روش فوق منجر به طراحی با ضریب اطمینان نسبتاً بالا گردید.

● در بیشتر تصفیه‌خانه‌های فوق نیتریفیکاسیون به طور کامل و یا تا حدودی انجام گرفته بود. اگر چه قرار بود این پدیده فقط در دو تصفیه‌خانه صورت بگیرد (تصفیه‌خانه‌های فوق گراندی سنتر و الدورا[1]) پرسنل بهره‌بردار معتقدند که اجرای راهکار کنترل نیتریفیکاسیون چندان مشکل نبود. یکی از تصفیه‌خانه‌ها (تصفیه‌خانه کالور) توانست فسفر را به طریقه بیولوژیکی حذف نماید به طوری بدون کاربرد مواد شیمیایی مقادیر آن به کمتر از یک میلی‌گرم در لیتر رسید. عمل حذف فسفر از طریق تنظیم راهکار بهره‌برداری بگونه‌ای صورت گرفته است که متعاقب مرحله پُرشدن راکتور از فاضلاب به طریقه بی‌هوازی (در شرایط عدم حضور اکسیژن و نیترات) مرحله واکنش هوازی انجام می‌گیرد.

● سیکل‌های بهره‌برداری (پُرشدن، واکنش و ته‌نشینی) که در تأسیسات مورد نظر به‌کارگرفته شده بود به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت بودند. به عنوان مثال زمان واکنش در تصفیه‌خانه گلن‌لی حدود ۲۲ ساعت و در تصفیه‌خانه ریورکرست حدود ۱/۵ ساعت در نظر گرفته شده بود.

● طبق راهکار بهره‌برداری اعمال شده توسط برخی تصفیه‌خانه‌ها (تصفیه‌خانه‌های ریورکرست، گلن‌لی و چاکتاو[2]) حین مرحله پرشدن راکتور باید عمل هوادهی فاضلاب انجام گردد که البته این برخلاف توصیه‌های چیزا و اروین بود و الزاماً منجر به رشد قابل توجه باکتری‌های رشته‌ای نگردید [۵].

● به دلیل تفاوت در استراتژی‌های فوق، برق مصرفی در تصفیه‌خانه‌ها هم به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت بود به طوری که مقادیر آن بین ۰/۸ الی ۲۲/۹ کیلووات ساعت به ازای هر کیلوگرم BOD به‌کار رفته بود.

● مکانیسم‌های ته‌نشینی مختلفی در تصفیه‌خانه‌های فوق استفاده شده بود. این مکانیسم‌ها از سیستم‌های بسیار ساده شامل لوله‌های مستغرق ثابت عمودی با انتهای باز تا سیستم‌های شناور می‌باشد. کلیه تأسیسات تصفیه در ایالات متحده در بهره‌برداری حوض‌های ته‌نشینی با مشکلاتی مواجه بوده‌اند زیرا که اجازه داده می‌شود که مواد جامد مایع مخلوط (MLSS) در حین مراحل پُرشدن هوادهی و ته‌نشینی وارد سیستم لوله کشی خروجی گردد. این مواد جامد (ته‌نشین شده و لوله خروجی) در حین مرحله ته‌نشینی تخلیه می‌گردند و از این رو بر کیفیت پساب خروجی از حوض نیز تأثیر می‌گذارد. این مشکلات در تعدادی از تصفیه‌خانه‌ها برطرف گردیده و در سایر تصفیه‌خانه‌ها نیز در حال رفع شدن می‌باشد. در تصفیه‌خانه کالور این مشکل با برگشت دادن پساب خروجی به کمک یک شیراتوماتیک حین یک یا دو دقیقه اول مرحله ته‌نشینی به حوض هوادهی (ابتدای تصفیه) انجام می‌گردید که بعد از این زمان پساب ته‌نشین شده به حوض تماس کلر فرستاده می‌شد.

● پنج مورد از مجموع هشت تصفیه‌خانه مورد بحث در مخازن SBR خود از هوادهی جت‌گونه[3] و دو مورد از هواده‌های از نوع عمقی (دیفیوزری) و فقط یک مورد از هواده‌های شناور استفاده نمودند. به نظر می‌رسد که کاربرد هوادهی جت‌گونه نسبت به سایر روش‌ها دارای اولویت باشد زیرا در این روش سیستم دارای قابلیت انعطاف است به گونه‌ای که در مرحله پُر شدن عملیات اختلاط و هوادهی می‌تواند صورت نگیرد یا در این مرحله فقط اختلاط انجام گیرد و بالاخره در مرحله پُرشدن هم اختلاط و هم هوادهی صورت بگیرد.

1- Eldora 2- Choctaw
3- Jet Aeration

جدول ۱- خلاصه‌ای از ارزیابی سیستم SBR در نقاط مختلف جهان

پارامتر	کانادا		ایالات متحده آمریکا				استرالیا	
	Rivercrest ایالت مانیتوبا[a]	Glenlea ایالت مانیتوبا	Choctaw ایالت اکلاهما	Grundy ایالت آیووای مرکزی	Eldora ایالت آیووا	Culver ایالت ایندیانا[b]	Tameworth نیوساوت ولز	Yamba نیوساوت ولز
تاریخ اولین بازدید	۱۹۸۴/۵/۱۶	۱۹۸۴/۵/۱۶	۱۹۸۴/۵/۳۰	۱۹۸۴/۶/۱۱	۱۹۸۴/۶/۱۲	۱۹۸۴/۶/۱۴	۱۹۸۴/۷/۱۰	۱۹۸۴/۷/۱۱
جریان متوسط روزانه طراحی (L/d)	۹۰۷۲۰	۷۵۶۰	$۱/۸۹\times۱۰^{۶}$	$۳/۱۴\times۱۰^{۶}$	۸۳۶۰۰	$۱/۳۳\times۱۰^{۶}$	$۲/۰۲\times۱۰^{۶}$	۹۵۶۳۴۰
بار طراحی :								
BOD, (mg/L)	۲۳۶C	۲۵۱C	۲۶۰۳۶۶C	۲۰۰	۲۵۰۱۲۰C	۱۷۰Cd	۲۶۰	۲۶۰d
SS, (mg/L)	۲۰۰C	۱۵۲C	۲۶۰۳۵۰C	–	–	۱۵۰Cd	–	–
NH3, (mg/L)	۳۷C	۵۵C	۱۹C	۱۵	۲۵	۲۰Cd	۳۵الی ۴۰	–
جریان متوسط روزانه فعلی (L/d)	۲۲۶۸۰۰	۴۴۰۰	۷۵۶۰۰۰	$۳/۰۲\times۱۰^{۶}$	۸۳۱۶۰۰	$۱/۳۷\times۱۰^{۶}$	$۲/۰۲\times۱۰^{۶}$	–
کیفیت مطلوب پساب :								
BOD, (mg/L)	۴۰ (براساس TOC)	۳۰	۲۰	۳۰	۳۰	۱۰	۳۰	۳۰
SS, (mg/L)	۳۰	۳۰	۲۰	۳۰	۳۰	۱۰	۳۰	۳۰
NH3, (mg/L)	–	–	۱۵	۶(تابستان) ۱۱(زمستان)	۸(تابستان) ۱۰(زمستان)	–	–	–
کیفیت واقعی پساب :				بدلیل مشکلات مرحله جداسازی به مقدار مورد نظر نرسید	اطلاعات در دسترس نبود پساب ظاهراً مطلوب به نظر می‌رسید			
BOD, (mg/L)	۱۱	۵	۸			۱۰	۵الی ۱۰	۶الی ۱۰
SS, (mg/L)	۱۵۰	۶	۱۸			۵	۵الی ۱۰	۱۰الی ۱۵
NH3, (mg/L)	۱۰	۲	–			۱	۲/۲	۱
حالت بهره‌برداری در جریان طراحی :					e			
زمان پُرشدن	۹۰دقیقه	۲۲ساعت	۱۸ ساعت	۴۰ دقیقه (بدون هوا یا پمپ)	۱۵۰ دقیقه	۱۸۰ دقیقه	پیوسته	پیوسته
زمان واکنش	۴۵ دقیقه	یک‌ساعت	۳ ساعت	۱۲۰دقیقه با پمپ ۱	۸۰ دقیقه	۴۲ دقیقه	۱۲۰ الی ۱۵۰دقیقه	۱۵۰ دقیقه
زمان ته‌نشینی	۲۰ الی ۶۰ دقیقه	یکساعت	۳ ساعت	۶۰ دقیقه	۵۰ دقیقه	۴۲ دقیقه	–	۱۸۰ دقیقه
زمان تخلیه	–	–	–	۴۰ دقیقه	۴۵ دقیقه	۴۲ دقیقه	۴۵ دقیقه	۴۵ دقیقه
زمان غیر فعال	–	–	–	۶۰ دقیقه	–	۶۰ دقیقه	۴۵ دقیقه	–
زمان ماند بر حسب ساعت	۷/۶	۴۹	۴۸	۲۰/۴	۴۳	C۱۶/۵	۴۶	۳۶

ادامه جدول ۱- خلاصه‌ای از ارزیابی سیستم SBR در نقاط مختلف جهان

پارامتر	کانادا		ایالات متحده آمریکا				استرالیا	
	Rivercrest ایالت مانیتوبا[a]	Glenlea ایالت مانیتوبا	Choctaw ایالت اکلاهما	Grundy ایالت آیووای مرکزی	Eldora ایالت آیووا	Culver ایالت ایندیانا[b]	Tameworth نیوساوت ولز	Yamba نیوساوت ولز
F/M بر حسب Kg BOD/kg MLSS	C۰/۱۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۷ C۲۸	۰/۰۷۸ C۰/۶۷	٪۵ –	۰/۰۸ الی ۰/۱۶ –	٪۴ –	٪۵ –
SRT (بر حسب روز)	C۴۳	۸الی ۸۰C	لجن درطی ده‌ماه گذشته دوباره دفع شده	۲۵الی ۳۰C	لجن در طی دو ماه آخر دفع نگردیده	۱۵ الی ۴۵C		
مصرف برق (کیلووات ساعت بازای هر کیلوگرم BOD)	۰/۸	۲۲/۹	۲/۹	۰/۸ الی ۱/۳	۲/۲	۲/۱	۱/۹	۱/۵
فرایند واحد :								
آشغالگیر	بله	–	بله (کنارگذر)	بله (کنارگذر)	–	–	–	بله
آشغالگیر مکانیکی	–	–	–	–	بله	بله	بله	–
آشغال خردکن	–	–	بله	بله	–	بله	بله	–
حوض دانه گیر	–	–	–	بله،(هوادهی)	بله(هوادهی)	بله	–	بله
حوض متعادل‌سازی	بله	ایستگاه تلمبه بالا برنده چاهک‌تر	در موقع اضطراری به فرم برکه نگهداشت	متعادل‌سازی بصورت کناری	–	–	–	–
تصفیه اولیه	–	–	–	–	–	بله	–	بله
SBR	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله	بله
گندزدایی	–	–	بله	بله	–	بله	لاگون جلادهی (زلال‌ساز)	لاگون جلادهی (زلال‌ساز)
تصفیه لجن	مخزن نگهداشت لجن و کاربرد آن در زمین	کاربرد لجن در مزارع کشاورزی	برکه نگهداشت لجن و کاربرد آن در زمین	هضم هوازی لجن و استفاده از بستر خشک کننده لجن	مخازن هضم بیهوازی و بسترهای خشک خشک کننده لجن	مخازن هوازی و بسترهای خشک کننده	لاگون نگهداری لجن	لاگون هوادهی
دلایل انتخاب این فن آوری	بهره‌برداری ساده و صرفه جویی در هزینه سرمایه گذاری اولیه	بهره‌برداری ساده و صرفه جویی در هزینه سرمایه گذاری اولیه	۸/۴ درصد صرفه جویی در هزینه‌های جاری	۱۹ درصد صرفه‌جویی در فرایند تصفیه ثانویه یا ۸ درصد صرفه‌جویی در کل هزینه تصفیه‌خانه	صرفه جویی در هزینه سرمایه گذاری و بهره برداری ساده	هزینه مطالعه در مقیاس کامل توسط EPA تأمین گردید	صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه	صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه

راهنمای جدول

a) مأخذ اطلاعات مربوط به تصفیه‌خانه‌های Rivercrest و Glenlea مرجع شماره ۴ میباشد

b) مأخذ اطلاعات مربوط به تصفیه‌خانه Culver مرجع شماره ۷ می‌باشد

c) اطلاعات بهره‌برداری واقعی

d) فاضلاب خام

e) همواره پمپهای از نوع Jet وجود دارند ولی هوابه مدت ۴۰ دقیقه روشن و سپس ۱۰ دقیقه خاموش و با توجه به زمان سیکل کامل ۱۵۰ دقیقه سه بار تکرار می‌گردد.

● در تصفیه‌خانه چاکتاو به طور دستی و روزانه یک میلی‌گرم در لیتر پلیمرکاتیونی به سیستم اضافه می‌گردید در حالی که در سایر تصفیه‌خانه‌ها هیچگونه ماده شیمیایی به منظور کمک به عمل ته‌نشینی افزوده نمی‌گردید. به نظر می‌رسد قابلیت ته‌نشینی مایع مخلوط به طور قابل ملاحظه‌ای در این تصفیه خانه بهتر از سایر تصفیه‌خانه‌ها باشد.

● نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در خصوص استفاده از سیستم SBR جهت تصفیه فاضلاب‌های صنعتی موید آن است که این فن‌آوری، مقرون به صرفه‌ترین فرایند جهت حذف مواد مغذی بیولوژیکی می‌باشد که نمونه آن تصفیه‌خانه فاضلاب ناوی تارگ[1] لهستان می‌باشد.

قابلیت انعطاف و سادگی فرایند به ویژه در رابطه با بارهای آلودگی صنعتی که نوع جریان در آن‌ها معمولاً متنوع و یا میزان بارآلی بسیار متغیر و به صورت دوره‌ای می‌باشد در تصفیه‌خانه فوق به چشم می‌خورد [۱].

نتیجه گیری

این بررسی نشان می‌دهد راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی (SBR) که در مورد تصفیه فاضلاب‌های خانگی و فاضلاب‌های صنعتی در کشورهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند یکی از مقرون به صرفه‌ترین فرایندها جهت حذف مواد مغذی بیولوژیکی می‌باشند. فن‌آوری SBR ضمن سادگی دارای قابلیت انعطاف نسبتاً زیادی می‌باشد. این قابلیت سبب گردیده که این سیستم قادر به حذف فسفر به طریقه بیولوژیکی نیز باشد.

تحقیقات نشان می‌دهد که حذف بیولوژیکی فسفر می‌تواند در نسبت‌های COD/TKN پایین (۷/۵) به طور موفقیت‌آمیزی انجام گیرد. این فرایند منجر به تولید پسابی با مقادیر ازت بالا و لجنی با خصوصیات ته‌نشینی فوق‌العاده مطلوب می‌گردد [۸].

1- Nowy Targ

منابع و مراجع

1- Purac. (1997). " *SBR - A Compact Alternative for Wastewater* ", World Water and Environmental Engineering, Vol 20.no.8, P.16.

2- Tchobangolus, G. (1991). " Wastewater Engineering - Treatment, Disposal and Reuse ", Metcalf and Eddy Inc, Mc Graw Hill Book Company.

3- Arora, M.L, et al. (1985). " *Technology Evaluation of Sequencing Batch Reactors* ", J. WPCF, Vol 57, no8, P867.

4- Schmidtke, N. W., and Topnik, B.H. (1984). " *Design and Performance Assessment of Three Sequencing Batch Reactor Sewage Treatment Plants in Canada* ", Draft Report Prepared for the Wastewater Tech. Center. Environ Protection Serv., Canada.

5- Chiesa. S.C., and Irvine. R.L. (1982). " Growth and Control of Filamentous Microbes in Activated Sludge - An Integrated Hypothesis. " Presented at the 55th Annu. WPCF. Con. St.Louis, Mo.

6- Irvine, .L. (1985)." Structured Models for Biological Waste Treatment System ", Research Grant. National Science Foundation.

7- Irvine, R. L., and Ketchum, I.H. " *Full Scale Study of Sequencing Batch Reactors* ", U.S. Environ, Prot. Agency (in press).

8- Manning, J.F., and Irvine, R. L. (1985). " *The Biological Removal of Phosphorus in a Sequencing Batch Reatcor* ", J. Water Pollut. Control Fed., Vol 57, 87.