دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

موضوع:

حذف بیولوژیکی ترکیبات فنلی بوسیله راکتور بستر آکنده با جریان رو به بالا

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی عمران - گرایش محیطزیست

استاد راهنما:

پروفسور قاسم نجف پور

استاد مشاور:

دکتر بهرام نوایی نیا

تدوین و نگارش :

زینب بخشی جویباری

خرداد 1390

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

چکیده:

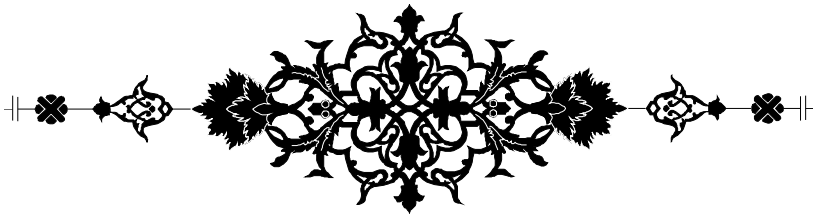
حذف فنل بوسیله میکروارگانیسم های حاصل از کشت مرکب لجن تصفیه خانه کارخانه چوب و کاغذ ساری مورد مطاله قرار گرفت. باکتری های حاصل از کشت مرکب در محیط بی هوازی، دمای 30 درجه و pH برابر با 7 کشت داده شده بود. تاثیر افزایش غلظت اولیه فنل بر نرخ حذف در فرایند های پیوسته و ناپیوسته مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش های نا پیوسته در ارلن های 250 سی سی صورت گرفت. غلظت فنل در این ارلن ها از 100 تا 1000 میلی گرم بر لیتر متغیر بوده است. آزمایشات بمدت 15 روز انجام گرفت. نمونه برداری از این ارلن ها بمنظور بررسی حذف فنل هر 24 ساعت صورت می گرفت. نرخ حذف فنل با افزایش غلظت از 100 به 400 میلی گرم بر لیتر افزایش می یافت. با افزایش غلظت فنل به 700 و 1000 میلی گرم بر لیتر، نرخ حذف بعلت بازدارندگی فنل کاهش می یابد. با افزایش غلظت فنل طول مدت فاز تاخیری نیز افزایش می یابد. بعلت اینکه فنل یک ماده بازدارنده بشمار می رود، از مدل های سینتیک رشد هلدن و لوجستیک برای بررسی رشد میکروارگانیسم استفاده گردید. مدل های لوجستیک و هلدن به خوبی با داده های آزمایشگاهی منطبق گشتند. ضریب بازده رشد برای سوبسترای فنلی برابر با 0/12 میلی گرم بیومس بر میلی گرم سوبسترا بوده است.

تصفیه پیوسته فنل در راکتور بستر آکنده بی هوازی با جریان رو به بالا انجام گرفت. در طول مرحله راه اندازی راکتور با زمان ماند هیدرولیکی 24 ساعت و دمای 30 درجه سانتی گراد شروع به کار کرد. دوره راه اندازی در 4 فاز به مدت 150 روز انجام گرفت. در این فاز های غلظت فنل بترتیب برابر با 100، 400، 700 و 1000 میلی گرم بر لیتر بوده است. در فاز 1، راکتور در روز 8 با راندمان حذفی برابر با 96/8% و تولید بیوگاز برابر با 1/42 لیتر در روز به حالت پایدار رسید. با افزایش غلظت فنل در فاز 2 به 400 میلی گرم بر لیتر راندمان حذف به 57/2% کاهش یافت. روند مشابهی در فاز های 3 و 4 نیز مشاهده شد. بدلیل بازدارندگی بالای فنل کاهش شدیدی در راندمان حذف و تولید بیوگاز مشاهده شد. راندمان حذف در حالت پایدار بترتیب در فاز های 3و 4 برابر با 98/4 و 98% بوده است. حداکثر تولید بیوگاز در روز 130 به میزان 3/57 لیتر در روز بدست آمد. تاثیر زمان ماند هیدرولیکی بر راندمان حذف نیز مورد بررسی قرار گرفت. با کاهش زمان ماند از 48 ساعت به 12 ساعت راندمان حذف و نرخ تولید بیوگاز کاهش یافت.

واژه ها کلیدی: فرایند بی هوازی، تصفیه بیولوژیکی، حذف بیولوژیکی، نرخ بارگذاری آلی (OLR)، فنل، $UAPB$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فصل اول



کلیات

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقدمه

همواره، زندگی از جمله مهمترین و حساس ترین پدیده ها برروی زمین بشمار می رود که به طبیعت متکی است. هر آنچه طبیعت را تهدید نماید برای زندگی نیز مضر است. از مهمترین مشکلاتی که امروزه دنیا را تهدید می نماید آلودگی محیط زیست است. افزایش جمعیت، توسعه شهرها و در نتیجه توسعه صنعتی و اقتصادی، اثرات زیست محیطی و معضلات اساسی را در قرن بیستم بوجود آورده است. این اثرات تا به امروز دامن‌گیر اکثر کشورها مخصوصا کشورهای در حال توسعه و از جمله ایران شده است. یکی از پیامدهای حاصل، تولید فاضلاب از صنایع مختلف، دفع زباله و مواد سمی در محیط زیست و شیوع انواع بیماری‌ها بوده است.

پساب های صنعتی به عنوان یکی از مهم ترین آلاینده های محیط زیست به شمار می روند. مواد شیمیایی مختلفی که از این صنایع دفع می شوند سبب تغییر در اکوسیستم می گردند. نقش فاضلاب تصفیه نشده در آلودگی آب های تازه به حدی زیاد است که هر متر فاضلاب می تواند بیش از چهل متر مکعب آب را آلوده سازد. آلوده کننده های صنعتی به سه دسته جامد، مایع، گاز تقسیم می شوند. از آلوده کننده های جامد می توان پس ماند و محصولات جانبی حاصل از فرایندهای صنایع پتروشیمی مانند مواد پلیمری همچون پلاستیک را نام برد. ترکیبات آروماتیکی و سایر ترکیبات آلی و معدنی که از طریق پساب های صنعتی مانند پساب کارخانجات نساجی و صنایع رنگ وارد محیط زیست می شوند از جمله آلوده کننده های مایع می باشند. از آلوده کننده های گازی می توان گازهای خروجی از صنایع مختلف ، گازهای خروجی از اگزوز ماشین و سایر ترکیبات فرار آلی را نام برد. با توجه به ویژگی‌های فاضلاب اعم از فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، بار آلی و بار هیدرولیکی، مسائل اقتصادی و وضعیت قوانین، مقررات و استانداردهای منطقه‌ای و کشوری، انتخاب روش مناسب تصفیه به‌خصوص برای فاضلاب‌های صنعتی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1-1 تصفیه بیولوژیکی - زیستی فاضلاب

فعالیت های انسانی، صنعتی و کشاورزی همه روزه سبب تولید فاضلاب می گردند. فاضلاب های دفع شده از سیستم های جمع آوری به آب های سطحی مانند رودخانه ها، دریاچه ها و دریا ها به تدریج به سطح آب های زیرزمینی نفوذ می کنند. انسان ها از این آب ها جهت مصرف آشامیدنی، فعالیت خانگی، صنعتی، تولید آبزیان استفاده می کنند بنابراین، بالا بردن کیفیت این آب ها برای استفاده بهتر امری ضروری است [1-2].

در تصفیه فاضلاب مهمترین پارامتری که مورد نظر مهندسان است و نیاز به کاهش دارد اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)[1] و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)[2] موجود در فاضلاب است. اکسیژن مورد نیاز شیمیایی میزان اکسیژن مصرف شده برای انجام اکسیداسیون شیمیایی فاضلاب و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی مقدار اکسیژن مورد نیاز برای اکسیداسیون میکروبی مواد آلی قابل تجزیه و آمونیوم در فاضلاب است. مراحل مختلف تصفیه فاضلاب صنعتی شامل تصفیه اولیه، ثانویه و پیشرفته است. تصفیه اولیه تنها مواد معلق را حذف می نماید. این فرایند با ریختن مواد از بالا در تانک های ته نشینی صورت می گیرد. در تصفیه ثانویه، بخش اندکی از مواد آلی محلول به مواد معدنی و بخش زیادی از آن از حالت محلول به مواد جامد قابل حذف تبدیل می شود. استفاده از تصفیه های اولیه و ثانویه 80 تا 90% COD و BOD موجود در فاضلاب را از بین می برد. تصفیه ثانویه فاضلاب بوسیله فعالیت میکروبی صورت می گیرد. این تصفیه ممکن بصورت هوازی یا بی هوازی انجام گیرد [3].

1-1-1 سیستم های بیولوژیکی هوازی

در این فرایند فعالیت میکروارگانیسم‌ها در حضور اکسیژن سلول انجام می‌گیرد. لذا میکروارگانیسم‌های دیگر فعالیت چندانی ندارند [3].

[1] Chemical Oxygen Demand
[2] Biochemical Oxygen Demand

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2-1-1 سیستم های بیولوژیکی بی هوازی

روش های تصفیه بی هوازی فاضلاب معمولا سرعت و نیاز به انرژی کمتری نسبت به روش های هوازی دارند. در این حالت هیچ‌گونه اکسیژنی وجود ندارد و از هیدرولیز موادآلی فعالیت بیولوژیکی صورت می گیرد. در ضمن مقدار لجن کمتری نسبت به دو حالت قبل تولید می‌شود و با تولید گاز متان به عنوان منبع انرژی می‌توان از آن استفاده نمود [3].

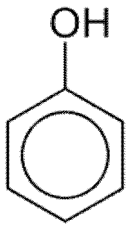
2-1 حذف بیولوژیکی فنل

1-2-1 فنل بعنوان یک آلاینده

فنل یک مولکول آروماتیک بوده که در محیط هم بصورت طبیعی و هم از فعالیت های صنعتی بوجود می آید. منابع طبیعی تولید کننده آن شامل آتش سوزی جنگل ها، گذر رواناب ها از سطح آسفالت در محیط های مسکونی و همچنین فساد طبیعی مواد لیگنوسلولز است. فنل از فعالیت صنایعی مانند پتروشیمی، حشره کش ها، چوب و کاغذ، داروسازی و پالایش نفت تولید شود [4].

2-2-1 ویژگی های شیمیایی فنل

فرمول شیمیایی آن برابر است با C_6H_6O. فنل شامل یک گروه هیدروکسیل متصل به حلقه بنزن است. فنل جامدی بلوری و بی رنگ متمایل به صورتی است. دارای بوی نامطبوع و خاصیت اسیدی است. وزن مولکولی آن 94/11، چگالی آن 1/072 و نقطه جوش آن 181/9 درجه سانتی گراد است. شکل 1-1 ساختار شیمیایی فنل را نشان می دهد.



شکل 1-1: ساختار شیمیایی فنل

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1-2-3 سمیت فنل

قرار گرفتن در معرض شدید فنل سبب بروز بیماری های حاد عصبی مانند صرع و کما می شود. همچنین بیماری های ماهیچه ای نیز گزارش داده شده است. کاهش شدید در دمای بدن نیز مشاهده شده است که به هیپوترمی موسوم است. غده لنفاوی شدیدا در مقابل فنل حساس بوده و واکنش نشان می دهد. از جمله مهمترین مشکلاتی که تماس با فنل ایجاد می کنند، ایجاد تورم پوستی و ضعف عضلانی است. همچنین، فنل ممکن است موجب بروز بیماری قانقاریا گردد. تماس مداوم با فنل سبب بروز بیماری های کلیوی نیز می شود.

تماس با فنل سبب سفیدی قرنیه چشم و در نهایت کوری می شود. از جمله عوارض دیگر می توان به آبریزش از بینی و دهان به همراه سر درد اشاره کرد. همچنین، قرار گرفتن در معرض فنل سبب بیماری های کبدی و سرطان می شود. از فنل در عمل های جراحی به علت سمیت آن برای میکروراگانیسم ها جهت ضد عفونی کردن نیز استفاده می شده است [5].

1-2-4 میکروارگانیسم ها ی موثر در تجزیه فنل

تجزیه فنل توسط فعالیت تعداد زیادی از میکروارگانیسم ها شامل باکتری ها و قارچ ها انجام می گیرد. این میکروارگانیسم ها شامل باسیلوس ها[1]، سودامونوس ها[2]، آسینتوباکترها[3]، آکروموباکتر ها[4]، استپترومایسیس[5] است که در تجزیه فنل موثر بوده و گزارش داده شده است. با این حال، غلظت های بالای فنل برای این میکروارگانیسم سمی و بازدارنده بوده و مانع از رشد آنها می شود [6].

در بسیاری از مطالعات، تجزیه فنل توسط باکتری ها انجام می گیرد. گونه سوداموناس بطور گسترده در تجزیه فنل استفاده می گردد. هنگامی که یک میکروارگانیسم مناسب برای تجزیه فنل انتخاب و کشت داده می شود، این ارگانیسم ها قادر هستند تا پساب های حاوی این ترکیبات را حذف نمایند [7-8].

[1] *Bacillus*
[2] *Pseudomonas*
[3] *Acinetobacter*
[4] *Achromobacter*
[5] *Streptomyces*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1-2-5 تصفیه بیولوژیکی فاضلاب حاوی فنل

فنل و ترکیبات فنلی از فعالیت صنایع شیمیایی مانند پالایش نفت، چوب و کاغذ، صنایع پلیمری تولید می شود. ترکیبات فنلی آلاینده های خطرناک بوده که حتی در غلظت های خیلی پایین هم سمی می باشند. دفع پساب های حاوی این ترکیبات سبب سمیت برای گیاهان و حیوانات می شوند. غلظت های کم این مواد در آب های آشامیدنی سبب ایجاد طعم و بو می گردد. بنابراین فاضلاب های حاوی این مواد و سایر ترکیبات خطرناک قبل از دفع در منابع آبی نیاز به تصفیه مناسب دارند. روش های تصفیه مورد استفاده می تواند بصورت فیزیکی، شیمیایی یا بیولوژیکی باشد [4].

1-2-5-1 روش های فیزیکی-شیمیایی

تصفیه فیزیکی معمولا بوسیله جذب سطحی با زغال، کربن فعال، کیتوزان و غیره انجام می گیرد. تصفیه شیمیایی شامل واکنش های اکسیداسیون بوسیله ازن، ازن/UV، ازن/H_2O_2، اکسیداسیون الکترو شیمیایی می باشد [7-8].

1-2-5-2 روش های بیولوژیکی

هدف از هر تصفیه بیولوژیکی حذف مواد آلی محلول، کلوئیدی و معلق از فاضلاب است. این امر بوسیله تماس داشتن میکروارگانیسم های فعال با فاضلاب انجام می گیرد. تصفیه بیولوژیکی ممکن است بصورت هوازی یا بی هوازی باشد. همچنین، ممکن است بصورت رشد چسبیده یا معلق طبقه بندی شود [3].

از روش های مختلفی برای حذف فنل از فاضلاب و خاک استفاده می شود. تجزیه بیولوژیکی بعلت عدم تولید محصولات خطرناک و مضر برای محیط زیست، امروزه مورد توجه محققین قرار گرفته است. فاضلاب های حاوی ترکیبات فنلی بوسیله روش های مختلف بیولوژیکی حذف می گردند. در حذف ترکیبات فنلی هم سلول های آزاد[1] و هم بی تحرک[2] نقش موثری دارند [9-12].

[1] Free cell
[2] Immobilized cell

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3-1 تعریف مسئله

کاربرد روش‌های پیشرفته تصفیه بی‌هوازی فاضلاب صنعتی در سال‌های اخیر توسعه و تکامل یافته است. علت این امر غالب بودن مزیت های سیستم بی‌هوازی در مقایسه با فرآیندهای هوازی از جمله قابلیت بارگذاری بسیاربالا و مصرف کمتر مواد معدنی و انرژی می‌باشد.

ترکیبات آلی، ترکیباتی هستند که دارای کربن و هیدروژن می باشند. این ترکیبات در بدن تمامی موجودات زنده یافت می شوند. بیشتر ترکیبات آلی که مورد استفاده قرار می گیرند، ساخته دست بشر هستند. بعضی از این ترکیبات به صورت مایع وجود دارند و برای ایجاد بخار به یک مرحله اضافی مانند گرم شدن یا سرد شدن احتیاج دارند. این دسته از مواد آلی، ترکیبات پایدار هستند. فنل یک هیدروکربن آروماتیکی بوده که برای محیط زیست از جمله گیاهان حیوانات و موجودات آبزی بسیار خطرناک بشمار می رود. بنابراین، حذف آن از محیط های آبی امری ضروری تلقی می شود. امروزه، استفاده از روش های بیولوژیکی رشد چسبیده در حذف آلاینده های خطرناک از جمله فنل کاربرد فراوان دارد. این روش ها بعلت عدم نیاز به تجهیزات نگهداری، مقابله در برابر شوک بار آلی، ضخامت لجن بهتر و عدم مشاهده حجیم شدن[1]، مورد توجه محققین قرار گرفته اند. راکتور بستر آکنده بیهوازی با جریان رو به بالا (UAPB)[2] یک راکتور بی‌هوازی مطلوب می باشد.

در هضم بی‌هوازی روند تبدیل مواد آلی به گاز متان ظرف مدت یک الی دو ماه چرخه آن کامل می‌شود. چنین زمان طولانی در صنعت هزینه بر بوده و حجم مخازن نگهداری فاضلاب غیرممکن است. لذا استفاده از راکتور بستر آکنده بیهوازی با جریان رو به بالا قادراست، فعالیت چندین برابر را از خود به نمایش بگذارند. استفاده از جریان رو به بالا سبب افزایش زمان ماند هیدرولیکی (HRT)[3] و تماس بیوفیلم میکروبی با مواد آلی شده در نتیجه راندمان حذف افزایش می یابد.

[1] Bulking
[2] Upflow Anaerobic Packed Bed
[3] Hydraulic Retention Time

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

هدف از این مجموعه، معرفی نوعی از فرآیند بی هوازی برای تصفیه فاضلاب حاوی ترکیبات فنلی، روش-های به‌کار گرفته شده، نتایج به‌دست آمده و نتیجه‌گیری مناسب جهت استفاده از راکتور بستر آکنده بیهوازی با جریان رو به بالا برای رسیدن به حد مطلوب تصفیه موردنظر می‌باشد.

استفاده از سیستم‌های رشد چسبیده بعلت عمر لجن طولانی‌تر سوبستراهای پیچیده‌تر را تجزیه می‌کند. لذا راکتور بستر آکنده بی هوازی با جریان رو به بالا روش مناسبی در حذف ترکیبات فنلی با تجزیه‌پذیری بیولوژیکی متفاوت می‌باشد.

بیوراکتور بمدت 250 روز بطور پیوسته مورد استفاده قرار گرفت. در این مدت زمان، حذف بیولوژیکی فنل، تاثیر افزایش غلظت فنل و زمان ماند هیدرولیکی برروی عملکرد سیستم مورد بررسی گرفت.

1-4 فرضیات تحقیق

1- ترکیبات فنلی به روش بیولوژیکی قابل حذف می‌باشند

2- میکروارگانیسم های حاصل از کشت مرکب[1] صنایع چوب و کاغذ قادر به حذف فنل با غلظت بالا هستند.

3- امکان خو دهی میکروارگانیسم ها به فنل وجود دارد.

4- راکتور بستر آکنده بی هوازی با جریان رو به بالا قادر به حذف فنل می باشد.

5- افزایش بار آلی بوسیله تغییر غلظت فنل و زمان ماند هیدرولیکی، بر عملکرد راکتور موثر است.

6- دما و فشار در طول آزمایشات نا پیوسته و پیوسته ثابت می باشد.

1-5 دامنه تحقیق

به منظور بررسی عملکرد راکتور بستر آکنده بی هوازی با جریان رو به بالا در حذف فاضلاب حاوی ترکیبات فنلی، برحسب نیاز تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند افزایش غلظت سوبسترا و زمان ماند هیدرولیکی قرار گرفتند.

[1] Mixed culture

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

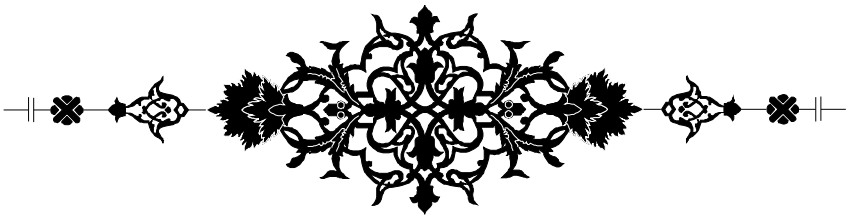
6-1 مکان، زمان و شرایط تحقیق

این تحقیق با مطالعه کتابخانه‌ای بر روی روش های بی هوازی مختلف جهت تصفیه فاضلاب حاوی ترکیبات فنلی، از پاییز 1388 آغاز گردید و همزمان با این مطالعات، مشخصات راکتور بستر آکنده بی هوازی با جریان رو به بالا و میزان کارایی آنها در حذف ترکیبات فنلی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. پس از آن راکتور بستر آکنده بی هوازی با جریان رو به بالا در مقیاس آزمایشگاهی ساخته و تجهیزات جانبی طراحی و در محل آزمایشگاه بیوتکنولوژی و صنایع غذایی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل راه اندازی شد. سپس، مواد موردنیاز تست‌های آزمایشگاهی تهیه شد. فاضلاب حاوی فنل مورد نیاز بصورت مصنوعی تهیه گردید. این فاضلاب با غلظت های متفاوت تهیه و وارد راکتور بستر آکنده بیهوازی با جریان رو به بالا گردید و کارایی حذف آن مورد بررسی قرار گرفت. شرایط بهینه با استفاده از مطالعات انجام گرفته برای رسیدن به تصفیه مطلوب با بازده حذف بالا، انتخاب شد.

در این تحقیق ابتدا در فصل دوم میزان مطالعات انجام شده بر روی میکروارگانیسم های حذف فنل، روش های مختلف حذف فنل و عملکرد راکتور با بستر ثابت در حذف فنل مورد بررسی قرار گرفت. در فصل سوم به شرح ساخت و راهبری سیستم به کار گرفته شده در تحقیق و نحوه انجام آزمایشات پیوسته و نا پیوسته پرداخته شد. نتایج حاصل از انجام آزمایشات, در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت در فصل پنجم به بحث و نتیجه گیری نتایج این تحقیق و ارایه پیشنهادات جهت بهبود کار، انجام گردید.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فصل دوم



بررسی پژوهش های انجام شده

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

مقدمه

تغییر شکل میکروبی، واکنش مواد آلی بوسیله میکروارگانیسم ها می باشد. در طول سه ده گذشته استفاده از میکروارگانیسم ها در تجزیه مواد آلی به وفور افزایش پیدا کرد. تعداد زیادی از میکروارگانیسم ها در محیط زیست بطور طبیعی مواد آلی موجود در خاک، آب و فاضلاب را تجزیه می کنند. بسیاری از مواد آلی مصنوعی در محیط زیست براحتی قابل تجزیه هستند. شدت تجزیه بیولوژیکی تحت تاثیر عوامل مختلف مانند مواد مغذی، اکسیژن، pH، ترکیبات، غلظت و موجودیت آلاینده ها، مشخصات فیزیکی و شیمیایی و تاریخچه آلودگی محیط آلوده می باشد [13]. حذف BOD کربن‌دار، لخته‌سازی مواد جامد کلوئیدی غیرقابل ته‌نشینی و تثبیت موادآلی توسط روش های زیستی یا بیولوژیکی و با استفاده از انواع میکروارگانیسم‌ها (به طور عمده باکتریها) صورت می‌گیرد. از میکروارگانیسم‌ها برای تبدیل موادآلی کربن دار محلول و کلوئیدی به گازهای مختلف، آب و بافت سلولی استفاده می‌شود. بدلیل اینکه وزن مخصوص بافت سلولی کمی بیشتر از آب است، سلولهای حاصل را می‌توان با ته‌نشینی ثقلی از مایع تصفیه شده جا کرد [3، 14].

2-1 میکروارگانیسم ها در تجزیه فنل

تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آروماتیکی از اوایل قرن بیستم گزارش داده شده است. میکروارگانیسم های تجزیه کننده فنل از سال 1908 میلادی کشت داده شد. تصفیه بیولوژیکی پساب های صنعتی به فعالیت اکسیداسیون میکروارگانیسم ها وابسته است. بعلت اینکه پساب های صنعتی حاوی ترکیبات آلی گوناگون هستند، معمولا تصفیه آنها بعلت سمیت و پیچیدگی مواد با مشکلاتی روبرو است. پساب های حاوی غلظت های بالای فنل ممکن است حتی برای میکروارگانیسم های تجزیه کننده آن هم بازدازنده باشد. با این حال، تعداد زیادی از باکتری ها، قارچ ها قادر به حذف فنل و سایر ترکیبات هستند (جدول 2-1) [4، 8، 15-17].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

فنل و اسید بنزویک بوسیله بعضی باکتری های خاک به کتکول[1] تبدیل شده است [18]. ترموفیلیک باسیلوس[2]، کتکول را به مواد آلی ساده تر تبدیل کرده است. کنس و لما[3] استفاده از فانروچیت کریسوسپوریوم[4] که یک نوع قارچ است را برای تجزیه فنل پیشنهاد کردند [19]. سوداموناس پوتیدا (ATCC 17484)[5] قادر به حذف فنل در غلظت های پایین بوده، اما غلظت های بالای فنل از رشد میکروارگانیسم جلوگیری کرده است [20].

یک محیط کشت مرکب هوازی در راکتور ناپیوسته، قادر به حذف 500 $\frac{mg}{L}$ فنل در روز بوده است [21]. سوداموناس پوتیدا (DSM 549) و تری چوسپوران بیگیلی[6] قادر به حذف فنل به عنوان تنها منبع کربن و انرژی می باشد [22]. ترموفیلک باسیلی[7] از فاضلاب شهری تهیه شد که قادر به حذف فنل به عنوان تنها منبع کربنی بوده است [23].

تجزیه فنل توسط سوداموناس بوسیله بانرجی و همکاران[8] گزارش داده شده است [24]. تجزیه فنل در حضور فلزات سنگین بوسیله آسینتوباکتر کالسوسیتیسوس[9] مشاهده شده است [25]. حذف فاضلاب کارخانه روغن زیتون بوسیله فانتروشیت کریسوسپوریم[10]، آسپرژیلوس نایجر[11]، آسپرژیلوس تریوس[12] و ژیوتریکوم کاندیدوم[13] موثر واقع شده بود [26].

مصرف فنل بوسیله آسینتوباکتر بوسیله هاو و همکاران[14] انجام شده است [27]. تجزیه فنل و مدل های سینتیک رشد آن بوسیله ابوحامد و همکاران[15] گزارش داده شده است [28]. تری چوسپوران کوتانیوم[1]

[1] Catechol
[2] *Termophilic Bacillus*
[3] Kennes & Lema
[4] *Phanerocheate chysosporium*
[5] *Pseudomonas putida*
[6] *Trichosporon beigelli*
[7] *Termophilic Bacilli*
[8] Banerjee *et al.*
[9] *Acinetobacter calcoaceticus*
[10] *Phanerocheate chrysosporium*
[11] *Aspergillus niger*
[12] *Aspergillus terreus*
[13] *Geotrichum candidum*
[14] Hao *et al.*
[15] AbuHamed *et al.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

در حذف فنل از فاضلاب های صنعتی استفاده شده است [29]. کارگی و اکر[2] حذف دی کلروفنل از فاضلاب صنعتی در راکتور با بستر ثابت را گزارش داده اند. محیط ترکیبی میکروبی قادر به حذف فنل در این بیوراکتور بوده است [30]. حذف فنل در راکتور نا پیوسته بوسیله باسیلوس بریویس[3] مورد مطالعه قرار گرفته است [15]. جدول 2-1 میکروارگانیسم های مورد مطالعه در حذف فنل را نشان می دهد.

جدول 2-1: میکروارگانیسم های موثر در حذف ترکیبات فنلی

شماره	نوع ترکیب فنلی	میکروارگانیسم	منبع
1	فنل	*Pseudomonas putida*	[4]
2	فنل	*Rhodocoxxus erythropolis*	[6]
3	فنل	*Pseudomonas pictorium*	[7]
4	فنل	*Bacillus brevis*	[15]
5	کلروفنل	*Alcaligenes faecalis*	[16]
6	فنل	*Termophilic Bacilli*	[23]
7	فنل، کلروفنل	*Acinetobacter sp*	[27]
8	فنل	*Pseudomonas putida*	[28]
9	کلروفنل	*Achromobacter sp*	[31]
10	فنل	*Mixed Fungi*	[32]
11	دی کلروفنل	*Pseudomonas putida*	[33]
12	فنل	*Pseudomonas sp & Acinetobacter sp*	[34]
13	4 نونیل فنل	*Clavariopsis aquatica*	[35]

[1] *Trichosporon cutaneum*
[2] Kargi and Eker
[3] *Bacillus brevis*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2-2 حذف ترکیبات فنلی

آلودگی های فنلی بوسیله فعالیت صنایعی مانند چوب و کاغذ، معدن زغال سنگ و صنایع شیمیایی مختلف بوجود می آید [34،36-37]. روش های مختلف حذف فاضلاب فنلی شامل روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است [3، 8، 38-39].

2-2-1 روش های فیزیکی

تصفیه فیزیکی فنل معمولا بوسیله جذب سطحی انجام می شود. کربن فعال و کیتوزان قادر به جذب ترکیبات فنلی از فاضلاب بوده اند. جذب سطحی بوسیله مواد شیمیایی به نحوه تماس با جاذب بستگی دارد. بعلت هزینه بالای کربن فعال، زغال چوب یک جاذب جایگزین مناسبی در نظر گرفته شده است. استفاده از زغال چوب در تصفیه پساب های صنایع کوچک کاربرد دارد [3، 8].

2-2-2 روش های شیمیایی

فرایند های شیمیایی شامل واکنش های اکسیداسیون بوسیله ازن، ازن/UV و ازن/H_2O_2 است. این روش بعلت هزینه اولیه بالای ازن نامناسب تلقی شده است. هوا یک اکسیدان کم هزینه بشمار می رود اما واکنش اکسیداسیون به کندی انجام می گیرد. کادهیم و همکاران[1] استفاده از هوا را بعلت پاکسازی غیر کامل و تولید مواد سمی واسطه ای نا مناسب گزارش داده اند [40].

2-3 روش های بیولوژیکی در حذف ترکیبات فنلی

هدف از تصفیه زیستی فاضلاب عبارت است از لخته‌سازی و جداکردن مواد جامد محلول و کلوئیدی که به صورت فیزیکی قابل ته‌نشینی نمی‌باشد . همچنین، تغییر ترکیبات آلی به طوری که این مواد تثبیت گردند تا در محیط مشکلی به وجود نیاید. از بین روش های مختلف تصفیه فاضلاب، روش های بیولوژیکی بعلت تجزیه مواد آلی موجود در فاضلاب به غلظت های کم دارای کاربرد فراوان است. استفاده از این روش ها بعلت عدم تولید مواد ثانویه سمی دارای اهمیت فراوان است [13، 37، 41-43]. بیوتکنولوژی تدابیر زیادی را برای تصفیه فاضلاب فراهم می نماید:

[1] Kadhim *et al.*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- بهبود فرایند های موجود با استفاده از گونه های میکروبی خو داده شده
- استفاده از گونه های خو داده شده جهت حذف مواد آلی سمی و بازدارنده
- ساخت بیوراکتور های حاوی فیلم بیولوژیکی جهت افزایش راندمان حذف
- بهبود محصولات از فاضلاب [20]

2-3-1 طبقه بندی فرایند بیولوژیکی بر اساس محیط بیوشیمیایی

2-3-1-1 سیستم های بیولوژیکی هوازی

در این فرایند فعالیت میکروارگانیسم‌ها در حضور اکسیژن سلول انجام می‌گیرد. لذا میکروارگانیسم‌های دیگر فعالیت چندانی ندارند [3].

2-3-1-1-1 فیلتر چکنده[1]

فیلتر چکنده یک سیستم هوازی با رشد چسبیده و کم هزینه برای تصفیه فاضلاب است. یک توزیع کننده دوار، فاضلاب را از قسمت بالای فیلتر به سطح متخلخل آن پخش می نماید. فاضلاب به آرامی از منافذ بستر عبور می کند و در نهایت در قسمت تحتانی فیلتر جمع آوری می شود. فیلم نازکی از باکتری های رشد یافته سطح بستر را می پوشانند [3].

2-3-1-1-2 تماس دهنده بیولوژیکی چرخان (RBC)[2]

تماس دهنده بیولوژیکی چرخان از دیسک های دایره ای شکل نزدیک به هم که از جنس پلاستیک بوده تشکیل شده است. این دیسک ها در درون فاضلاب و به دور شافتی میگردند، بطوریکه، یک فیلم نازکی میکروبی بر روی آن تشگیل می شود. از جمله مزیت های این سیستم نسبت به فیلتر چکنده شامل، اشغال فضای کمتر، پایداری بیشتر، راندمان حذف بهتر می باشد. تماس دهنده بیولوژیکی چرخان برای راه اندازی نیاز به تجهیزات بیشتری نسبت به فیلتر چکنده دارد [3].

[1] Trickling filter
[2] Rotating Biological Contactors

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

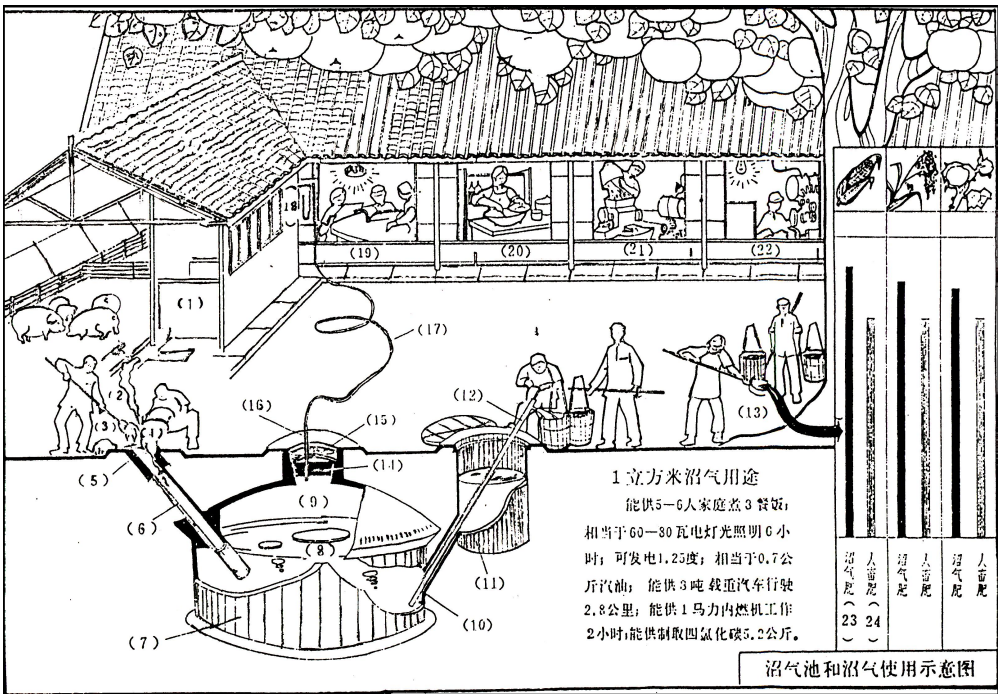
2-3-2 سیستم های بیولوژیکی بی هوازی

روش های تصفیه بی هوازی فاضلاب معمولا سرعت و نیاز به انرژی کمتری نسبت به روش های هوازی دارند. در این حالت هیچ‌گونه اکسیژنی وجود ندارد و از هیدرولیز موادآلی فعالیت بیولوژیکی صورت می گیرد. در ضمن مقدار لجن کمتری نسبت به دو حالت قبل تولید می‌شود و تولید گاز متان به عنوان منبع انرژی خود از مهمترین مزایای آن بشمار می رود [4، 44-45].

2-3-2-1 تاریخچه فرایند های بی هوازی

استفاده از فرایند بی هوازی برای تصفیه فاضلاب و تثبیت زباله امر جدیدی نمی باشد و از اواخر قرن نوزدهم مورد استفاده قرار گرفته است. در مناطق مسکونی چین و هند راکتور هایی با ساختمان ساده جهت تصفیه فاضلاب های کشاورزی و انسانی به منظور استفاده از انرژی آنها جهت پخت و پز و روشنایی، ساخته شده بود. تصفیه بی هوازی فاضلاب شهری در مقیاس بزرگتر و با استفاده از تکنولوژی پیشرفته تر در سال 1860 در فرانسه بکار گرفته شد. با این حال، در دهه 1970استفاده از فرایند بی هوازی هم در صنعت و هم در تحقیقات مورد توجه قرار گرفته بود. در اواخر سال های 1980 تصفیه همزمان فاضلاب های خانگی، غذایی، انسانی در دانمارک انجام گرفته بود. در سالهای 1920 تا 1930، مطالعات زیادی روی اجرای فرایند هاضمهای لجن بی هوازی انجام که منجر به ساخت هاضم های بی هوازی برای تصفیه فاضلاب خانگی در اروپا و شمال آمریکا شد. علاوه بر بررسی تصفیه فاضلاب خانگی در سال 1920 ، تحقیقات لازم جهت بکارگیری تصفیه بی هوازی برای فاضلاب های صنعتی انجام شد. کاربرد فرآیند های بی هوازی در اروپا به بیش از یکصد سال پیش برمی گردد. مخازن سپتیک و ایمهاف جزء اولین سیستم های بی هوازی مورد استفاده می باشند که درآن لجن ته نشین شده مرحله تجزیه بی هوازی را طی می نماید. تصفیه بی هوازی یکی از موثر ترین فرایند های بیولوژیکی برای تصفیه تعداد زیادی از فاضلاب های آلی صنعتی و مواد زائد حاصل از فراورده های غذایی می باشد. رابطه مستقیمی بین از بین رفتن مواد آلی و مقدار متان تولیدی از حوضچه ها بدست آمد [46].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

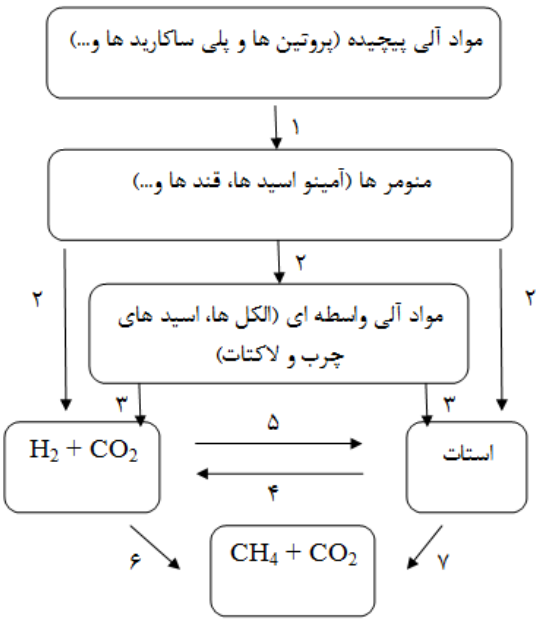


شکل 2-1: یک نوع راکتور بی هوازی در چین جهت تولید بیوگاز برای پخت و پز و روشنایی [46]

2-2-3-2 حذف مواد آلی در فرایند بی هوازی

حذف کامل بی هوازی مواد آلی فرایندی پیچیده که شامل مراحل متعدد و میکروارگانیسم هایی با توانایی مختلف است (شکل 2-2). در مرحله اول، پلیمر هایی مانند لیپید ها، پروتین ها و پلی ساکارید ها بوسیله هیدرولیز به منومر های ساده تر تبدیل می شود. این تجزیه توسط میکروارگانیسم های هیدرولیز کننده و تخمیر کننده انجام می شود. منومر های تولید شده مانند آمینو اسید ها، قند ها و اسید های چرب بوسیله گروه دیگری از باکتری های تخمیر کننده به اسید های چرب فرار، الکل ها، هیدروژن و دی اکسید کربن تبدیل می شود. در مرحله سوم باکتری های اسید ساز بوسیله اکسیداسیون بی هوازی تولید استات، هیدروژن و دی اکسید کربن می کنند. متان سازی آخرین مرحله در هضم بی هوازی است. دو روش برای تولید متان وجود دارد. گروهی ار باکتری ها از استات به عنوان ماده غذایی و گروه دیگر از هیدروژن و دی اکسید کربن تولید شده، برای تولید گاز متان استفاده می کنند [3].

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



شکل 2-2: تجزیه مواد آلی در هضم بی هوازی به متان و دی اکسید کربن، 1) هیدرولیز 2) تخمیر 3) اکسیداسیون بی هوازی 4) اکسیداسیون هیدروژنی 5) اکسیداسیون استات سینتروفیک 6) متان سازی هیدروژنی 7) متان سازی استاتی [3]

در تولید بیوگاز از مواد آلی پیچیده، فقط مقدار کمی از انرژی برای رشد میکروبی در مقایسه با فرایند های هوازی موجود است. 86% از انرژی کل در انتهای فرایند به گاز متان تبدیل می شود. تنها 10% از انرژی در اختیار باکتری های تخمیر کننده است در حالی که 90% آن به اسید های چرب فرار تبدیل می شود. از این 90% تنها 4% آن در اختیار باکتری های متان ساز قرار می گیرد. بعلت این بازده کم انرژی باکتری ها ی متان ساز به صورت گروهی در ارتباط نزدیک با هم عمل می کنند. انرژی مورد نیاز برای این گروه باکتری ها بیشتر از زمانی است که یک باکتری تخمیر کننده به تنهایی سوبسترای مشخصی را مصرف می کند [3].

2-3-2-3 تاثیر دما در فرایند بی هوازی

فرایند های بی هوازی در ابتدای شروع کار خود در تصفیه فاضلاب بدون هیچگونه افزایش دما و اختلاط مورد استفاده قرار می گرفتند، در نتیجه راندمان حذف و تولید گاز کمتری داشتند. بکارگیری فرایند بی

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com