بررسی عملکرد بیو راکتورهای بی هوازی بافل دار در تصفیه فاضلابهای صنعتی (قسمت اول)

محمد رضا نادری، سید محمد موسوی، علی حاجیان، کاوه استاد علی عسکری*

*نویسنده مسئول Kaveh_oaa2001@yahoo.com

چکیده

در راکتورهای ABR از یک سری بافلهای عمودی استفاده شده است که قرار گرفتن این بافلها در مسیر جریان، باعث حرکت جریان فاضلاب به سمت پایین و بالا و در نهایت ابتدا تا انتهای راکتور می شود. راکتورهای ABR از چندین اتاقک تشکیل شده اند که این ویژگی باعث می شود مواد سمی و ... با تغییرات در شرایط محیطی مثل pH و دما در اتاقک اول متعادل شده و در نتیجه باکتری های متان زا که نسبت به شرایط محیطی متغیر، بسیار حساس هستند، به راحتی در اتاقک های بعدی رشد نمایند. از مهم ترین ویژگی های این راکتور می توان به پایین بودن HRT و در نتیجه حجم کمتر، زیاد بودن SRT، پایداری نسبت به شوک های هیدرولیکی و آلی و هم چنین توانایی تفکیک فازهای اسیدوژن و متانوژن اشاره کرد. توانایی در تصفیه فاضلاب های حاوی سولفات، فاضلاب های حاوی درصد بالای جامدات، فاضلاب های با دمای پایین و هم چنین پساب هایی که به سختی تشکیل گرانول می دهند از دیگر ویژگی های این راکتور می باشد. این راکتورها در دو نوع تغذیه نرمال و تغذیه انشعابی وجود دارند. پیشرفتهایی که بعداً به منظور بهبود عملکرد راکتورهای ABR صورت گرفته است، بیشتر به سمت افزایش ظرفیت نگهداری جامدات، تصفیه فاضلابهای آلوده تر و کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه سوق پیدا کرده است. در هنگام راه اندازی این راکتورها، نرخهای اولیه بارگذاری آلی و سرعت جریان رو به بالا در درون راکتور، باید پایین باشند.

بکارگیری زمان ماند هیدرولیکی پایین، منظور تصفیه فاضلابهای صنعتی ضعیف، موجب افزایش اختلاط هیدرولیکی و درنتیجه تماس بیشتر سوبسترا و بیومس شده، ضریب Ks کاهش یافته و در نتیجه راندمان حذف مواد آلی در راکتور ABR افزایش می یابد.

واژگان کلیدی: راکتورهای بی هوازی بافل دار، فاضلابهای صنعتی.

تصفیه بی‌هوازی روشی است که در آن میکروارگانیسمها در غیاب اکسیژن محلول فعالیت می‌نمایند. در حین تصفیه مواد آلی (مواد مولد COD و BOD_5) طی چند مرحله به بیوگازی که قسمت عمده آن متان و دی اکسید کربن است تبدیل شده و همزمان در محیط تصفیه مقادیر کمی توده بیولوژیکی که در حقیقت باکتریهای جدید هستند

بوجـود خواهد آمد. زیبائی تصفیه بی‌هوازی در این اسـت کـه محصول نهائی روش تصفیه یعنی متان بسـیار نامحلول است و بطور اتوماتیک از فاز مایع جدا می گردد. متان چنان ماده پر ارزشی اسـت که بشر از آن بعنوان سوخت استفاده می‌نماید. مراحل اصلی تصفیه بی هوازی شـامل هیدرولیز، تخمیر(اسیدسازی)، و متان سازی می باشد[۱].

هـر کـدام از مراحـل تصفیـه بی‌هـوازی بـا انواعـی از میکروارگانیسـم‌ها همراهی می گردد. باکتری‌های شرکت کننـده در تصفیه بی‌هـوازی را در دو گروه مـورد مطالعه قرار می‌دهند. باکتری‌های اسیدسـاز که اعمـال هیدورلیز و اسـیدی شـدن را انجام می‌دهند و باکتری‌های مولد متان کـه صددرصد غیر هوازی بوده از ایـن رو مطلقاً در غیاب اکسیژن ادامه حیات خواهند داد[۴].

اسـتفاده از راکتورهای بی هوازی در تصفیه فاضلاب، برای بیش از یک قرن قدمت دارد[۶].

تانک سـپتیک، تانک ایمهـاف، لاگون بی هوازی و چند نمونه از هاضمهای بی هوازی لجن فاضلاب شهری، نمونه هایی از راکتورهای بی هوازی با سـرعت پایین می باشند. در این سیسـتمها، نسـبت زمان ماند جامدات به زمان ماند هیدرولیکی، یک مقدار پایین نزدیک به یک می باشد که این مقدار کمی برای تصفیه فاضلابهای صنعتی محسـوب می شـود. در یک راکتور با نسبت SRT/HRT نزدیک به یک، در صورت اعمال نرخهای بارگذاری بالا، شسـته شـدن و فرار لجن یک مشکل جدی می باشد. از این رو، توسـعه و پیشرفت در سیسـتمهای تصفیه بی هوازی برای تصفیـه فاضلابهای صنعتی، به سـمت راههایـی برای بالا بـردن نسـبت SRT/HRT و بنابراین پذیرش نرخهای بارگـذاری بالاتر در حجمهای پایین تر مورد نیاز راکتور، سـوق پیدا کرده اسـت[۷]. بدیـن ترتیب امروزه شـاهد بکارگیری راکتورهای بی هوازی با سـرعت بالا هسـتیم که اسـتفاده از این راکتورها بدلیل مسائلی همچون هزینه هـای اولیه و بهره بـرداری پایین، حجم کمتـر مورد نیاز راکتور و بنابرین فضای کمتر اشـغال شده، راندمان بالای حذف مواد آلی، تولید مقـدار کم لجن و تولید بیو گاز به عنوان منبع انرژی و.... گسـترش روز افـزون برای تصفیه انواع فاضلابها پیدا کرده اسـت.

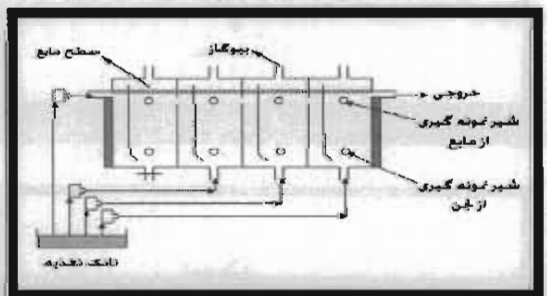
راکتور ABR یک راکتور بی هوازی با سرعت بالا می باشد و تاریخچه آن به سـال ۱۹۸۱ بازمی گردد که مک کارتی و همکاران در دانشگاه اسـتنفورد آمریکا، هنگام کار بر روی راکتـور بی هوازی تماس دهنده بیولوژیکی دوار، مشـاهده کردند که بیشـتر بیومس بصـورت معلق می باشـد. بعد از برداشتن دیسکهای دوار، آنها با یک راکتور بافلدار بی هوازی (ABR) روبرو شدند[۶].

البتـه قبل از این رویداد، واحدهای راکتور بافلدار به منظور تولیـد بیـو گاز غنی از متان بـه عنوان منبع انرژی، توسـط چینـووت و همکاران در سـال ۱۹۸۰ مورد اسـتفاده قرار گرفته بود[۹].

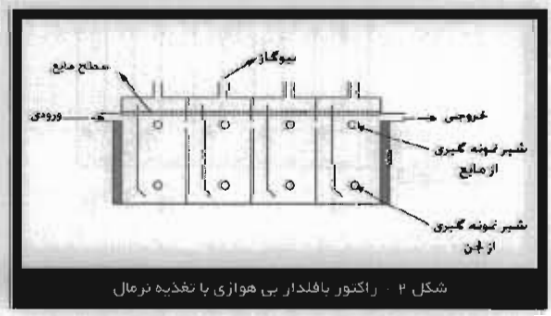
تا سـالها تحقیـق چندانی بسر روی ایـن راکتورهـا انجام نگرفت تا اینکه دیوید استاکی و ویلیام باربر در سال ۱۹۹۹ دردانشکده مهندسی شیمی دانشگاه سلطنتی لندن انگلستان، مطالعات جامعی بر روی این راکتورها انجام دادند و از آن بـه بعد تحقیقات بر روی این راکتورها رشـد چشـمگیری داشته است.

مواد و روشها

راکتورهای ABR، راکتورهای بی هوازی با سـرعت بالا می باشـند. در راکتورهای ABR از یک سـری بافلهای عمودی اسـتفاده شده اسـت که قرار گرفتن این بافلها در مسـیر جریان، باعث حرکـت جریان فاضلاب به سـمت پایین و بـالا و در نهایت ابتدا تا انتهای راکتور می شـود. راکتورهای ABR از چندین اتاقک تشـکیل شـده اند، که به خاطر سـاختمان اتاقکدار راکتور، در برابر شوکهای هیدرولیکی و آلی انعطاف پذیر می باشـد.این راکتورها، در دو نـوع تغذیه نرمـال (NFABR) و تغذیه انشـعابی (SFABR) وجـود دارنـد[۱۰].



شکل ۱ - راکتور بافلدار بی هوازی با تغذیه انشعابی



شکل ۲ - راکتور بافلدار بی هوازی با تغذیه نرمال

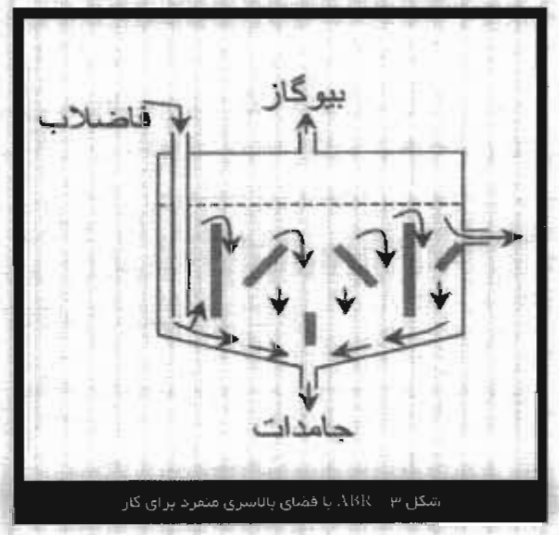
انواع راکتورهای بافلدار بی هوازی با تغذیه نرمال (NFABR)

شکلهای ۳ و ۴ که به ترتیب راکتورهای ABR با فضاهای بالاسری منفرد و ویژه برای هر اتاقک را نشان می دهند، طرحهای اصلی راکتورهای ABR می باشند که مقبولیت بیشتری در تصفیه فاضلابهای صنعتی پیدا کرده اند. در این راکتورها، شیب ۴۵-۴۰ درجه ای قسمت پایینی بافلهای آویزان موجب تغییر مسیر فاضلاب به مرکز قسمتهای بالارونده هر اتاقک، بمنظور افزایش اختلاط می شودو کم عرضتر بودن قسمتهای پایین رونده هراتاقک، موجب افزایش زمان ماند سلولی در قسمتهای بالارونده هر اتاقک می گردد[۸].

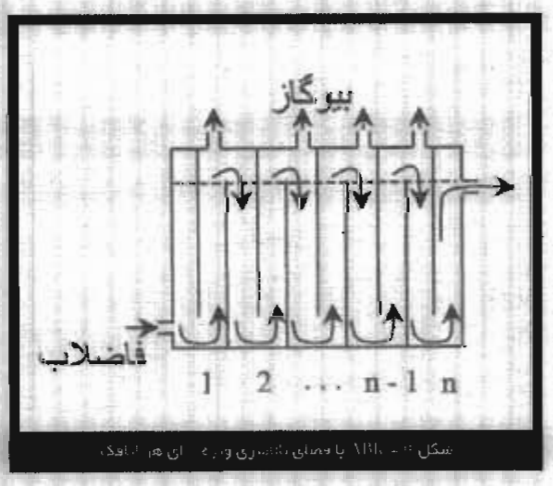
اصلاحات دیگر در طراحی این راکتورها، به منظور افزایش ظرفیت نگهداری جامدات، تصفیه فاضلابهای آلوده تر و کاهش هزینه های سرمایه گذاری اولیه صورت گرفته است. بعد از آن، راکتور ABR با جریان عمودی می باشد. در این راکتور، به منظور تصفیه فاضلابهای حاوی درصد بالای جامدات، نسبت به طرحهای قبلی، بافلهای عمودی بیشتری در درون راکتور تعبیه شده است تا توانایی راکتور در حفظ جمعیت بالای متانوژنهای کند رشد افزایش یابد. همچنین مشخص شده است که بافلهای عمودی بیشتر موجب افزایش زمان ماند جامدات و تولید گاز متان بیشتر می شود. در یک مطالعه پایلوتی، با ایجاد این بافل‌های عمودی، در یک نرخ ثابت از بارگذاری آلی ($۱/۶ d.Kg COD/m^3$)، میزان تولید گاز متان از ۳۰ به بیش از ۵۵ درصد افزایش یافت (لازم به ذکر است، نرخ تولید گاز متان در این حالت برابر با $۰/۳۴ m^3/Kg.VSS$ بوده است). بعد از آن، راکتور ABR با جریان افقی می باشدکه ورودی فاضلاب از بالای راکتور بوده و اشکال مختلف بافلها، موجب افزایش تلاطم هیدرولیکی و در نتیجه افزایش تماس بیومس و خوراک ورودی می شوند و قسمت پایینی راکتور شیب دار بوده و دارای محلی برای خروج لجن مازاد می باشد[۸].

تصفیه فاضلابهای حاوی مقادیر بالایی از ذرات معلق (مثلاً فاضلاب حاصل از مراکز نگهداری احشام)موجب طراحی راکتور ABR با اتاقک بزرگ شده ابتدایی گردید تا از سرعت جریان رو به بالا کاسته شود. در این راکتور (شکل شماره ۵)، ابعاد اتاقک اول دو برابر اتاقکهای بعدی است[۸و۱۱].

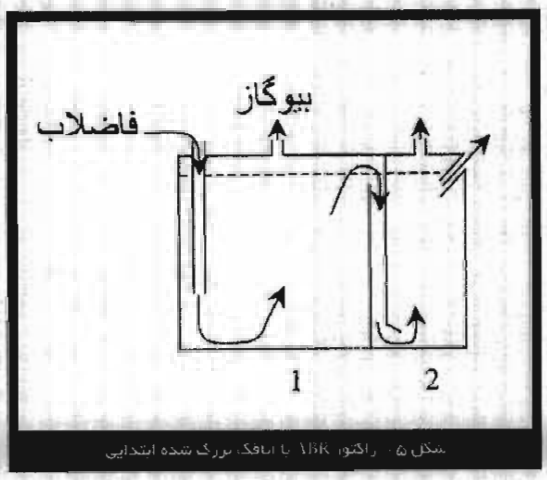
در مطالعه ای خصوصیات عملکردی و قابلیت‌های نگهداری جامدات این راکتور با راکتورهای بافل‌دار بی‌هوازی دارای سه اتاقک با ابعاد یکسان مورد مقایسه قرار گرفت. یافته ها نشان دادند که اتاقک بزرگتر در راکتورهای دوبخشی به صورت یک صافی طبیعی عمل کرده و سبب ماند بیشتر جامدات در راکتور می گردد. همچنین مقدار جامدات نگهداری‌شده در این راکتورها، بیشتر از راکتورهای



شکل ۳ ABR با فضای بالاسری منفرد برای گاز



شکل ۴ ABR با فضای بالاسری ویژه برای هر اتاقک



شکل ۵ راکتور ABR با اتاقک بزرگ شده ابتدایی

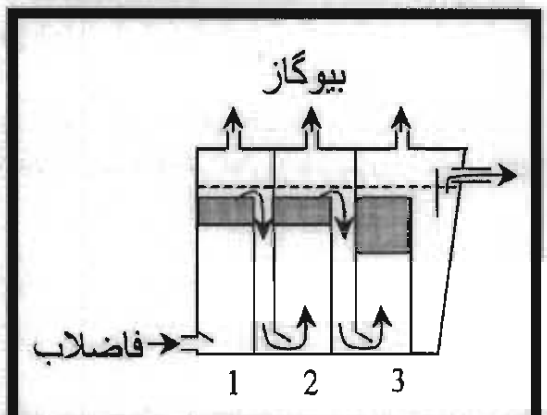
سه اتاقکی می‌باشد. علی‌رغم راندمان پایین تصفیه در راکتورهای دو اتاقکی جامدات کمتر شسته می‌شدند. مطالعات بیشتر نشان داد که علی‌رغم شسته‌شدن بیشتر جامدات در راکتورهای بافل‌دار سه اتاقکی، راندمان تصفیهٔ آن‌ها بالاتر است[۸].

پیشرفتهای امروزی در طراحی راکتورهای ABR، شامل بکارگیری انواع پکینگ (مدیا) در درون راکتور و بنابراین توسعه راکتورهای هیبریدی می باشد. هدف از این عمل، افزایش زمان ماند سلولی برای تصفیهٔ فاضلاب‌هایی با بار آلودگی بالا است. وجود مدیا باعث افزایش زمان ماند جامدات و جلوگیری از شسته شدن جامدات می شود. شکل شماره ۶ راکتور ABR هیبرید با ناحیه ته نشینی را نشان می دهد. ابعاد این راکتور بسیار بزرگتر از راکتورهای قبلی است و بعد از اتاقک انتهایی آن، اتاقکی جهت ته‌نشینی جامدات تعبیه شده است. جامداتی که از راکتور بافل‌دار شسته می‌شوند و همراه با پساب به قسمت خروجی راه می‌یابند، از طریق اتاقک ته‌نشینی به دام افتاده و در زمان‌های منظم به داخل اولین بخش راکتورهای بافل‌دار پمپاژ می‌شوند.

نتیجه گیری و پیشنهادات

راکتورهای ABR قادر به تصفیه انواع فاضلابها (سولفاته، دارای درصد بالای جامدات، با دمای پایین) با غلظتهای مختلف از جمله فاضلابهای ضعیف (COD <۱ g/l)، فاضلابهای متوسط (COD =۱-۱۰ g/l) و فاضلابهای قوی (COD >۱ g/l)، در دامنه گسترده ای از نرخهای بارگذاری آلی (۰/۴-۲۸ Kg COD/m^3.d) می باشند.

یکی از مزایای راکتورهای ABR جداسازی فازهای اسیدسازی و متان سازی می باشد که موجب حفاظت بیشتر



شکل ۵ - راکتور ABR با اتاقک بزرگ شده ابتدایی

راکتور در مقابل مواد سمی، انعطاف پذیری بیشتر نسبت به پارامترهای محیطی نظیر PH و درجه حرارت و پذیرش نرخهای بارگذاری آلی بالاتر می گردد.

اتاقک اول راکتور ABR می تواند به عنوان محافظی در مقابل مواد سمی فاضلاب عمل کرده و باعث کاهش اثر این مواد در اتاقکهای بعدی شود، در نتیجه باکتریهای متان ساز که نسبت به شرایط محیطی حساس ترند به راحتی در اتاقکهای دیگر به فعالیت خود ادامه می دهند. همچنین این اتاقک در رابطه با فاضلابهای سولفاته، همانند یک راکتور کاهنده سولفات عمل می کند.

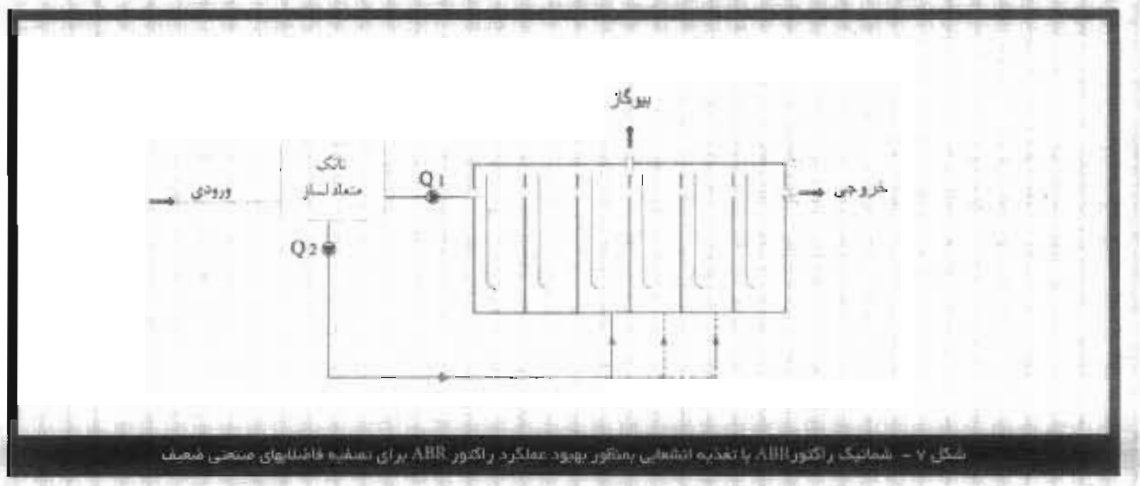
باکتریهای درون راکتور به خاطر خصوصیات جریان و بیوگاز تولید شده، مرتباً در حال بالا و پایین رفتن می باشند که این خصوصیت موجب تماس بیشتر آنها با مواد غذایی می گردد.

الگوی جریان در راکتورهای ABR بین جریان نهرگونه و اختلاط کامل می باشد و هرگونه انحراف از این الگوی جریان می تواند اثرات منفی را برای راکتور به دنبال داشته باشد.

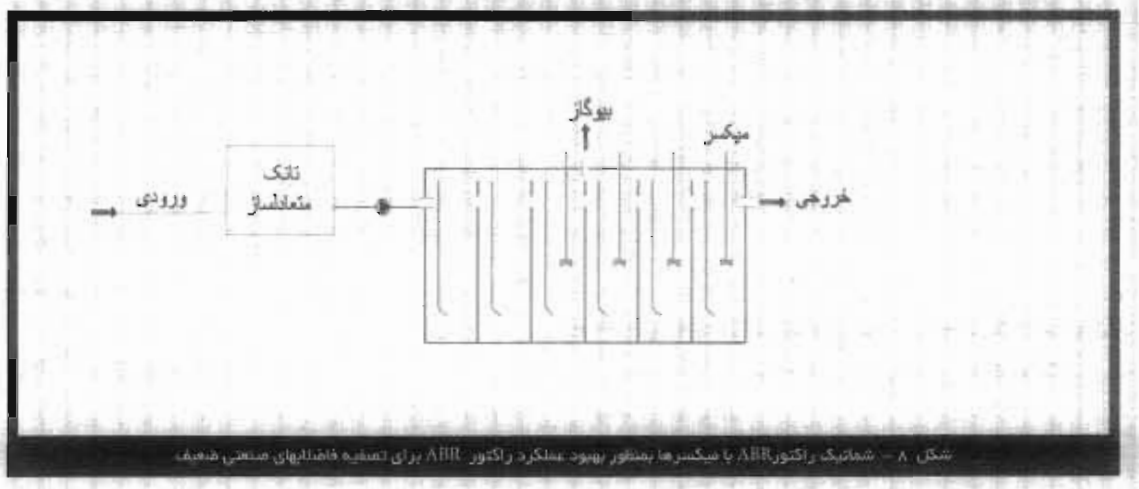
راه حلهای پیشنهادی برای بهبود عملکرد راکتور ABRبه منظور تصفیه فاضلابهای صنعتی ضعیف

در ارتباط با تصفیه فاضلابهای صنعتی ضعیف که حاوی سولفات هستند، در اتاقک اول راکتور ABR، باکتریهای احیاکننده سولفات قسمت قابل توجهی از COD را بمنظور احیای سولفات مصرف می کنند که این موجب کاهش غلظت COD در سایر اتاقکهای راکتور می گردد. بنابرین در این اتاقکها، کاهش غلظت سوبسترا، کاهش نرخ رشد باکتریهای تولیدکننده متان را در پی داشته و در نتیجه فعالیت متان سازی و مقدار بیوگاز تولیدی بطور قابل توجهی کاهش می یابد. برای رفع این مشکل راه حلهای زیر را می توان بکار برد:

الف) به عنوان یک راه حل، تغذیه انشعابی راکتورABR توصیه می شود. بدین معنی که فاضلاب علاوه بر قسمت ورودی راکتور، به یکی از اتاقکهای ابتدایی راکتور (به غیر از اتاقک اول) نیز وارد گردد که شکل شماتیک آن در شکل شماره ۷ آورده شده است. بدین ترتیب کمبود سوبسترا در اتاقکهای میانی تا انتهایی راکتور جبران شده که این مورد افزایش در نرخ رشد باکتریهای تولیدکننده متان و در نتیجه افزایش فعالیت متان سازی و مقدار بیوگاز



شکل ۷ - شماتیک راکتورABR با تغذیه انشعابی بمنظور بهبود عملکرد راکتور ABR برای تصفیه فاضلابهای صنعتی ضعیف



شکل ۸ - شماتیک راکتورABR با میکسرها بمنظور بهبود عملکرد راکتور ABR برای تصفیه فاضلابهای صنعتی ضعیف

تولیدی را به همراه دارد. البته به نظر می رسد که با تغذیه انشعابی، جدا شدن فازهای اسیدسازی و متان سازی در طول راکتورABR رخ ندهد و بدین ترتیب بسیاری از مزایای این راکتور که در ارتباط با جدا شدن این دو فاز بودند، دیگر وجود نخواهند داشت.

ب) در صورت عدم تمایل به تغذیه انشعابی، می توان در اتاقکهای میانی تا انتهایی میکسر قرار داد که شکل شماتیک آن در شکل شماره ۸ آورده شده است. در نتیجه اختلاط ایجاد شده توسط میکسرها، تماس بین بیومس و سوبسترا افزایش یافته و راندمان حذف مواد آلی در اتاقکهای میانی تا انتهایی افزایش می یابد.

ج) راه حل دیگر این است که می توان به اتاقکهای میانی تا انتهایی راکتور، پیش سازهای متان (مثلاً استات) را اضافه کرد. این عمل موجب تحریک و افزایش رشد باکتریهای تولیدکننده متان و درنتیجه افزایش فعالیت متان سازی و مقدار بیوگاز تولیدی می گردد.

منابع

[۱] حسینیان مرتضی، تصفیه بی هوازی فاضلابها UASB ، انتشارات فنی حسینیان، ۱۳۷۹.

[۲] امیرفخرایی جواد، شایگان جلال الدین،بررسی ویژگیهای راکتور بافلدار بی هوازی (ABR) در تصفیه پسابهای صنعتی و شهری، مجله علمی-پژوهشی آب و فاضلاب۱۳۸۳، شماره ۵۰ : صفحات ۶۲-۵۹.

[۳] مردان سعید، توفیقی همایون، آشنایی با راکتورهای بافلدار بی هوازی در تصفیه فاضلابهای صنعتی (با تجربیات کاربردی در شهرکهای صنعتی)، انتشارات سازمان صنایع کوچک و شهرکهای صنعتی ایران، زمستان ۱۳۸۶.

[4] Gabriel Bitton, Wastewater Microbiology, Second Edition, John Wiley, 1999.

[5] Vossoughi, M., Shakeri, M., Alemzadeh, I., (2003). Performance of anaerobic baffled reactor treating synthetic wastewater influenced by decreasing COD/SO4 ratios. Chemical Engineering and Processing., 42 : 811-816.

[6] McCarty, P.L., (1981). One hundred years of anaerobic treatment in anaerobic digestion.1981, ed. Hughes et al. Anaerobic Digestion 1981. Elsevier Biomedical Press B.V : 3-21.

[7] Joshi, Deepak L., Polprasert, Chongrak., (1998). High rate Anaerobic Treatment of industrial wastewater in Tropics. Thammasat Int. J. Sc. Tech., 19 : 101-110.

[8] Barber, W.O., Stuckey, D.C., (1999). The use of the anaerobic baffled reactor (ABR) for wastewater treatment : a review . Wat . Res., 33(7) : 1559-1578.

[9] Chynoweth. D.P., Srivastra. V.J., Conrad, J.R., (1980). Research study to determine the feasibility of producing methane gas from sea kelp. Annual report for General Electric Company, IGT Projec 30502, Institute of Gas Technology, IIT centre, 3424 S.State, Chicago, IL 60616.

[10] Uyanik, Sinum., (2003). A novel Anaerobic Reactor : Split fed Anaerobic Baffled Reactor (ABR). Turkish. J. Eng. Env. Sci., 27 : 339-345.

[11] Boopathy, Ramaraj., (1997). Biological Treatment of Swine Waste Using Anaerobic Baffled Reactor. Bioresource Technology., 17 : 25-33.

[12] Wang, J., Huang, Y., Zhao, X., (2004). Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor (PABR) during the transition from carbohydrate to protein-based feedings. Bioresource Technology., 92 : 321-326.

[13] Nachaiyasit, S., Stuckey, D.C., (1997). Effect of low temperature on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR). J . Chem . Technol. Biotechnol., 69(2) : 276-284.

[14] Henze, M., Harremoes, P., (1983). Anaerobic treatment of wastewater in fixed-film reactors- a literature review. Wat Sci. Technol., 15 : 1-101.

[15] Grobicki, A., Stuckey, D.C., (1992). Hydrodynamic characteristics of the anaerobic baffled reactor. Wat. Res., 26(3) : 371-378.

[16] Nechaiyasit, S., (1995). The effect of process parameters on reactor performance in an anaerobic baffled reactor. Ph.D. Dissertation, Department of Chemical Engineering, Imperial College. London, U.K.