

بررسی روش‌های تصفیه پساب واحدهای تولید الکل

- * دکتر محمد پازوکی
** دکتر جلال الدین شایگان
*** مهندس عباس افشاری

چکیده

پساب واحدهای تولید الکل به دلیل BOD و COD بالا و دارا بودن مواد سمی همچون ترکیبات فنلی و داشتن pH پایین یکی از مشکلات عمده محیط زیستی است. دفع مستقیم و مستمر این پساب در خاک موجب کاهش کیفیت خاک و از بین رفتن محصولات کشاورزی محیط زیستی می‌شود. در صورت تخلیه در رودخانه یا دریا، حیات آبریان را در معرض تهدید جدی قرار می‌دهد. به منظور جلوگیری از این خطرها، روش‌های بیولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی فراوانی برای تصفیه این پساب پیشنهاد شده است. روش‌های فیزیکی و شیمیایی بر اساس جذب سطحی، تبادل یونی، فرایند غشایی و اکسیداسیون‌های شیمیایی استوار است. روش‌های بیولوژیکی بی‌هوازی در مقایسه با روش‌های هوازی مقرون به صرفه بوده و در سال‌های اخیر توسعه زیادی یافته‌اند. برکه‌های بی‌هوازی ۷۰-۶۰ درصد BOD را با زمان ماند ۱ تا ۲ ماه کاهش می‌دهند. اکثر روش‌های بی‌هوازی راکتوری قادرند BOD فاضلاب ورودی را ۸۰ تا ۸۵ درصد کاهش دهند. در این صورت ۱۵ تا ۲۰ درصد BOD باقیمانده با روش‌های هوازی قابل حذف است. تبخیر پساب به منظور تولید خوراک دام و سوزاندن پساب به منظور بازیافت پتاس از جمله روش‌های دیگری می‌باشند که برای دفع پساب واحدهای تولید الکل در مقیاس کم مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در صورتی که مشکلات فناوری ساخت و مشکلات بهره‌برداری آنها در نظر گرفته نشود هزینه خالص دفع پساب را به دلیل فروش محصولات به دست آمده کاهش می‌دهند. پساب واحدهای تولید الکل به عنوان سوبسترا برای تولید پروتئین تک یاخته نیز مورد تحقیق قرار گرفته است که در صورت فروش محصول به دست آمده، هزینه این روش نیز کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها

تصفیه پساب، تولید الکل، رنگبری بیولوژیکی، روش‌های تصفیه

سرآغاز

در سال‌های اخیر، روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مختلفی برای تصفیه این پساب پیشنهاد شده که در این مقاله به بررسی جامع و تحلیل آنها پرداخته شده است.

روش‌های معمول تصفیه و دفع پساب واحدهای تولید الکل

- تبخیر و خشک کردن پساب برای تولید خوراک دام

بر اساس این فرایند، جامدات معلق موجود در پساب پس از سانتریفوژ در پرس‌های پیچشی یا چرخشی، آبگیری می‌شوند. این جامدات سپس در داخل خشک‌کن‌های دوار با کمتر از ۵ درصد آب خشک می‌شوند و خوراک دانه‌ای شکل سبکی به وجود می‌آورند. مایع خروجی سانتریفوژ همراه مایع حاصل از پرس کردن به تبخیر کننده‌های عمودی فرستاده می‌شود و به جامد ۳۵ درصد تغلیظ و سپس در خشک‌کن‌های پاششی به ماده خشک تبدیل می‌شود. روش دیگر، به این گونه است که مایع تغلیظ شده حاصل از تبخیر کننده‌ها با جامدات مرطوب حاصل از پرس مخلوط و در خشک‌کن دوار خشک می‌شوند.

به ازای هر لیتر تولید الکل می‌توان ۷۰۰-۸۰۰ گرم خوراک دام (حاصل از پساب) تولید کرد. در سال ۱۹۸۱ در ایالات متحده آمریکا ۴۵۴۷۰۰ تن خوراک دام با این روش تولید شده است (Maiorella et al., 1983). این روش تمام جامدات موجود در پساب را بازیافت می‌کند و نیاز به فرایندهای بعدی برای تصفیه ندارد. یکی از معایب این روش، نیاز به انرژی فراوان برای تبخیر است. به منظور کاهش مصرف بخار برای دانه‌بندی نهایی، می‌توان از گازهای دودکش بویلر برای گرم کردن خشک‌کن دوار استفاده کرد. در این طراحی مقدار ۱۱۱ kwh انرژی الکتریکی برای هر تن دانه خشک برای حرکت سانتریفوژها و پمپ‌های برگشت استفاده می‌شود. پساب ملاس چغندر قند در مقایسه با سایر ملاس‌هایی که برای تولید الکل به کار می‌روند دارای ذرات معلق کمتری است و مقداری از خروجی سانتریفوژ که شامل مخمرها نیز هست می‌تواند به ابتدای خط تولید برگشت داده شود.

همچنین می‌توان پساب تغلیظ شده که دارای ۵۰ تا ۶۵ درصد جامد است را به عنوان محلول ملاس تغلیظ شده برای فروش ارائه کرد. محلول تغلیظ شده ملاس، ویسکوز و چسبناک است و اضافه کردن منعقدکننده‌هایی مانند فسفات آمونیم یا اسید فسفریک هرچند که حمل و نقل را آسان می‌کند ولی هزینه را افزایش می‌دهد (Maiorella et al., 1983).

درصد بالای مواد آلی و معدنی موجود در پساب واحدهای تولید الکل، به عنوان یکی از مشکل‌ترین پساب‌های صنعتی مطرح شده است. از طرف دیگر وجود مواد سمی نظیر ترکیبات آروماتیک (به خصوص فنلها) و درصد بالای مواد معدنی و pH پایین بر مشکلات تصفیه این پساب‌ها افزوده است. با توجه به رنگ قهوه‌ای پایدار که حذف آن از دیگر مشکلات تصفیه پساب این واحدها است مسئله تصفیه پساب واحدهای تولید الکل را همواره به عنوان یک معضل جهانی مطرح کرده است.

به علت حساسیت مخمرهای تولیدکننده الکل به غلظت بیش از ۹ تا ۱۱ درصد الکل، حجم زیادی آب برای رقیق کردن الکل استفاده می‌شود که این امر به تولید پساب زیادی منجر خواهد شد. با انجام فرایند تخمیر در بیشترین غلظت اولیه قند می‌توان حجم زیادی از پساب را کاهش داد. این عمل با به کار گرفتن مخمرهای مقاوم نسبت به غلظت الکل بالا امکان پذیر است. برای حصول به این موضوع، مقداری از پساب خروجی برای رقیق سازی ملاس برگشت داده می‌شود. این عمل تا ۲۰ درصد جریان برگشتی امکان پذیر است ولی افزایش بیش از حد موجب کاهش کیفیت ملاس می‌شود (Maiorella et al., 1983). در حالت متعارف به ازای هر لیتر الکل تولید شده، بین ۱۰-۱۵ لیتر پساب تولید می‌شود. مشخصات کیفی سه نمونه پساب در جدول شماره (۱) ارائه شده است.

جدول شماره (۱): مشخصات نمونه پساب واحدهای تولید الکل در

ایران، استرالیا و هند (شایگان، ۱۳۷۴)

(Singh and Nigam, 1995; Barnes, et al., 1984)

نمونه	نمونه هندی	نمونه استرالیایی	مشخصات
ایرانی	۴/۸-۴	۴/۸	PH
۴۵۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	COD (میلی گرم در لیتر)
۲۰۰۰۰	۷۰۰۰۰-۵۰۰۰۰	۷۳۰۰۰	BOD (میلی گرم در لیتر)
۱/۶	۴/۲-۳	۳	کل جامدات (درصد)
۳۰۰۰	۴۰۰۰-۳۰۰۰	۳۰۰۰	سولفات (میلی گرم در لیتر)
۱۱۲۰	۱۲۰۰۰-۱۰۰۰۰	۲۳۰۰	نیترژن (میلی گرم در لیتر)
۲۲۰	۳۰۰-۲۰۰	۴۰	فسفات (میلی گرم در لیتر)
۶۰۰۰	-	۱۲۰۰۰	پتاسیم (میلی گرم در لیتر)
-	-	۱۷۰۰	منیزیم (میلی گرم در لیتر)

برای حل معضل تصفیه پساب تولید الکل کافی نیست و نیاز به تصفیه‌های بعدی دارد.

جدول شماره (۲): مشخصات و ارزش غذایی مخمر تکثیر شده (پروتئین

تک یاخته) در محیط پساب تولید الکل (Maiorella et al., 1983)

مقدار	ماده
۳/۳	رطوبت (درصدوزنی)
۱۰/۴	نیترژن (درصد وزنی)
۳۷	پروتئین (درصد وزنی)
۰/۸	فسفر (درصد وزنی)
آمینو اسیدها: (درصدوزنی)	
۳/۱	آلانین
۵/۵	اوجنین
۷/۳	اسپارتیک اسید
۲/۴	گلوتامیک اسید
۲/۶	گلیسین
۲/۵	هیستیدین
۲/۱	ایزولوسین
۲/۵	لیوسین
۳/۱	لایسین
۳/۲	فنیل آلانین
۵/۲	سربین
۱/۱	تریپتوفان
۰/۶	تریپتوفان
۳/۴	تیروسین
۲/۵	والین
۱/۴	متیونین
ویتامین‌ها: (µg/g)	
۱۱/۶	ریبوفلاوین
۷۲/۵	تیامین
۱۷۲	نیاسین

استفاده مستقیم از پساب برای آبیاری زمین‌های کشاورزی

استفاده زمین به صورت مختلف در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی مورد توجه قرار گرفته است (Sanai & Shayegan, 1979; Shayegan and Sanai, 1980). در آبیاری زمین‌های کشاورزی، مجموعه زمین و گیاه به عنوان یک فیلتر زنده عمل کرده و بیشتر مواد آلاینده موجود در پساب را حذف می‌کنند (شایگان، ۱۳۶۰). محدودیت مصرف آب به ویژه در ماه‌های سرد، ظرفیت خاک و ریشه گیاه در جذب مواد و حساسیت گیاهان به بعضی از املاح و مواد سمی از جمله نکاتی است که می‌بایست در

– تولید پروتئین تک یاخته^(۱) (SCP)

به دلیل وجود قند، اسیدهای آلی و گلیسرول در پساب حاصل از تولید الکل، مخمرها و قارچ‌های مشخصی قادرند در آن رشد کنند. این روش فرایندی است که در فرانسه توسعه داده شده و در آن پساب خروجی تولید الکل برای پرورش مخمر ترولا^(۲) به کار می‌رود و در نهایت به عنوان مکمل غذایی در علوفه دام به مصرف می‌رسد (Kumar & Viswanathan, 1991).

تولید مخمر هوازی، وسیله‌ای موثر برای کاهش BOD و تولید یک محصول جانبی با ارزش است. جدول شماره (۲) ارزش غذایی مخمر تولید شده در این روش را نشان می‌دهد. در این فرایند، مخمر ترولا در برج‌های تخمیر (ظرفهای استوانه‌ای بزرگ) که به خوبی هوادهی می‌شوند رشد می‌کنند. میزان هوادهی 10 m^3 به ازای هر کیلو گرم مخمر تولیدی است و گاهی اضافه کردن مواد غذایی تکمیلی از جمله نیترژن و فسفر لازم می‌باشد. مقدار $5/6$ کیلو گرم آمونیاک، $1/8$ کیلوگرم فسفر، $0/4$ کیلوگرم منیزیم برای هر 100 کیلوگرم مخمر خشک مورد نیاز است. از آنجایی که رشد مخمر گرمازا است (4000 کیلوکالری به ازای هر کیلوگرم مخمر تولیدی) عمل سرد کردن برج تخمیر باید به طور مداوم صورت گیرد تا بتوان دمای بهینه 35°C برای رشد مخمرها را حفظ کرد. ترکیبات کربنی ساده مانند الکل باقیمانده، گلیسرول و اسید استیک نیز توسط این مخمر قابل مصرف است. در این فرایند 16 کیلوگرم مخمر به ازای هر تن پساب به دست می‌آید (Kujala (Maiorella et al., 1983) تولید 10 کیلوگرم مخمر به ازای هر تن پساب را در سال 1976 گزارش کرده است. در این فرایند بیش از 50 درصد BOD کاهش می‌یابد و به $15000 - 10000 \text{ mg l}^{-1}$ می‌رسد. همچنین پساب الکل می‌تواند به عنوان بستر مناسبی برای رشد سایر مخمرها از جمله *Penicilium natatum* و *Ashbya gossypil* و تولید آنزیم آمیلاز به کار رود. با توجه به هزینه بالای این روش و نوسان قیمت محصول تولید شده (پروتئین خوراکی دام)، انجام مطالعات امکان پذیری اقتصادی قبل از هرگونه سرمایه گذاری ضروری است. اضافه کردن مواد مغذی مانند فسفر و نیترژن بخش بیشتری از قیمت تمام شده محصول را شامل می‌شود. به علاوه، هزینه‌های بالای سیستم خنک کننده (برای خنک کردن برج تخمیر) و دستگاه‌های هوادهی از دیگر معایب روش فوق است. در استفاده از این روش، بخشی از آلودگی‌ها در پساب ناشی از فرایند تولید مخمر باقی خواهد ماند و استفاده از این روش به تنهایی

فواید استفاده از روش آبیاری مستقیم را به شرح ذیل می‌توان بیان

کرد:

- دفع پساب بدون انجام عملیات تصفیه عمده؛
- جایگزینی مواد معدنی کاهش یافته خاک؛
- افزایش خاصیت بافری خاک؛
- افزایش خواص فیزیکی خاک؛
- افزایش ظرفیت ماند نمک‌ها و آب در خاک.

جدول شماره (۳): تغییر کیفیت ذرت بدست آمده در رقت‌های

مختلف از پساب تصفیه شده

درصد فاضلاب در آب آبیاری					پارامترهای مورد ارزیابی
۲۰	۱۰	۵	۲/۵	-	
۸/۰	۸/۴	۷/۹	۷/۵	۷/۱۲	درصد پروتئین
۳/۲	۳/۱	۲/۸	۲/۳	۱/۸	درصد خاکستر
۹۴۸	۸۰۶	۷۱۲	۶۳۶	۶۲۰	کربوهیدرات محلول (میلی گرم در ۱۰۰ گرم)

از معایب این روش انتشار بو و مشکلات ناشی از ایجاد حشرات موزی است. تجربه‌های به دست آمده در اروپا نشان می‌دهد که با وجود سودهایی که در آغاز برای این عمل وجود دارد، مقدار مصرف آن در زمین طی سال‌های متوالی باید کاهش داده شود زیرا ظرفیت اسیدی خاک افزایش پیدا می‌کند. غلظت بالای کلسیم و منیزیم در پساب اگر چه در ابتدا باعث افزایش خاصیت بافری و pH خاک می‌شود لیکن کاربرد پی در پی آن موجب تشکیل سولفات می‌شود (Jackman, 1977). این سولفات‌ها در خاک به سولفید هیدروژن تبدیل می‌شوند که می‌توانند مجدداً توسط باکتری‌های گوگرد به اسید سولفوریک تبدیل و pH خاک را کاهش دهند (Sastry & Mohanrao, 1964). نشن نمکها در آبهای زیرزمینی و ایجاد گندیدگی به دلیل تشدید فعالیت‌های بی‌هوازی از مضرات این روش است (Jackman, 1977). از دیگر معایب این روش، خوردگی مخازن نگهداری و حمل پساب برای انتقال به زمین‌های کشاورزی است (Maiorella et al., 1983).

رقیق سازی پساب با آب و دفع آن در آب‌های جاری

این روش، ساده‌ترین و آسان‌ترین راه دفع پساب است که به آب کافی نیاز دارد تا مشخصات پساب خروجی از استاندارد لازم برخوردار باشد. هر لیتر از پساب خروجی نیاز به ۲۰۰-۱۵۰ لیتر آب خام دارد که

کاربرد پساب برای آبیاری زمین‌های کشاورزی در نظر گرفت (شایگان، ۱۳۷۹).

پساب واحدهای تولید الکل را که در محیط‌های روستایی (زراعتی) واقعند می‌توان با توجه به شرایط آب و هوایی و نوع خاک و میزان بارندگی این مناطق می‌توان برای آبیاری استفاده کرد. مطالعات نشان داده است که آبیاری حساب شده با این پساب می‌تواند کیفیت خاک را بهبود بخشد و میزان تولید محصول را (خصوصاً در مزارع نیشکر) افزایش دهد. گروهی از محققین بیان می‌کنند که ارزش کودی 100 m^3 از پساب صنعت تولید الکل با وزن مخصوص $1/03$ معادل یک تن فضولات گاوی است لیکن خثی سازی خاصیت اسیدی پساب قبل از استفاده ضروری است (Kumar and Viswanathan, 1991).

پساب حاصل از تولید الکل دارای مواد معدنی بالایی (بیشتر از $1/1$ درصد پتاسیم و $3/1$ درصد خاکستر) است. برای تولید 100 تن نیشکر حدود 250 کیلوگرم K_2O از خاک جذب می‌شود که به منظور تأمین مجدد پتاس مورد نیاز خاک، این روش آبیاری می‌تواند مؤثر باشد. در برخی کشورها، دفع مستقیم اما حساب شده پساب تصفیه نشده به زمین‌های کشاورزی، به مقدار زیادی صورت می‌گیرد. معمولاً بعد از جداسازی مخمرهای باارزش از پساب، آبیاری انجام می‌شود. برخی از مزارع برزیل $4-2$ هفته قبل از کشت نیشکر با پساب خام (به ازای هر هکتار بین $1000-650$ m^3 پساب خام) آبیاری می‌شوند (Sanai & Shayegan, 1980). در فرانسه حجم خیلی کمتری ($2/5$) تا 30 m^3 بازاء هر هکتار) به کار می‌رود (Monteiro, 1975). Gundu-Rao (1966) پیشنهاد می‌کند که حدود 250 لیتر پساب در روز می‌تواند برای هر هکتار از زمین کشاورزی به کار برود.

استفاده از پساب تصفیه شده تولید الکل، برای آبیاری کشت‌های مختلف در ایران مورد تحقیق قرار گرفته و نتایج رضایت بخشی نیز گزارش شده است (Gundu Rao, 1966). در این تحقیق پساب تصفیه شده با متوسط COD برابر با 5000 mg/l در رقت‌های $2/5$ ، 5 ، 10 و 20 درصد با آب چاه برای کشت گیاهانی نظیر گندم، چغندر، ذرت و یونجه مورد استفاده قرار گرفته و نتایج نشان داده است که کمیت و کیفیت محصولات به دست آمده با آب حاوی 20 درصد پساب بهتر بوده است. در جدول شماره (۳) کیفیت ذرت آبیاری شده با پساب در رقت‌های مختلف داده شده است. نتایج به دست آمده با تجربیات حاصل از آبیاری یک مزرعه آزمایشی با فاضلاب تصفیه شده قابل مقایسه است (Sanai and Shayegan, 1980).

معدنی پساب یا حذف کلیه مواد آلی مد نظر باشد و برای پساب‌هایی که مواد آلی بالایی دارند می‌تواند به عنوان بازیافت انرژی به حساب آید. این روش در اروپا، آمریکا و برزیل به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش قبل از سوزاندن، ابتدا پساب توسط ۴ یا ۵ تبخیر کننده که به صورت سری بسته شده‌اند به جامد ۶۰ درصد تغلیظ شده و سپس سوزانده می‌شود. گرمای حاصل از سوزاندن جامدات تغلیظ شده ملاس ۳۰۰۰ تا ۳۶۰۰ kcal/kg است و می‌تواند گرمای کافی برای مرحله تبخیر را تأمین کند (Jackman, 1977). بازیافت خاکستر حاصل از سوزاندن، یکی از موارد اقتصادی این فرایند است. این خاکستر دارای ۳۰ تا ۴۰ درصد پتاس (K_2O) و ۲-۳ درصد فسفر (P_2O_5) است که بعد از حل کردن در آب و خنثی نمودن با اسید سولفوریک کود پتاسیمی با ارزشی (به مقدار ۲۵ تا ۳۵ کیلوگرم به ازای هر ۱۰۰۰ مترمکعب از پساب) به دست می‌آید. ولی وجود ۱۶ درصد کلرید پتاسیم و ۷ درصد کربنات پتاسیم در کود تولید شده موجب کاهش قیمت این کود به نصف کود خالص شده است (Huffman, 1978).

برای تولید مقدار بالای خاکستر، نیاز به طراحی بویلرهای خاصی است و چون دمای ذوب پتاسیم $700^{\circ}C$ است، طراحی آنها با مشکل مواجه می‌شود. در صورت استفاده از بویلرهای معمولی باید در بخش کوره آنها تغییراتی به وجود آورد تا با کاهش دمای احتراق، از ذوب شدن خاکستر جلوگیری شود. گاهی نیز از بویلرهای با بستر سیال استفاده می‌شود. این روش هر چند که پسماند کمتری دارد ولی دارای هزینه بالایی است و برای صنعت تولید الکل با حجم فراوان پساب به صرفه نیست (Kumar and Viswanathan, 1991).

– تصفیه بیولوژیکی

وجود COD و BOD بالا اهمیت تصفیه این پساب را به صورت بیولوژیکی نشان می‌دهد. حضور بعضی مواد سمی مانند فنل‌ها و مواد آروماتیک و وجود مواد معدنی به مقدار زیاد که به سختی توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند از جمله مشکلات تصفیه این پساب به روش‌های بیولوژیکی است.

– سیستم‌های تصفیه هوازی

برکه‌های هوازی

در این برکه‌ها با توسعه رشد جلبک‌ها و باکتری‌ها و ایجاد شرایط پایدار برای همزیستی آنها کاهش BOD معادل ۷۵ تا ۸۰ درصد

تأمین این آب مورد نیاز معمولاً بسیار مشکل است. از ویژگی‌های این روش، عدم نیاز به مکان و فضا برای ذخیره پساب خروجی قبل از تخلیه است. واحدهایی که از نظر محل استقرار مشکل مکانی دارند یا در مناطق شهری واقعند و دسترسی به مقدار آب کافی دارند می‌توانند از این روش برای حل مشکل پساب خود استفاده کنند. بنابراین رقیق سازی اگر چه به ظاهر پیشنهاد قابل توجهی است ولی متأسفانه برای مناطق کم آب از جمله کشور ایران، روش مناسبی به نظر نمی‌رسد (Kumar and Viswanathan, 1991). در فرهنگ محیط زیستی روش رقیق سازی جایگاهی ندارد و بنا به گفته یک انگلیسی، رقیق سازی راه‌حلی برای رفع آلودگی نیست^(۳).

– بازیافت مواد معدنی

برخی واحدها پساب را تغلیظ می‌کنند و سپس آن را به عنوان کود یا خوراک دام به کار می‌برند. عدم تمایل مردم برای خرید گوشت حیوانات پرورش داده شده با چنین پساب‌هایی و همچنین قیمت پایین علوفه‌های دیگر در مقایسه با این علوفه، باعث محدودیت در مصرف آن شده است. Reich فرایندی را توسعه داده که طی آن می‌توان کربن و پتاس را از پساب بازیافت کرد (Reich, 1945). در تحقیقاتی که توسط Chakraborty (1964) در هند انجام گرفته است، پساب خروجی واحد تولید الکل پس از خنثی‌سازی و فیلتراسیون وارد یک تبخیرکننده می‌شود و تا ۷۵ درصد جامد تغلیظ می‌شود. سپس از روی صفحه‌های با مانع (Baffle) شیب دار از مجاور گاز داغ در یک کوره مخصوص عبور داده می‌شود. خاکستر باقیمانده پس از مخلوط شدن با آب و خنثی شدن با اسید سولفوریک به صورت کریستال‌های سولفات پتاسیم ۷۲/۲۵٪ و کلرید پتاسیم ۲۰/۷۵٪ بازیافت می‌شود.

یک واحد احتراق با بستر سیال که در دمای $700^{\circ}C$ فعالیت می‌کند توسط Gupta در سال ۱۹۸۶ به کار برده شده است، این واحد قادر است که ۷۵٪ پتاسیم موجود در پساب را بازیافت کند. از آنجایی که پساب داغ خورنده است لازم است قبل از ورود به بستر سیال خنثی شود. باید توجه داشت که خنثی کردن با آهک موجب افزایش سارد خواهد شد و بهتر است از خنثی کننده‌های دیگر استفاده شود. با توجه به اینکه اقتصادی بودن این فرایند به مقدار پتاسیم بازیافت شده بستگی دارد، بازیافت پتاسیم نسبت به مصرف انرژی قابل توجه نیست و این فرایند مقبولیت چندانی پیدا نکرده است (Kumar and Viswanathan, 1991).

سوزاندن پساب می‌تواند به عنوان وسیله‌ای برای بازیافت مواد

(۵۵°C) وجود دارد.

در روش بی‌هوازی، باکتری‌های تولید کننده اسید قندهای موجود در پساب را به اسیدهای آلی از جمله اسید بوتیریک و استیک تبدیل می‌کنند مقادیر جزئی آمینو اسیدها و مواد آلی نیتروژن دار نیز شکسته شده تولید یون آمونیم می‌کنند. در نهایت باکتری‌های متان زا اسیدهای آلی را به متان و دی اکسید کربن تبدیل می‌کنند و حدود ۶۰۰ لیتر گاز حاوی ۶۵ درصد متان به ازای هر کیلو گرم BOD تجزیه شده به وجود می‌آورند. در جریان تجزیه بی‌هوازی، باکتری‌های احیا کننده سولفات^(۳) نیز فعال بوده سولفات موجود در پساب را به یون سولفید احیا می‌کنند (Maiorella et al., 1983).

در برخی واحدها بازیافت آمونیاک از پساب کارخانجات تولید الکل امکان پذیر شده است به این صورت که pH پساب خروجی را برای آزاد کردن آمونیاک بالا می‌برند. مایع خروجی ضمن تماس با هوا آمونیاک را آزاد می‌کند، آمونیاک آزاد شده در یک برج جذب، جذب اسید می‌شود. نمک آمونیوم ایجاد شده پس از تغلیظ می‌تواند به عنوان خوراک برای عمل تخمیر یا به عنوان کود به فروش برسد (Skogman, 1979). همان‌طور که ذکر شد اگرچه استفاده مستقیم از سیستم‌های بیولوژیکی هوازی برای تصفیه پساب‌هایی که مواد آلی بالایی دارند به دلیل مسایل اقتصادی و ایجاد لجن متورم با مشکل مواجه بوده است، لیکن تلفیق آن با روش‌های بی‌هوازی دارای فوایدی است که از آن جمله: ۱- نیاز به انرژی کم ۲- تبدیل مواد آلی به بیوگاز (که می‌تواند انرژی لازم برای فرایند تخمیر را فراهم کند) ۳- تولید کمترین مقدار لجن و کاهش مواد مغذی مورد نیاز را می‌توان نام برد.

این شرایط باعث شده است بررسی‌های فراوانی در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت در این زمینه انجام گیرد و روش‌های بی‌هوازی متنوعی برای این امر توسعه یابد.

برک‌های بی‌هوازی

سادگی و به صرفه بودن این روش توانسته است آن را به عنوان یک روش معمول هضم بی‌هوازی در پساب‌های تولید الکل معرفی کند. در این روش پساب خروجی تولید الکل در برک‌هایی که ۳ تا ۶ متر عمق دارند ذخیره شده و طی چندین روز تحت شرایط بی‌هوازی تجزیه می‌شوند. این فرایند اقتصادی است و بار BOD زیادی را نیز می‌توان به آن وارد کرد زیرا مشکل دفع لجن اضافی کمتر است. برای راه اندازی این برک‌ها از فضولات تازه گاو استفاده می‌شود و در ابتدا

گزارش شده است. گرچه حذف جلبک‌ها از خروجی برک‌ها مشکل است و از طرف دیگر حضور آنها به صورت یک ماده آلی قابل تجزیه، کیفیت پساب خروجی از برک را نیز کاهش می‌دهد (Sawyer, 1949).

سیستم‌های لجن فعال و صافی چکه‌ای

در این روش اغلب از فیلترهای چکه‌ای پر بار یا تانک‌های اختلاط کامل لجن فعال استفاده می‌شود. بعضی از میکروارگانیسم‌هایی که تحت این شرایط از توانایی رشد خوبی برخوردارند عبارتند از: *Nocardia* ، *Actinophora* ، *Achromobacter* ، *Sarcina* ، *Flavobacterium* و *Zooglea* ، *Pseudomonas*. در این فرایندها به دلیل وجود مقدار بالای مواد آلی، نیاز به هوادهی شدید است. گاهی نیز پساب به طور مستقیم وارد سیستم‌های تصفیه فاضلاب شهری می‌شود و این در صورتی است که دبی فاضلاب شهری در مقایسه با مقدار پساب الکل قابل توجه باشد.

در سال ۱۹۴۹ Sawyer و Anderson توسط سیستم جمع‌آوری فاضلاب شهری پساب یک واحد تولید الکل را تا ۱ درصد رقیق کردن و با استفاده از سیستم دو مرحله‌ای فیلتر چکه‌ای با نسبت برگشتی ۳:۱ با بار آلی $0.95 \text{ kgBOD/m}^3 \cdot \text{d}$ مقدار BOD را از 485 mg/l به 25 mg/l کاهش دادند (Sawyer, 1949).

Reis و Burnett (1973) پساب یک واحد تولید الکل با COD معادل 9000 mg/l و BOD معادل 2500 mg/l تا 3000 mg/l را با فاضلاب شهری تا ۱۰ درصد رقیق کردند و پس از خنثی کردن، با استفاده از فیلتر چکه‌ای با بار آلی $1/8-6/1 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ و نسبت برگشتی ۵/۰ به راندمان کاهشی حدود ۴۰ درصد COD دست یافتند (Burnett, 1973).

Sant Ana و Reis در تحقیقی دیگر COD پساب رقیق شده را در یک راکتور با بستر غوطه‌ور با زمان ماند ۱۰ تا ۱۵ ساعت تا ۸۰ درصد حذف کردند (Reis & Sant Ana, 1985).

به طور کلی تصفیه هوازی به طور مستقیم غیر اقتصادی است و حجم بالای اکسیژن و انرژی مورد نیاز و مقدار بالای لجن جامد تولیدی موجب عدم توجه به این روش شده است.

سیستم‌های بی‌هوازی

برای پساب‌هایی که دارای BOD بالا هستند تصفیه بی‌هوازی می‌تواند از لحاظ هزینه به صرفه باشد. بویژه با توجه به دمای بالای پساب واحدهای تولید الکل، امکان هضم در شرایط ترمو فیلیک

و تنها یک واحد تولید الکل برای تصفیه پساب خود از راکتورهای بی‌هوازی بهره می‌گیرند (پازوکی، ۱۳۸۲). این در حالی است که فقط در کشور هند بیش از ۱۵۰ واحد تولید الکل برای تصفیه پساب خود از روش‌های بی‌هوازی استفاده می‌کنند که به طور معمول دارای راندمان کاهش BOD ۹۰ درصد و COD ۷۵ درصد و تولید متان ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ متر مکعب به ازای هر کیلو گرم COD بوده است (Singh and Nigam, 1995). یکی از مشکلات این سیستم‌ها وجود ترکیبات معدنی زیاد به خصوص سولفات و پتاسیم در پساب است که برای باکتری‌های بی‌هوازی سمی‌اند و در فعالیت آنها اختلال ایجاد می‌کنند. غلظت سولفید نیز می‌تواند در رشد میکروارگانیسم‌ها مانع کند به طوری که غلظت ۱۵۰ mg/l در هاضم‌های بی‌هوازی مزوفیلیک و ۱۲۵ mg/l در هاضم‌های ترموفیلیک برای رشد آنها سمی می‌باشد. Standef و Elsworth مشاهده کردند که برای پساب تولید الکل با سطح سولفات بالا، تصفیه با هاضم‌های مزوفیلیک بهتر از هاضم‌های ترموفیلیک است که این موضوع با کاهش سولفات معکوس می‌شود (Barnes et al., 1984). شایگان و مهدی زاده (2003) نشان دادند که در غلظت سولفات کمتر از ۵۰۰ mg/l و نسبت COD به SO₄ بیش از ۲ راندمان حذف COD افزایش می‌یابد. در یک تحقیق دیگر به منظور کاهش اثر بازدارندگی یون سولفید بر روی راندمان حذف COD، استفاده از فلزات سنگین نظیر مولیبدن پیشنهاد شده است. املاح مولیبدن به طور موقت بر کارایی باکتری‌های SRB تأثیر گذاشته و عملاً مانع تبدیل سولفات به سولفید می‌شود (شایگان و آبانگاه، ۱۳۸۱).

– تحقیقات انجام شده روی راکتورهای بی‌هوازی

به خاطر آهسته بودن سرعت رشد میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی و لزوم حفظ این موجودات در داخل راکتور، تحقیقات برای استفاده از بستری‌های ثابت و یا جریان برگشتی به منظور بازگرداندن میکروارگانیسم‌ها به داخل راکتور انجام شده است. تشکیل گرانول‌های متخلخل از بیوماس‌های کولونی شده، زمینه را برای اعمال بار فراوان و کاهش هزینه‌های ساخت ایجاد کرده است.

تصفیه بی‌هوازی پساب تولید الکل در هر دو حالت رشد معلق و سیستم‌های فیلمی ثابت توسط (Glanser 1985) بررسی شده است. سیستم‌های هضم بی‌هوازی دو مرحله‌ای برای تصفیه پساب‌های صنعتی به خصوص صنعت تولید الکل توسط (Ghosh 1985) پیشنهاد شده است که یک راکتور اسیدزایی اختلاط کامل قبل از یک

بار کمی را به سیستم وارد می‌کنند و پس از افزایش راندمان سیستم بتدریج بار را افزایش می‌دهند. هر چند این روش، روش ارزانی برای تصفیه است ولی به فضای زیادی نیاز دارد و برای محیط‌های شهری مناسب نیست. و چون سطح این برکه‌ها باز است ایجاد بوهای نامطبوع و همچنین تکثیر حشرات موذی از معایب آن به شمار می‌رود. واحدهایی که فاقد فضای لازم می‌باشند نمی‌توانند از این روش استفاده کنند. با پوشاندن سطح برکه‌ها می‌توان مشکل خروج گازهای آلوده کننده را برطرف کرد. امروزه برای جلوگیری از مشکل آلودگی‌های زیرزمینی استفاده از ورق‌های پلاستیکی برای عایق‌بندی کف برکه‌ها متداول شده است. با این تدابیر می‌توان این روش را به عنوان روشی مناسب برای تصفیه پساب صنایع تولید الکل در نظر گرفت، هر چند که هزینه‌های ساخت این نوع واحدهای تصفیه در مقایسه با برکه‌های ساده بی‌هوازی به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد (شایگان و همکاران، ۱۳۷۶؛ هاشمیان و همکاران، ۱۳۷۴).

راکتورهای بی‌هوازی

در این روش پساب در راکتورهای سر پوشیده در تماس با توده میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی قرار گرفته و مواد آلی آن سر انجام به دی اکسید کربن و متان تبدیل می‌شود. توزیع مناسب پساب و تماس آن با توده فعال میکروبی موجب می‌شود که این گونه راکتورها از کارایی بالایی برخوردار باشند و زمان ماند به کمتر از یک روز و حتی چند ساعت کاهش یابد. بعلاوه به دلیل سر پوشیده بودن این گونه راکتورها، جمع‌آوری گازهای متان تولید شده امکان پذیر بوده و عموماً از این گازها برای گرمایش راکتورها و حفظ دما در محدوده ۳۵ تا ۳۷°C استفاده می‌شود. تجزیه مواد آلی عمدتاً توسط دو گروه باکتری‌های اسیدزا و متانزا صورت می‌گیرد که حفظ شرایط ایده‌آل برای هر دو گروه در یک راکتور معمولاً کار مشکلی است. بویژه کنترل pH بهینه (۷-۷/۲) فقط در شرایطی میسر است که کل اسیدهای تولید شده توسط باکتری‌های اسید زا به طور همزمان توسط باکتری‌های متان زا تجزیه شوند. به منظور سادگی عملیات گاهی از راکتورهای دو مرحله‌ای استفاده می‌شود. به این معنی که در یک راکتور تجزیه تا مرحله اسیدزایی و در راکتور دوم تولید متان صورت می‌گیرد. طبیعی است که در این روش هزینه سرمایه گذاری تا حدی افزایش می‌یابد. امروزه انواع راکتورهای بی‌هوازی در سراسر جهان برای تصفیه بسیاری از فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایران تعدادی از کارخانجات قند، شیرپاستوریزه، خمیر مایه

راکتور ۰/۳ تا ۳/۳ روز تعیین شد. این سیستم به یک راندمان ۸۵ درصد حذف TOC با یک بار $4/5 \text{ kg TOC/m}^3 \cdot \text{d}$ دست یافته است. مزیت‌های بیشتر این سیستم انرژی مصرف شده پایین به خاطر سیالیت پایین بستر و عدم احتیاج به وسایل ته نشینی بعدی است.

در یک تحقیق توسط Kida و همکاران (1995) برای تصفیه پساب الکل ساکی روش متفاوتی ارائه شده است. در این سیستم یک پساب ابتدا در دمای 35°C در مدت یک روز در یک فرمنتور ۳۰ لیتری همزن دار تخمیر و سپس با صاف کردن پساب، BOD پساب به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. در مرحله بعد، محلول فیلتر شده ابتدا به میزان سه برابر با آب رقیق و سپس در یک راکتور بستر سیال در 37°C با $22 \text{ g TOC/l} \cdot \text{d}$ تصفیه می‌شود.

از آنجا که یکی از مشکلات سیستم‌های بی‌هوازی، ترکیبات فنی است می‌توان با پیش تصفیه روی پساب با استفاده از مخمرهایی مانند *Penicillium decumbens*، غلظت فنل را کاهش داد. همچنین قارچ‌هایی مانند *Geotrichum candidum* برای مدت ۱۵ روز در دمای 30°C علاوه بر اینکه ۵۳ درصد از COD را حذف می‌کنند، ۴۸ درصد غلظت فنل را نیز کاهش می‌دهند (Fitzgibbon et al., 1995).

Chen و همکارانش (1980) تحقیقی روی کارایی سیستم بی‌هوازی-هوازی برای تصفیه پساب تولید الکل انجام داده اند. این سیستم شامل ترکیبی از یک فرایند ترموفیلیک بی‌هوازی و یک فرایند هوازی لجن فعال به دنبال آن است. پساب ابتدا در فرایند ترموفیلیک در دمای $55-53^\circ\text{C}$ با یک زمان ماند هیدرولیکی ۴-۵ روز و $12-9 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ حدود ۸۰٪ از BOD خود را از دست می‌دهد و سپس وارد یک سیستم لجن فعال می‌شود. COD پساب ورودی به سیستم لجن فعال معادل $3000-2000$ میلی گرم در لیتر، $1/1-0/55 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ و عمر لجن ۱۰-۸ روز گزارش شده است.

حذف بیولوژیکی رنگ پساب توسط میکروارگانیزم‌ها

در سال‌های اخیر (از حدود ۱۹۸۵ به بعد)، تحقیقاتی در زمینه استفاده از میکروارگانیزم‌های خالص برای رنگبری پساب واحدهای تولید الکل به کار رفته است که تعدادی از آنها در جدول شماره (۴) نشان داده شده است. برخی از این میکروارگانیزم‌ها، رنگ پساب را در سطح جذب کرده و بعضی آنها را تجزیه بیولوژیکی نموده و برخی دیگر از هردو مکانیزم برای حذف رنگ استفاده می‌کنند. از میان باکتری‌های

راکتور UASB استفاده می‌شود. افزایش پایداری فرایند و بازیافت انرژی خالص بیشتر به عنوان مزایای این سیستم برشمرده شده است. بیوفیلترهای بی‌هوازی توسط Wheatly و Cassell در سال ۱۹۸۵ آزمایش شد، این محققان پس از شروع راه اندازی با اعمال بار $25 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ به راندمان ۶۰ تا ۷۰ درصد دست یافتند (Chiesa & Manning 1986).

Perez و همکارانش در سال ۱۹۹۸ راندمان دو نوع راکتور بی‌هوازی (فیلتر بی‌هوازی و بستر سیال) را در مقیاس آزمایشگاهی برای تصفیه پساب تولید الکل در شرایط ترموفیلیک مقایسه کردند. در نوع فیلتر از لوله‌های پلاستیکی موج‌دار به عنوان نگهدارنده در راکتور استفاده شد. حداکثر بار آلی قابل اعمال برای بستر سیال $32 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ و بستر ثابت $23 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ گزارش شده است که تحت این شرایط متوسط راندمان حذف مواد آلی به ترتیب ۸۱/۵ و ۷۵ درصد و حداکثر راندمان ۹۷ و ۸۷ درصد بوده است. بر این اساس بسترهای سیال برای تصفیه پساب‌های غلیظ دارای مواد آلی بالا همراه با آلودگی‌های سمی مناسب تر از بسترهای ثابت است

در حال حاضر راکتور UASB از راکتورهای بسیار متداول است که بیشترین استفاده را در تصفیه بی‌هوازی پساب‌های صنعتی دارا می‌باشد. افزایش و توسعه یک لجن با مشخصات رسوب پذیری خوب، یک پیش نیاز برای فعالیت موفق راکتور های UASB است.

عوامل مؤثر که در تشکیل گرانول عبارتند از ۱- ترکیب پساب ۲- سرعت جریان صعودی ۳- نوع لجن (شایگان و ملکی، ۱۳۷۹). یک مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی مواد مغذی اصلی مانند کلسیم و فسفر و مواد مغذی جزئی مانند کبالت، نیکل و آهن در این راکتور نشان می‌دهد که اضافه کردن فسفات کلسیم به پساب الکل اندیس حجم لجن تولیدی را به مقدار قابل توجهی افزایش می‌دهد ولی غلظت پایین آن (۱ گرم در لیتر) موجب افزایش فعالیت متان زایی می‌شود. افزودن مقادیر جزئی Co و Ni و Fe اندیس حجمی لجن و فعالیت متان زایی را زیاد می‌کند و به ترتیب در غلظت‌های 10 mg/l و $0/1$ و $0/5$ برای هضم بی‌هوازی پساب الکل مناسب می‌باشد (Sharma & Singh, 2001).

در بررسی دیگری که توسط Garcia و سایر همکاران (1998) انجام شده است. کاربرد فناوری جریان سیال با بستر نزولی برای تصفیه پساب تولید الکل است. ماده به کار رفته به عنوان بستر این راکتور، پرلیت در اندازه حدود یک میلی‌متر با وزن مخصوص 3 kg/m^3 بود. حداقل سرعت سیالیت بستر $2/3 \text{ m/h}$ و زمان ماند پساب در

جدول شماره (۳) مشاهده می‌شود قارچ‌ها راندمان رنگبری بیشتری نسبت به باکتری‌ها دارند، این موضوع ممکن است به علت پیچیدگی ساختمان دیواره سلولی قارچ‌ها در مقایسه با باکتری‌ها باشد که قسمتی از رنگ پساب را جذب می‌کند. یکی از مشکلات رنگبری پساب حاوی ملانویدین، کاهش شدید رنگبری در زمان استفاده از پساب بدون رقیق‌سازی است. به نظر می‌رسد که غلظت بالای ملانویدین و سایر ترکیبات موجود در پساب، خاصیت باز دارندگی ایجاد کرده و میکروارگانیسم قادر به جذب رنگ و تولید آنزیم تخریب کننده ساختمان ملانویدین نمی‌باشد.

به کار رفته برای رنگبری پساب واحدهای تولید الکل می‌توان *Loutobacillus*, *Genus loutobacillus*, *Bacillus smithi*, *Pseudomonas Osillatoria boryana*, *hilgardii*, *fluorescense*، را نام برد. همان طوری که در جدول شماره (۴) مشاهده می‌شود تنها باکتری *P. fluorescens* دارای رنگبری قابل توجه ۷۶٪ است. قارچ‌هایی که در تحقیقات رنگبری پساب واحدهای تولید الکل استفاده شده‌اند عبارتند از *Aspergillus niger*، *Tremetes versicolor* یا *Corioulus*، *Aspergillus fumigatus*، *Geotrichum candidum* و *P. chrysosporium*. همچنان که از

جدول شماره (۴): میکروارگانیسم‌های به کار رفته در منابع برای رنگبری پساب واحد های تولید الکل

ردیف	نام میکروارگانیسم	نوع میکروارگانیسم	درصد حذف رنگ	زمان رنگبری (روز)	مکانیزم حذف رنگ	مرجع
۱	<i>Aspergillus fumigatus</i> No. G-2-6	قارچ	۷۵	۳	تخریب بیولوژیکی و جذب سطحی	Ohmomo et al., 1987
۲	<i>Aspergillus niger</i> (180)	قارچ	۶۹	۳-۴	تخریب بیولوژیکی و جذب سطحی	Miranda et al., 1996
۳	<i>Bacillus smithi</i>	باکتری	۳۵/۵	۲۰	تخریب بیولوژیکی	Toshiaki et al., (1987)
۴	<i>Corioulus hirsutus</i>	قارچ	۶۵	-	تخریب بیولوژیکی	Fujita et al., 2000
۵	<i>C. versicolor</i>	قارچ	۷۱/۵	۱۰	تخریب بیولوژیکی	Kumar et al., 1998
۶	<i>C. versicolor</i> Ps _{4a}	قارچ	۸۰-۷۵	۴-۵	تخریب بیولوژیکی	Aoshima et al., 1985
۷	<i>Geotrichum candidum</i>	قارچ	۴/۲	۱۰	تخریب بیولوژیکی	Fitzgibbon et al., 1995
۸	<i>Genus lactobacillus</i> (L-2)	باکتری	۳۱	۷	تخریب بیولوژیکی	Kumar et al., 1997
۹	<i>Lactobacillus hilgardii</i> (W-NS)	باکتری	۹۸	۳-۴	تخریب بیولوژیکی	Ohmomo et al., 1988
۱۰	<i>Mycelia sterilia D90</i>	قارچ	۹۳	۸	تخریب بیولوژیکی	Sirianuntapiboon et al., 1988
۱۱	<i>Oscillatorja boryana</i> BDU92181	باکتری	۶۰	۳۰	تولید OH، H ₂ O ₂ اکسیژن (عملیات فتوسنتز)	Kalavathi et al., 2001
۱۲	<i>P. chrysosporium</i>	قارچ	۳۳/۵	۸	تخریب بیولوژیکی	Kumar et al., 1998
۱۳	<i>P. chrysosporium</i>	قارچ	۸۵	۱۰	تخریب بیولوژیکی	Fahy et al., 1997
۱۴	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	باکتری	۹۰-۷۶	۴	تخریب بیولوژیکی	Dahiya et al., 2001
۱۵	<i>T. versicolor</i>	قارچ	۸۲	۳	تخریب بیولوژیکی	Benito et al., 1997

تحقیقات در مورد استفاده از ازون نشان می‌دهد که فرایند ازون زنی به صورت تک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای امید بخش نبوده و کاهش COD ناچیز است. اگر چه رنگ پساب به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد (Beltran et al., 2001; Alfafra et al., 2000).

استفاده از فناوری غشایی از روش‌هایی با مصرف انرژی پایین است. روش اسمز معکوس با فشار بالا (۶۰۰ psi) برای تغلیظ جامدات محلول در پساب واحدهای تولید الکل به کار برده شده و تا ۸۰ درصد آب آن را بازیافت کرده است، در حالی که انرژی مصرفی آن فقط ۳ wh/l بوده که در مقایسه با ۱۴۰ wh/l روش تبخیری بسیار اندک است. ترکیب این دو روش (استفاده از فشار تبخیر در مرحله بعد) نشان داده است که می‌توان ۵۳٪ از هزینه روش تبخیری را در واحدهای تولید الکل کاهش داد (Maiorella et al., 1983).

ملاحظات اقتصادی

از بین روش‌های ذکر شده، تصفیه هوازی پساب واحدهای تولید الکل مقرون به صرفه نبوده و هزینه سرمایه گذاری اولیه و مخارج جاری آن نمی‌تواند قابل قبول باشد. از بین ۴ روش عمده ذکر شده طبق محاسبات انجام شده توسط (Maiorella 1983) و همکاران، هزینه تصفیه هر متر مکعب پساب برای یک واحد تولید الکل با یک هزار متر مکعب پساب در روز، ارقام زیر به دست آمده است.

- تبخیر پساب به منظور تولید خوراک دام:
۰/۴ دلار برای هر متر مکعب پساب
- سوزاندن پساب به منظور بازیافت پتاس:
۱/۱ دلار برای هر متر مکعب پساب
- هضم بی هوازی و تولید گاز متان (بدون احتساب ارزش گاز متان تولید شده):
۰/۸ دلار برای هر متر مکعب پساب
- استفاده از پساب برای تولید مخمر ترولا:
۳ دلار برای هر متر مکعب پساب

نتیجه‌گیری

آلودگی بالای پساب واحدهای تولید الکل موجب شده است در چند دهه گذشته، روش‌های مختلفی برای تصفیه پساب این واحدها مورد بررسی و پژوهش قرار گیرد و نتایج زیر حاصل شود:
- روش‌های متعارف تصفیه هوازی که معمولاً انتخاب مناسبی برای تصفیه فاضلاب صنایع غذایی است به دلیل حجم بالای

پازوکی و همکاران (۱۳۸۱) اکثر قارچ‌های جدول شماره (۴) را برای رنگبری پساب شرکت یاد شده مورد بررسی قرار دادند. از میان ۲۱ میکروارگانیزم مطالعه شده سوش جدا سازی شده از خانواده *Aspergillus* بود که حداکثر راندمان (۷۰٪) با فاضلاب ۳۵٪ را داشت. شایگان و همکاران (2004) این میکروارگانیزم را در شرایط پیوسته و در یک راکتور با تغذیه ناپیوسته با حدود ۲۰ بار تعویض استفاده کردند و راندمان رنگبری در حدود ۶۰-۷۰٪ باقی ماند و سپس افت کرد. این تجربه در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده (Barnes et al., 1984; Kida et al., 1995; Fitzgibbon et al., 1995) از راندمان بهتری برخوردار بود.

پازوکی و همکاران (2003) کار را با ایجاد موتاسیون تصادفی در میکروارگانیزم ادامه دادند و راندمان رنگبری حدود ۱۴/۵٪ با پساب صد درصد افزایش دادند. پس از تغییر نوع ماده کربنی (از گلوکز به مالتوز) و بهینه سازی آماری شرایط رنگبری در مقیاس آزمایشگاهی راندمان رنگبری به حدود ۸۰٪ با پساب رقیق نشده افزایش یافت (Pazouki et al., 2003). با مقایسه نتایج به دست آمده از این تحقیق و نتایج چاپ شده در سایر منابع، جای امیدواری است که بتوان نتایج این تحقیق را در مقیاس بزرگتر برای واحدهای تولید الکل در کشور به کار برد.

تحقیقات انجام شده روی فرایندهای فیزیکی و شیمیایی جدید

یکی از فرایندهایی که ساده و به صرفه است و توسط Vijayaragharan و همکارانش (1999) پیشنهاد شده است استفاده از اسید هیپوکلرو به عنوان اکسید کننده می‌باشد. در این روش یون کلر ایجاد شده با روش الکترولیز برای تولید اسید هیپوکلرو به کار می‌رود و آب دریا یا آب نمک به عنوان الکترولیت استفاده می‌شود. راکتور به کار رفته یک استوانه فولادی است که صفحه‌های سوراخ دار فولادی (S.S) به عنوان کاتد در آن استفاده می‌شوند. در بین این صفحه‌ها میله‌های گرافیتی به عنوان آند قرار دارند. بهترین غلظت NaCl حدود ۳-۲/۵٪ و COD ورودی ۱۵۰۰۰ mg/l در نظر گرفته شده است. عمل الکترولیز برای مدت ۲۴۰ دقیقه با چگالی ۲۴۰ mA/cm² صورت می‌گیرد و راندمان حذف COD ۹۸ تا ۹۹ درصد بدست می‌آید. با اضافه کردن بی سولفیت می‌توان کلر باقیمانده اضافی را حذف کرد.

الکل‌سازی. مجموعه مقالات هفتمین کنگره مهندسی شیمی ایران. ۹-۶ آبانماه دانشکده فنی، دانشگاه تهران، جلد پنجم، ۴۶۳-۴۵۷.

پازوکی، م. ۱۳۸۲. رنگبری بیولوژیکی پساب کارخانجات الکل‌سازی، طرح تحقیقات صنعتی، آموزشی و اطلاع‌رسانی وزارت صنایع.

شایگان، ج. و آبانگاه، م. ۱۳۸۱. بررسی روشهای کاهش تاثیر سولفید در تصفیه بی‌هوازی فاضلاب حاوی سولفات، مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، جلد پنجم، آبان ۱۳۸۱: ۴۲۵-۴۲۱-۵.

شایگان، ج. و ملکی، م. ۱۳۷۹. گرانول سازی لجن بی‌هوازی راکتور UASB جهت تصفیه فاضلاب صنایع الکل‌سازی، مجموعه مقالات اولین سمپوزیوم بین‌المللی مهندسی محیط زیست، جلد اول: ۹۵-۸۸.

شایگان، ج. اسلامی، الف. و ملکی، م. ۱۳۷۹. بررسی تاثیر بار ورودی بر رشد گرانول در راکتور UASB برای فاضلاب‌های با غلظت بالای سولفات، انسان و محیط زیست، شماره ۷ و ۸، ۱۸-۱۰.

شایگان، ج. ۱۳۶۰. شکل فاضلاب در ایران و راه‌حل دفع زمینی، مجموعه مقالات سمینار آب کشور، دفتر برنامه‌ریزی آب، وزارت نیرو.

شایگان، ج. ۱۳۷۴. گزارش طراحی تصفیه خانه فاضلاب بیدستان. آرشبو شرکت بیدستان.

شایگان، ج. شیر اسماعیلی، م. و استوار، ج. ۱۳۷۶. تصفیه فاضلاب‌های با استفاده از استخرهای تثبیت بی‌هوازی، مجموعه مقالات سومین کنگره ملی مهندسی شیمی، جلد دوم، ۶۸۵-۶۸۰.

شایگان، ج. ۱۳۷۹. تجربیات به دست آمده از آبیاری یک مزرعه آزمایشی با فاضلاب تصفیه شده، فصل نامه انسان و محیط زیست شماره ۹، ۳۱-۲۶.

هاشمیان، ج. استوار، ح. و شایگان، ج. ۱۳۷۴. تصفیه فاضلاب قند در برکه‌های عمیق بی‌هوازی، مجموعه مقالات سمینار صنعت قند ایران، ۸۷-۷۹.

سرمایه گذاری و مخارج جاری زیاد مناسب نیستند، اگرچه به عنوان روش تکمیلی بعد از حذف بار اصلی آلودگی توسط روش‌های بی‌هوازی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

- لاگونهای بی‌هوازی چنانچه بتوان مشکل بوی آن را با کنترل pH و پوشش مناسب برطرف کرد در مدت زمان کمتر از یک ماه می‌تواند COD پساب ورودی را تا ۸۰ درصد کاهش دهد. بار آلی قابل اعمال برای این لاگونها $3-5 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$ پیشنهاد شده است.

- راکتورهای بی‌هوازی از جمله راکتور UASB برای تصفیه پساب تولید الکل مورد استفاده قرار گرفته است و با توجه به پژوهشهای انجام شده این گونه راکتورها قادرند با بار $10 \text{ kg COD/m}^3 \cdot \text{d}$ بر مشکلات غلظت بالای سولفات غلبه کرده و COD ورودی را با راندمان ۸۰ درصد حذف کنند. تولید لجن گرانوله در راکتور UASB به سختی انجام می‌گیرد و لازمه تشکیل آن افزایش غلظت COD به طور تدریجی از ۱۰۰۰ به 15000 mg/l در لیتر است.

- در سال‌های اخیر تبخیر فاضلاب به منظور تولید خوراک دام، مورد توجه قرار گرفته است لیکن به دلیل هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، مشکلات بهره‌برداری و عدم تطبیق کیفیت محصول به دست آمده با استانداردهای خوراک دام گسترش قابل توجهی نکرده است.

- سوزاندن پساب به منظور بازیافت پتاسیم تبدیل هزینه بالا و قیمت کم املاح پتاسیم تولید شده (ناشی از وجود ناخالصی در آنها) توفیق چندانی نداشته است.

یادداشت‌ها

- 1- Single cell protein
- 2- Torula (Candida utilis)
- 3- Dilution is not a solution to pollution
- 4- Sulphate reducing bacteria
- 5- Down flow fluidized bed
- 6- Shochu

منابع مورد استفاده

پازوکی، م. شایگان، ج. و افشاری، ع. ۱۳۸۱. جداسازی و انتخاب بهترین میکروارگانیزم برای رنگبری فاضلاب تصفیه شده کارخانجات

- Dahiya, J. Singh, D. and Nigam, P. 2001. Decolorisation of molasses wastewater by cells of *Pseudomonas fluorescens* on porous cellulose carrier. *Biores Tech.* 78: 111-114.
- Fahy, V., FitzGibbon, F. J., McMullan, G., Singh, D., Marchant, R. 1997. Decolorization of molasses spent wash by *Phenacoccus chrysosporium*. *Biotechnol. Letts.* 19(1): 97-99.
- Fitzgibbon, F. J, Nigam, P., Singh, D., Marchant, R. 1995. Biological treatment of distillery waste for pollution-remediation. *J. Basic Microbiol.* 35(5): 293-301.
- Fujita, M., Ike, M., Kavagochi, Y., Miyata, N. 2000. Biotreatment of persistent substances using effective microorganisms. *Water Sci. Technol.* 42(12): 93-106.
- Garcia-Calderon, D. Buffiere, P. Moletta, R., Elmaleh, S. 1998. Anaerobic digestion of wine distillery wastewater in down-flow fluidized bed. *Water. Res.* 32(12): 3593-3600.
- Ghosh, S. 1985. Methane production from industrial wastes by two-phase anaerobic digestion. *Water Res.* 19: 1083.
- Glanser, M. 1985. Fast fermentation of wastewater to methane. *Wiss Umwelt (Ger)* 1(42) Chem. Abstr. 103,56711.
- Gundu Rao, G. 1966. Souvenir, All India Distillers Assoc. 34.
- Huffman, E. O. 1978. Fertilizers In: Grayson, E. (ed) Kirk Othmer Encyclopedia of Chemical Aoshima, I. Tozawa, Y., Ohmomo, S. and Ueda, K. 1985. Production of decolorizing activity for molasses pigment by *coriolus versicolor* Ps4a. *Agric. Biol. Chem.* 49: 2041-2045.
- Alfafra, C. G., Migo, V. P., Amarante, J. A., Dallo, R. F. and Matsumura, M. 2000. Ozone treatment of distillery slop waste. *Water. Sci. Technol.* 42(3-4): 193-198.
- Barnes, D., Forster, C. F., Hurudy, S. E. 1984. Food and allied industries, 46-55 (Pitman).
- Beltran, F. J., Garcia-Araya, J. F., Alvarez, P.M. 2001. pH Sequential ozonation of domestic and wine distillery wastewater. *Wat. Res.* 35(4): 429-936.
- Benito, G. G., Miranda, M. P., de la Santos, D. R. 1997. Decolorization of wastewater from alcoholic fermentation process with *Trametes versicolor*. *Biores. Technol.* 61: 33-37.
- Burnett, W. E. 1973. Rum distillery waste: Laboratory studies on aerobic treatment. *Water Sewage Works*, 120: 107-111.
- Chakrabarty, R. N. 1964. Potash recovery, A method of disposal of distillery wastes. p. 93 (Noyes Development Corporation, Pearl River, New York).
- Chen, C. S. 1980. Hawaii ethanol from molasses project final report, HNEL-80-03, Hawaii Natural Energy institute, University of Hawaii at Maroa.
- Chiesa, S. C. and Manning, Jr. J. F. 1986. Fermentation Industry. *J. Wat. Polln. Contl. Fed.* 58(6): 554-555.

- Maiorella, B. L., Blanch, H. W., Wilke, C. R. 1983. Distillery effluent treatment and by-product recovery. *Proc. Biochem.* 18: 5-12.
- Mehdizadeh, H. and Shayegan, J. 2003. The effect of sulfate concentration on COD removal and sludge granulation in ASB reactors. *J. Eng.* 16(1): 1-10.
- Miranda, M. P., Benti, G. G., Cristobal, N. S., Nieto, C. H. 1996. Color elimination from molasses wastewater by *Aspergillus*. *Biores. Technol.* 57: 229-235.
- Monteiro, C. E. 1975. Brazilian experience with the disposal of wastewater from the cane sugar and alcohol industry. *Proc. Biochem.* 10(11): 33-41.
- Ohmomo, S., Kaniko, Y., Apiboon, S. S., Somachi, P., Attasambu, P. 1987. Decolorization of molasses wastewater by a thermophilic strain, *Aspergillus fumigatus* G-2-6. *Agri. Biol. Chem.* 51(12): 3339-3346.
- Ohmomo, S., Daengsubha, W., Yoshikawa, H., Yui, M., Nozaki, Y., Nakajima, T., Nakamura, J. 1988. Screening of anaerobic bacteria with the ability to decolorize molasses melanoidin. *Agri. Biol. Chem.* 52(10): 2429-2435.
- Pazouki, M., Hussainia, A., Banifathemi, M. 2003. Proceedings of Third National Biotechnology Conference. Central Composite Optimization of Important Parameters in Decolorizing Distillery Spent Wash Using a Locally Isolated *Aspergillus* Strain. 9-13 Sep. Mashad University, Mashad, Iran, pp 115-117.
- Technology. 31 (John Wiley).
- Jackman, E. A. 1977. Distillery effluent treatment in the Brazilian national alcohol programme. *Chem. Eng.* 319: 319-239.
- Kalavathi, D. F., Uma, L., Subramanian, G. 2001. Degredation and metabolization of the pigment-melanoidin in distillery effluent by the marine cyanobacterium *Oscillatoria boryana* BDU 92181. *Enz. Microbiol. Technol.* 29: 246-251.
- Kida, K., Morimara, S. Abe, N., Sonoda, Y. 1995. Biological treatment of Shochu wastewater. *Proc. Biochem.* 30(2): 125-132.
- Kujala, P., Hull, R., Engstrom, F., Jackman, E. A. 1976. Alcohol from molasses as a possible fuel. *Sugar Azucar.* 71(3): 28-39.
- Kumar, S., Viswanathan, L. 1991. Production of biomass, carbon dioxide, volatile acid and their interrelationship with decrease in chemical oxygen demend during distillery waste treatment by bacterial strains. *Enz. Microb. Technol.* 13: 179-187.
- Kumar, V., Wati, L., FitzGibbon, F., Nigam, P., Banat, I. M. & Singh, D. 1997. Bioremediation and decolorization of anaerobically digested distillery spent wash. *Biotechnol. Letts.* 19(4): 311-313.
- Kumar, V., Wati, L., Nigam, P., Barat, I. M., Yadav, S., Singh, D., Marchant, R. 1998. Decolorization and biodegradation of anaerobically digested sugar cane molasses spent wash effluent by methanation plants by white rot fungi. *Proc. Biochem.* 33:83-88.

- Sharma, J. & Singh, R. 2001. Effect of nutrients supplementation on anaerobic sludge development and activity for treating distillery effluent. *Biores. Technol.* 79: 203-206.
- Shayegan, J. Pazouki, M., Afshari, A. 2004. Continuous decolorization of anaerobically distillery wastewater. *Proc. Biochem. J.* (in press).
- Shayegan, V., Sanai, M. 1980. Land disposal of wastewater from a beet sugar factory and its effect on soil. *J. of Environl. Polln. (Series B)* 1(1): 61-70.
- Singh, D, and Nigam, P. 1995. Treatment and disposal of distillery effluents in India. In: M. Moo-Young et al. (eds). *Environl. Biotech: Principles and Applications.* 735-750.
- Sirantapiboon, S. P., Somachai, P., Ohmomo, S., Athasampunna, P. 1988. Screening of filamentous fungi having the ability to decolorize molasses pigment. *Agr. Biol. Chem.* 52(2): 387-392.
- Skogman, H. 1979. Effluent treatment of molasses based fermentation wastes. *Proc. Biochem.* 14 (1): 5-11.
- Vijayaraghavan, K., Ramanujam, T. K., Balasubramanian, N. 1999. In situ hypochlorous acid generation for the treatment of distillery spent wash. *Ind. Eng. Chem. Res.* 38: 2264-2267.
- Pazouki, P., Hussainia, A., Shayegan J.,d Banifathemi, M. S. 2003. Improving the activity of a locally isolated fungus in decolorization of pretreated distillery wastewater. *Iran. J. Chem. Eng.* (in press).
- Perez, M., Romero, L. L., Sales, D. 1998. Comperative Performance of high rate anaerobic thermophilic technologies treating industrial wastewater. *Wat. Res.*, 32(3): 559-564.
- Reich, G. T. 1945. Production of carbon and potash from molasses distiller's stillage. *Trans. Am. Ins. Chem. Eng.* 41: 233-252.
- Reis, L. & Sant Ana, G. C. 1985. Aerobic treatment of concentrated wastewater In a submerged bed reactor. *Water. Res.* 19: 1341.
- Sanai, M. & Shayegan, J. 1979. Water pollution abatement through reuse of municipal wastewater in agricultural system. *J. of Environl. Polln* 10(2): 119-127.
- Sanai, M., Shayegan, J. 1980. Field experiemnts on application of treated municipal wastewater to vegetated land. *J. Water Polln. Contl.* 79 (1): 126-135.
- Sastry, C. A., Hohanrao, G. J. 1964. Ethyl alcohol production technique, P 88 (Noyes Der. Corp. Pearl. River, New York).
- Sawyer, C. N., Anderson, E. J. 1949. Anaerobic treatment of rum waste. *Water Sewage Works.* 14:112-114.