تکنولوژی تصفیه غیر هوازی راه حل معضل فاضلاب صنعتی

دکتر سید جمال‌الدین هاشمیان
عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف

مقدمه

در شرایط کنونی توجه مردم و دولتمردان به امر مهم حفاظت محیط زیست معطوف گردیده تا حدی که آنرا به یک مسئله جهانی تبدیل نموده و موضوع بحث کنفرانس جهانی در سطح رؤسای کشورها قرار گرفته است. به طوری که رعایت استانداردهای تدوین شده برای تخلیه پسابهای تصفیه شده صنعتی و شهری اجتناب ناپذیر است. از طرف دیگر هزینه سرمایه گذاری و جاری طرحهای تصفیه متداول در حدی است که اکثریت موسسات تولیدی در وضعیت کنونی رکود اقتصادی قادر به انجام آن نیستند. تحقیقات انجام شده در دهه ۸۰ در زمینه روشهای تصفیه غیر هوازی به نتایج امیدوارکننده‌ای منتهی شده است که طی آن قسمت عمدهٔ بار آلودگی پسابهای صنعتی با هزینه کمی تصفیه می‌شود به نحوی که امکان استفاده از پساب در کشت محصولات زراعی مقدور باشد. چنانچه تصفیه کامل فاضلاب و تخلیه به آبهای پذیرنده مورد نظر باشد تصفیه پساب حاصل از روش غیر هوازی می‌باید باروش هوازی کامل گردد.

میکروبیولوژی فرآیند غیرهوازی

در این روش ترکیبات پیچیده آلی طی چند مرحله واکنشهای زنجیره‌ای بیوشیمیائی به مواد ساده‌تر و نهایتاً به مخلوطی از گاز متان و گاز کربنیک تبدیل می‌گردند. این واکنشها در غیاب اکسیژن آزاد انجام می‌شود و میکرواورگانیزمها اکسیژن موردنیاز خود را از ترکیبات معدنی از قبیل نیترات، سولفات، کربنات و بی کربنات دریافت می‌کنند. این ترکیبات پس از تأمین اکسیژن مورد نیاز فرایند غیر هوازی به ترتیب به گاز ازت، هیدروژن سولفید و متان تبدیل می‌شوند(Gujer& Zehnder,1982). تولید گاز هیدروژن سولفید یکی از دلایل مهم تولید بو در فرایند غیر هوازی است. بدیهی است چنانچه مقدار یون سولفات در فاضلاب کم باشد تولید هیدروژن سولفید کاهش یافته و بو محدود می‌گردد. همچنین اگر pH پساب بالا باشد هیدروژن سولفید تولیدی بصورت یون سولفید در فاضلاب باقیمانده و ایجاد بو نمی‌کند.

مراحل واکنشهای زنجیره‌ای و سرعت آنها به شرح زیر است. ابتدا مواد طبیعی نا محلول از قبیل کربوهیدراتها، پروتئینها و چربیها توسط آنزیمهای تراوش شده از میکرو اورگانیزمهای هیدرولیتیک، هیدرولیز شده و به مواد محلول و ساده‌تر تبدیل می‌گردند. سپس این ترکیبات توسط دسته دیگری از میکرو اورگانیزمها به اسیدهای چرب، هیدروژن و گازکربنیک تبدیل می‌شوند. اسیدهای چرب در نهایت به استیک اسید تبدیل می‌گردند. در آخرین مرحله از واکنشهای زنجیره‌ای میکرو اورگانیزمهای مولد متان، استیک اسید را به گاز متان و گاز کربنیک و همچنین گاز هیدروژن و گاز کربنیک را به متان تبدیل می‌کنند. چنانچه درصد عمده مواد آلی به صورت نامحلول

باشد مرحله هیدرولیز اولیه که واکنشی کند است تعیین کنندهٔ سرعت خواهد بود. فرایند گوارش غیر هوازی لجن که بیش از ۱۲ روز به طول می‌انجامد از این نوع است. در صورتی که بخش عمده آلودگی به صورت محلول باشد فرایند تولید متان کنترل کنندهٔ سرعت فرایند خواهد شد. چنانچه هیدروژن و استیک اسید تولید شده به موقع به متان تبدیل نشوند انباشتگی آنها موجب بازدارندگی در واکنش تولید متان خواهد گردید. از آنجا که مجموعه واکنشهای زنجیره‌ای مواد را به شکل دیگری تبدیل نموده لیکن هنوز در محلول باقی است و عملیات اصلی حذف COD در واکنش پایانی (تولید متان) انجام می‌گردد، کامل شدن این واکنشهای زنجیره‌ای اهمیت بسیاری دارد. همچنین نظر به اینکه فعالیت میکرو اورگانیزمهای مولد متان در محیط خنثی بهتر است و انباشتگی استیک اسید در محیط موجب افت pH می‌گردد به منظور جلوگیری از این پدیده، محیط محلول می‌باید به اندازه کافی قدرت بافری داشته تا در مقابل افت pH از خود پایداری نشان دهد.

از آنجا که محصول فرایند غیر هوازی، گاز متان، یک ماده پرانرژی است میکرواورگانیزم در انجام واکنش مقدار انرژی کمتری نسبت به فرایند هوازی دریافت می‌کند. از اینرو میکرواورگانیزمها در فرایند غیر هوازی رشد کمتری در مقایسه با فرایند هوازی دارند. در نتیجه می‌باید در طراحی فرایند، ترتیبی اتخاذ گردد تا از خروج لجن از دستگاه همراه با پساب خروجی جلوگیری گردد.

سیستمهای مختلف تصفیه غیر هوازی

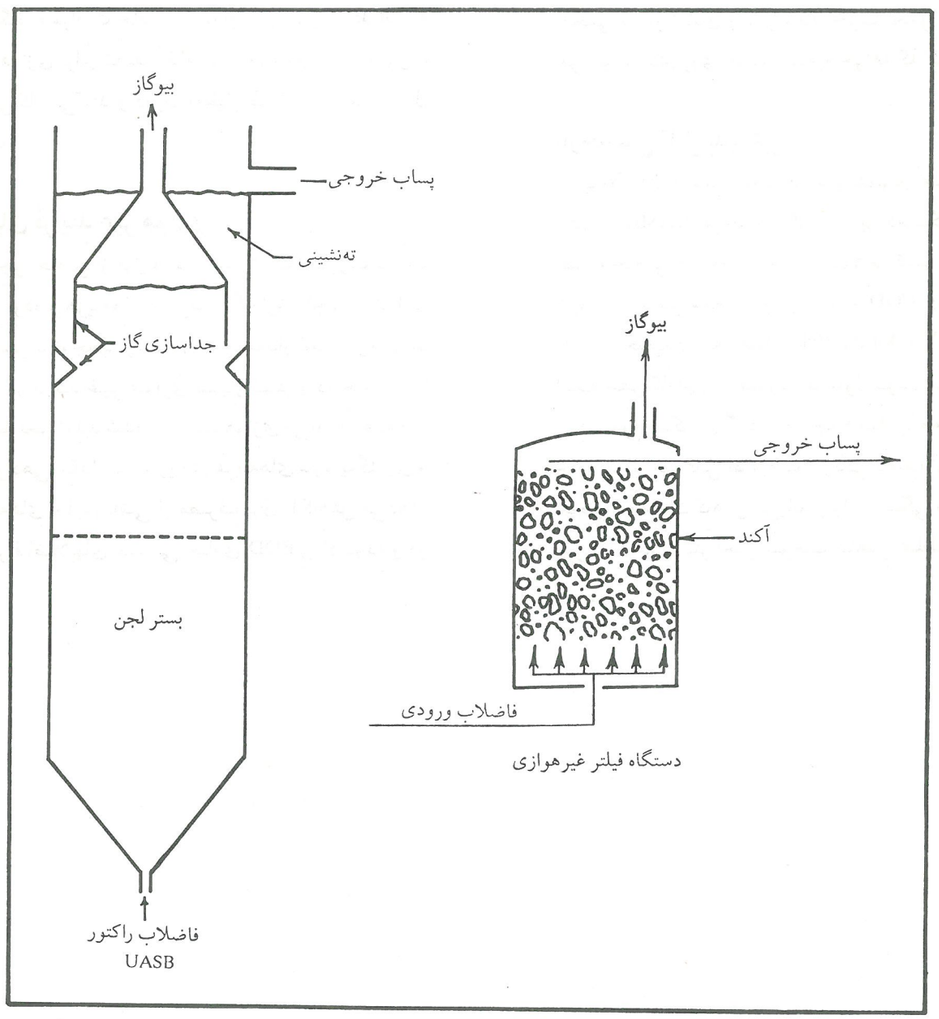
اولین دستگاههایی که مورد بهره‌برداری قرار گرفت فرایند تماس نامیده شد و روش کار در آنها شبیه به لجن فعال بود. حفظ غلظت زیاد لجن در دستگاه از طریق باز گشت لجن از حوضچه ته‌نشینی میسر می‌شد. با توجه به این که تحمیل بار حجمی زیاد موجب افزایش تولید بیوگاز می‌شود، تولید گاز توسط لجن مانع جداسازی و تغلیظ آن در حوضچه ته‌نشینی می‌گردد. به منظور حل مشکل جداسازی لجن از پساب تصفیه شده و بالانگهداشتن غلظت لجن در سیستم از میکرو فیلترها استفاده شد. این روش در حفظ غلظت بالای لجن در سیستم موفق بود لیکن متناسب با آن عملکرد سیستم تصفیه بهبود نیافت روشهای دیگری که پس از آن با موفقیت نسبی همراه بود استفاده از آکند به منظور حفظ لجن در دستگاه از طریق لجن چسبیده در روی سطح آکند و لجن محبوس در فضای بین آکندها بود. این روش فیلتر غیر هوازی نامیده شده و جریان فاضلاب از پایین به بالا بود. تحقیقات زیادی نیز روی فیلتر غیر هوازی با جریان روبه پایین و همچنین راکتور غیر هوازی بابستر شناور انجام گردید لیکن در این بین راکتور غیر هوازی بستر لجن با جریان رو به بالاموسوم به UASB که در دانشکده کشاورزی واگنیگن هلند معرفی گردید از کارآئی بهتری برخوردار بود (Lettinga,*et al.*,1980) . در این دستگاه با توجه به اینکه آکند وجود ندارد تا مانع تماس خوب پساب و لجن شده و یا اینکه آکند خود فضایی را اشغال کند، غلظت بسیار زیاد لجن موجب پذیرش بالاترین بار حجمی با راندمان بالا خواهد شد. در این روش چنانچه لجن دانه‌ای که غلظت و سرعت ته‌نشینی زیادی دارد تشکیل شود، کارآئی سیستم به شدت افزایش می‌یابد. زیرا این نوع لجن قادر است در مقابل سرعت روبه بالای زیاد ایستادگی نموده و همچنین به واسطه غلظت زیاد، بار حجمی زیادی را تصفیه می‌کند.

روش انجام عمل تصفیه در دستگاه UASB به صورت زیر است دستگاه از یک برج با مقطع مستطیلی یا دایره و با ارتفاع ۷-۵ متر تشکیل می‌شود که درون آن لجن فعال غیر هوازی قرار دارد. فاضلاب از پایین دستگاه از طریق یک شبکه توزیع وارد شده و در حرکت رو به بالا از بستر لجن عبور کرده و مواد آلی آن جذب می‌گردد. شبکه توزیع به منظور اختلاط کامل فاضلاب با لجن در نظر گرفته شده است. مواد آلی جذب شده توسط لجن واکنشهای زنجیره‌ای غیرهوازی را طی کرده و بیوگاز (مخلوط متان و گاز کربنیک) تولید می‌شود. تأخیر در جدا شدن حباب گاز از برخی از لخته‌های لجن موجب شناوری لجن شده و با جریان فاضلاب به طرف بالا حرکت می‌کند. به منظور جداسازی گاز و لجن از پساب تصفیه شده سیستم جداسازی ویژه‌ای شبیه به یک قیف وارونه در بالای برج تعبیه شده است. لجن شناور پس از رسیدن به این محل گاز

خود را از دست داده و به واسطه سنگین شدن مجدداً به بستر لجن سقوط می‌کند. ذرات ریز لجن که با جریان پساب به بالای سیستم جداسازی راه یافته‌اند، در اثر آرامش ناشی از جداسازی گاز فرصت برخورد با یکدیگر و لختگی را پیدا کرده و به مرور به قسمت پایین دستگاه سقوط می‌کنند پساب تصفیه شده در بالای برج با عبور از سرریز مخصوص که به جهت حفظ یکنواختی سرعت حرکت رو به بالا منظور شده است از دستگاه خارج می‌شود.

راه اندازی دستگاه

فراوانی نسبی میکرو اورگانیزمهایی که واکنشهای زنجیره‌ای را کامل می‌کنند به کیفیت فاضلابی که در ارتباط با آن تکثیر شده‌اند مربوط است. از اینرو لجن تولید شده در یک سیستم تصفیه را نمی‌توان به سادگی برای تصفیه فاضلاب متفاوت مصرف نمود. به عبارت دیگر راه‌اندازی یک سیستم تصفیه غیر هوازی مدتی به طول می‌انجامد که طی آن لجن مورد استفاده در دستگاه جدید به مرور طی مدتی در حدود ۶-۴ ماه برای تصفیه فاضلاب موردنظر



دستگاه فیلتر غیرهوازی

آماده می‌شود. در این مدت میکرواورگانیزمهائی که به تعداد زیاد موجود بوده و غذای مطلوب از فاضلاب دریافت نمی‌کنند به دلیل عدم رشد و در مقابل مرگ ومیر زیاد به آرامی از سیستم حذف می‌گردند. در حالی که مجموعه میکرواورگانیزمهایی که مفید بوده و غذای مناسب در فاضلاب موردنظر برای آنها موجود است به آرامی تکثیر می‌شوند با افزایش مقدار لجن غیر هوازی مناسب در سیستم، قدرت تصفیه دستگاه افزایش می‌یابد تا به حد نهایی برسد. چنانچه دستگاه راه‌اندازی شده را مدت طولانی تعطیل کنیم راه‌اندازی مجدد آن بسادگی و در کوتاه مدت انجام می‌شود و در خلال مدت تعطیل، دستگاه به مراقبت خاص نیاز ندارد. از اینرو فرایند تصفیه غیر هوازی برای تصفیه فاضلاب صنایعی که بصورت فصلی کار می‌کنند و دوران تعطیل طولانی دارند ایده‌آل است.

مزایای فرایند غیر هوازی

لجن حاصل از فرایند غیر هوازی به صورت تثبیت شده بوده و هزینه‌های مربوط به گوارش لجن را ندارد. همچنین با توجه به رشد کم لجن، مقدار لجن مازاد تولید شده در فرایند غیر هوازی بسیار کمتر و در حدود ۳۰ درصد لجن تولید شده در فرایند هوازی می‌باشد. عدم نیاز به هوادهی، مقدار بسیار زیادی هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های جاری ناشی از مصرف برق را کاهش می‌دهد. بیشتر فاضلابهای صنعتی حاوی BOD زیاد بوده و در مقابل، ازت و فسفر کمی دارد. تصفیه بیولوژیک فاضلاب مستلزم افزایش مقادیر کافی ترکیبات ازت و فسفر می‌باشد. رشد کم لجن در فرایند غیر هوازی نیاز به افزودن ازت و فسفر را تا حدود ۷۰ درصد کاهش می‌دهد. جذب آب توسط میکرو اورگانیزمهای غیر هوازی بسیار کمتر از هوازی بوده و این پدیده موجب می‌شود لجن غیر هوازی با غلظتهای بسیار بیشتری نسبت به لجن هوازی درون دستگاه ذخیره گردد. به طوری که غلظت لجن در دستگاههای تصفیه غیر هوازی تا حد ۱۰۰ گرم خشک در لیتر دیده شده است (Lettinga,1985). غلظت بسیار زیاد لجن موجب می‌شود تا فرایند غیر هوازی، بار تصفیه حجمی بسیار زیادی را با راندمان خوب تحمل نماید. این امر تاثیر زیادی روی اقتصاد تصفیه خواهد گذاشت.

بارحجمی قابل پذیرش

بالابودن غلظت لجن در سیستمهای غیر هوازی پیشرفته (UASB) موجب میگردد تا این دستگاهها توان تصفیه حجمی در حدود یکصد کیلوگرم اکسیژن خواهی شیمیایی در متر مکعب در روز ($100kg\ COD/m^3.d$) را با راندمان خوب داشته باشند (Dolfing,1986). لازم به ذکر است چنین کارآئی در صورت محلول بودن مواد آلی و نبود سموم ممکن می‌گردد. چنانچه فاضلاب محتوی مواد جامد معلق غیر قابل تصفیه بیولوژیکی باشد، توان تصفیه حجمی به شدت کاهش می‌یابد زیرا انباشتگی مواد جامد غیر فعال در بستر لجن موجب کاهش غلظت میکرو

اورگانیزمهای فعال می‌شود. در صورت وجود مواد جامد قابل تجزیه در فاضلاب از قبیل سلولز و چربی نیز با توجه به کندی سرعت فرایند هیدرولیز و محلول شدن آنها، توان حجمی تصفیه کاهش پیدا می‌کند. به طور کلی موادی که وجود آنها در فاضلاب موجب تشکیل کف می‌شود (دترجنتها و پروتئین) می‌بایست با بار حجمی کمتری به دستگاه تصفیه تحمیل شود زیرا تولید شدید کف همراه با تولید مقادیر زیاد بیوگاز موجب خروج لجن فعال غیرهوازی از دستگاه خواهد شد (Lettinga & Hulshoff 1991). همچنین هنگامی که بار آلودگی فاضلاب کم است تحمیل بار حجمی تصفیه بالا تنها با سرعت زیاد عبور فاضلاب ممکن می‌شود که تنها در صورت تشکیل لجن از نوع دانه‌ای با سرعت ته‌نشینی خوب ممکن می‌شود. در غیر این‌صورت سرعت زیاد عبور فاضلاب موجب تخلیه لجن غیر هوازی از دستگاه خواهد شد.

تجربیات انجام شده

مزیت اقتصادی طرحهای غیر هوازی و اهمیت توسعه آنها در حل مشکلات زیست محیطی کشور، ما را بر آن داشت که تحقیقات آزمایشگاهی خود را در سطح نیمه صنعتی دنبال کرده و باکسب تجربیات فنی و اجرائی امکان پیاده کردن طرحهای صنعتی را فراهم آوریم. چند نمونه طرح پایلوت ساخته و در واحدهای صنعتی راه‌اندازی و مورد آزمایش قرار گرفته است. همچنین فاضلاب کشتارگاه زیاران با استفاده از روش برکه‌های عمیق غیرهوازی تصفیه شده است. نتایج بدست آمده در زیاران بسیار امیدوار کننده می‌باشد. راندمان تصفیه مخلوط فاضلابهای کشتارگاه، زه تابی و سالامبورسازی در زمستان که دما به زیر صفر می‌رسد ۹۰ درصد و راندمان تصفیه در تابستان در حدود ۹۵ درصد می‌شود. اختلاف بسیاری در عملکرد برکه‌های فوق با سایر تجربیات انجام شده در نقاط مختلف کشور مشاهده می‌شود این تفاوت فاحش عمدتاً از کمبود تجربه در راه‌اندازی سیستم غیر هوازی ناشی می‌شود. راه‌اندازی اولیه تصفیه غیر هوازی کاری تخصصی و حساس است. فعال شدن سیستم نیازمند بکارگیری مقدار کافی لجن مناسب است. در ابتدا که مقدار لجن و فراوانی نسبی میکرو اورگانیزمها باکیفیت وکمیت فاضلاب تناسب ندارد، تغذیه فاضلاب به سیستم به مقدار کم و با احتیاط کامل انجام می‌شود. در صورت حفظ راندمان تصفیه در حد مطلوب مقدار فاضلاب را می‌توان افزایش داد. در مواقعی که فاضلاب بار آلودگی زیادی داشته و عمدتاً بصورت محلول است راه‌اندازی سیستم از حساسیت بیشتری برخوردار است. تغذیه سیستم بیش از حد توان تصفیه لجن موجب می‌شود که واکنشهای زنجیره‌ای فرایند غیر هوازی تا مرحله تولید اسید انجام شده و سپس به علت افت pH متوقف گردد. این امر موجب بهم خوردن توازن در لجن وکاهش تدریجی میکرو اورگانیزمهای مولد گاز متان خواهد شد. لازم به ذکر است راه‌اندازی روشهای غیر هوازی که درصد قابل ملاحظه‌ای از BOD به صورت نا محلول بوده و همچنین فاضلاب محتوی میکرو اورگانیزمهای مناسب باشد بسیار ساده‌تر انجام می‌شود. راه‌اندازی برکه‌های غیر هوازی در صنعت قند کار مشکلی است زیرا قبل از تکمیل راه‌اندازی سیستم کارخانه تعطیل می‌شود. همچنین در صورت راه افتادن سیستم، لجن تشکیل شده در آن باید در طول مدت ۹ ماه توقف تولید حفظ شده و از خشک شدن آن در اثر تبخیر آب در برکه جلوگیری نمود تا راه‌اندازی مجدد آن در سال بعد بلافاصله انجام گردد.

References

1- Dolfing, J., (1986) Granulation in UASB Reactors, Wat, Sci, and Tech, Vol. 18, No, 12, pp. 15-25.

2- Gujer,W. and A.J.B. Zehnder,(1982) "Conversion processes in Anaerobic Digestion". Proc. of IAWPRC Sem.16-18 June,Copenhagen,pp. 127-157.

3- Lettinga, G., (1985) Anaerobic Wastewater Treatment pp. 22-27.

4- Lettinga, G., A.F.M. van Velsen, S.W. Hobma, W. de zeeuw and A.Klapwijk, (1980) Use of UASB Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Bioeng., Vol, 22, pp. 699-834.

5- Lettinga, G., and L.W. Hulshoff pol, (1991) UASB process Design for various Types of Wastewaters, Wat. Sci. Tech. Vol, 24, No. 8, pp. 87-107.