مجلهٔ فنی و مهندسی مدرس
شمارهٔ ۳۶، تابستان ۱۳۸۸
«ویژه‌نامهٔ مهندسی عمران»

تعیین ضرایب بیوسینتیکی برای فاضلاب صنایع سلولزی ایران به روش SBR

حسین گنجی‌دوست[1*]، احمد بادکوبی[2]، فرانک پیشگر[3]

۱- استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس
۳- کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

***تهران، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵**
h-ganji@modares.ac.ir
(دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: اردیبهشت ۱۳۸۷)

چکیده- فاضلاب صنایع سلولزی یکی از مهمترین منابع آلودگی محیط‌زیست است. فاضلاب این صنایع حاوی مواد آلی با COD[1] و رنگ بالای ناشی از الیاف سلولز و ترکیبهای لیگنین است. این ترکیبها به‌سادگی مورد تجزیه بیولوژیکی واقع نمی‌شوند و ورود آنها به محیط‌زیست می‌تواند آثار مخرب و جبران‌ناپذیری را بر جای گذارد.

در این تحقیق فاضلاب سه کارخانه فیبر حسن‌رود، مجتمع صنایع چوب وکاغذ چوکا و لینترپاک بهشهر به‌عنوان نمونه در دمای آزمایشگاه مطالعه شده است. سیستم به‌صورت ناپیوسته بوده و حجم هر یک از راکتورها برابر ۲ لیتر در نظر گرفته شد. تمامی مراحل شامل تغذیه، هوادهی، ته‌نشینی و تخلیه در یک راکتور انجام شده و سیستم از نوع راکتورهای ناپیوسته متوالی (SBR)[2] بوده است.

از مقایسه ضرایب سینتیکی به‌دست آمده برای سه پساب، مشخص شد که فاضلاب فیبر حسن‌رود ساده‌تر از فاضلاب صنایع چوب و کاغذ چوکا و فاضلاب چوکا، آسانتر از فاضلاب کارخانه لینترپاک بهشهر مورد تجزیه بیولوژیکی قرار می‌گیرند. در نتیجه ثابت سرعت واکنش (K)، بازده رشد (Y) و ثابت سرعت رشد (μ) برای فاضلاب فیبر بیشتر از فاضلاب چوکا و لینتر بوده است.

بررسی تغییرات لجن نشان داد که با افزایش MLSS[3] تا حدود ۴۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، سرعت واکنش افزایش می‌یابد اما با افزایش بیشتر MLSS - در غلظتهای بالاتر از ۴۴۰۰ میلی‌گرم بر لیتر - تغییری در ثابت سرعت واکنش ملاحظه نشد. همچنین بررسی تغییرات بار آلودگی نشان داد که با افزایش COD تا حدود ۱۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر، تغییرات ثابت سرعت واکنش اندک است، اما در CODهای بالاتر از ۱۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر، کاهش ثابت سرعت واکنش قابل ملاحظه بود.

کلید واژگان: صنایع سلولزی، هوازی، فاضلاب، SBR، ضرایب بیوسینتیکی.

1. Chemical Oxygen Demand
2. Sequencing Batch Reactor
3. Mixed Liquor Suspended Solids

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، کارایی حذف بار آلی، به میزان فعالیت میکروارگانیسم‌ها بستگی دارد که با توجه به تأثیر عوامل متعدد بر این فعالیت، از ثابت‌های سینتیکی یا بیولوژیکی برای تعیین و ارزیابی نقش آنها استفاده می‌شود.

ضرایب سینتیکی برای طراحی سیستم، معمولاً به فاضلاب موردنظر بستگی دارد، زیرا سوبستراهای آلی برای فاضلاب‌های گوناگون به‌ویژه فاضلاب‌های صنعتی، متغیر است. از آنجاکه فقط گونه‌های میکروبی مشخصی، در لجن خو گرفته و می‌توانند ترکیب آلی خاصی را تجزیه کنند و هر گونه، سرعت ویژه مخصوص خود را دارد، لذا ثابت سرعت و سایر ضرایب سینتیکی برای فاضلاب‌های مختلف و تغییرات آن، متغیر است. حتی برای صنعت خاص، اختلاف زیادی در ضرایب سینتیکی دیده می‌شود.

یکی از مهمترین ثابت‌های سینتیکی، ثابت سرعت واکنش است که از روی آهنگ تغییرات غلظت واکنشگرها به‌صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{dC}{dt} = \pm KC^n \qquad (۱)$$

که در آن:

C- غلظت

t- زمان

n- درجه واکنش

k- ثابت واکنش

یکی دیگر از ثوابت سینتیکی، ثابت میزان رشد است که براساس مرحله رشد لگاریتمی از مراحل رشد میکروبی تعیین می‌شود. در مرحله رشد لگاریتمی، آهنگ رشد سلولهای باکتری را - هم در سیستمهای کشت پیوسته و هم در سیستمهای ناپیوسته - می‌توان با معادله زیر توصیف کرد [۲]:

$$dX/dt = \mu X \qquad (۲)$$

که در آن:

dX/dt- میزان رشد بیومس (mg^{1}MLVSS /L.t)

X- غلظت بیومس (mgMLVSS/L)

μ- ثابت میزان رشد (1/t)

بازده رشد یا مقدار غذای تبدیل شده به بیومس، یکی دیگر از ثابتهای سینتیکی است. در هر سیستمی بخشی از سوبسترا به بیومس و بخش دیگری به‌صورت محصولات نهایی آلی و غیرآلی اکسید می‌شود، به‌همین دلیل همیشه میزان مصرف غذا بیشتر از تولید بیومس است. در محدوده رشد لگاریتمی، رابطه زیر بین آهنگ مصرف سوبسترا و آهنگ تولید بیومس برقرار است [۲]:

$$dX/dt = -YdS/dt \qquad (۳)$$

که در آن:

dS/dt- میزان مصرف سوبسترا (mg^{2}t.L/BOD)

Y- مقدار ماده غذایی تبدیل شده به بیومس ($mgMLVSS/mgBOD_5$)

یکی از صنایع با بار آلودگی بالا، صنایع سلولزی است. پساب این صنایع به‌دلیل داشتن ترکیبهایی مانند سلولز، لیگنین و مواد آلی هالوژن‌دار، به‌راحتی قابل تجزیه بیولوژیکی نبوده و در طبیعت باقی مانده و به‌کندی تجزیه می‌شوند که این مسأله، به تخریب محیط‌زیست و بر هم زدن تعادل اکوسیستم منجر خواهد شد.

در این تحقیق پساب سه کارخانه سلولزی مطالعه شده است.

1. Mixed Volatile Liquor Suspended Solids
2. Biological Oxygen Demand

Archive of SID

www.SID.ir

یکی از این کارخانه‌ها، کارخانه فیبر ایران با تولید حدود ۷۰۰ مترمکعب پساب در روز است که در حسن‌رود، کیلومتر ۲۵ جاده رشت – انزلی واقع شده و روزانه حدود ۵۰–۴۰ تن تخته فیبر تولید می‌کند. دومین پساب مورد بررسی، مربوط به مجتمع صنایع چوب و کاغذ چوکا است. این واحد تولیدی، یکی از بزرگترین کارخانجات تولید خمیر کاغذ و کاغذسازی در استان گیلان است و سالیانه بیش از ۱۲۰۰۰۰ تن کاغذ به روش کرافت تولید می‌کند و با تولید ۲۵۰۰۰ مترمکعب پساب در روز، جزو مهمترین منابع آلوده‌کننده منطقه به‌شمار می‌رود. سومین پساب مورد بررسی، پساب کارخانه لیترپاک بهشهر، اولین تولیدکننده آلفا سلولز در ایران برای مصارف فیزیکی و شیمیایی مختلف است که در استان مازندران، کیلومتر ۳۵ جاده ساری – بهشهر واقع شده. پساب این کارخانه حدود ۴۰۰۰ مترمکعب در روز با حداکثر توان ۳۵ تن در روز است و محیط‌زیست منطقه را به‌طور جدی تهدید می‌کند.

هدف اصلی این تحقیق، تعیین ضرایب ثابت سرعت واکنش، بازده رشد و ثابت سرعت رشد برای سه کارخانه سلولزی فیبر حسن‌رود، چوب و کاغذ چوکا و لیترپاک بهشهر در مقیاس آزمایشگاهی، مقایسه نتایج حاصل و بررسی چگونگی تغییرات ثابت سرعت با تغییرات بار آلودگی و MLSS در یک سیستم SBR است.

با توجه به اینکه هدف عمده این تحقیق، تعیین ثوابت سینتیکی در سیستمهای هوازی است، در این تحقیق صرفاً تحقیقات در زمینه روشهای هوازی مرور شده است.

در سال ۱۹۹۷ تاردیف[1] و همکاران، در تصفیه پساب کاغذ روزنامه توسط سیستم SBR، حذف نزدیک به ۱۰۰ درصد از اسیدهای رزین، ۹۶ درصد از اسیدهای چرب، ۷۶ درصد از COD محلول و ۲۴ درصد از TOC[2] را گزارش کرده‌اند [۷].

شنل[3] و همکاران در سال ۱۹۹۶ در مطالعه‌ای بر روی تصفیه پساب صنایع چوب و کاغذ به روش لجن فعال، ۷۴ درصد حذف COD را گزارش کرده‌اند [۳].

در تحقیقاتی که در سال ۱۹۹۶ توسط سوناماکی[4] انجام شده، با استفاده از سیستم لجن فعال، ۹۴ درصد BOD_7 از پساب صنایع کاغذسازی حذف شده و خروجی آن به ۲۰ppm رسیده است [۴].

در ترکیب راکتور بیوفیلمی و لجن فعال مورد استفاده در سال ۱۹۹۷ توسط دالندف[5] و همکاران بر روی فاضلابی متشکل از ۵۰ درصد فاضلاب کاغذ، ۲۵ درصد فاضلاب چوب، ۲۵ درصد فاضلاب لیتر، در بار آلی $25KgCOD/m^3.day$، حذف ۹۰ درصد COD گزارش شده است [۵].

در سال ۱۹۹۷ فرانتا[6] و همکاران نشان دادند که با استفاده از سیستم SBR در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنایع کاغذ، بیشترین کارایی حذف COD و بهترین کیفیت ته‌نشینی لجن در زمان واکنش ۱۲ ساعت، عمر لجن ۲۰ روز و زمان خالی شدن ۰/۵ ساعت اتفاق می‌افتد [۶].

۲– مواد، وسایل و روش تحقیق

آزمایشها در یک سیستم هوازی از نوع ناپیوسته (SBR) در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در مدت زمان این تحقیق، ابتدا برای راه‌اندازی سیستم بیولوژیکی مقداری لجن از بخش لجن مازاد تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شهرک قدس تهران به آزمایشگاه منتقل و پس از چندین روز تغذیه با محلول گلوکز با COD برابر ۵۰۰mg/L و مواد مغذی لازم با نسبت C/N/P=۱۰۰/۵/۱، کم‌کم از میزان گلوکز کاسته و بر فاضلاب صنعتی افزوده شد تا این‌که به‌طور کامل

1. Tardif
2. Totla Organic Carbon
3. Schnell
4. Saunamaki
5. Dalntoft
6. Franta

Archive of SID
www.SID.ir

فاضلاب صنعتی رقیق شده با COD برابر ۵۰۰mg/L به سیستم تزریق شد.

فاضلاب‌های مورد استفاده (جدول۱) به‌طور متوسط هر سه هفته یک‌بار از کارخانه‌های فیبر حسن‌رود، چوب و کاغذ چوکا و لینترپاک بهشهر در ظروف ۲۰ لیتری به آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس ارسال و پارامترهای COD، TS[1]، BOD و pH آنها اندازه‌گیری می‌شد. همچنین با توجه به اسیدی یا قلیایی بودن فاضلاب‌ها، برای تنظیم pH برای رشد مناسب میکروارگانیسم‌ها در حدود ۷، خنثی‌سازی توسط اسید سولفوریک و آهک انجام می‌شد.

جدول ۱ مشخصات فاضلاب‌های مورد استفاده در این تحقیق

کارخانه / واحد / پارامتر	فیبر	چوکا		لینترپاک	
	مخلوط	الیاف‌دار	قلیایی	سفیدسازی	پخت و شستشو
COD mg/L	۵۲۰۰	۸۰۰	۹۰۰	۸۰۰	۱۶۰۰۰
BOD_5mg/L	۱۶۰۰	۲۶۰	۲۵۰	۲۵۰	۳۵۰۰
TS mg/L	۱۱۵۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۹۵۰۰
pH	٤	٦/٥	۹/۷	٦/٥	۹/٥

با نگهداری فاضلاب‌ها در آزمایشگاه در دمای ۲۰±۰/۵°C یک مرحله ته‌نشینی انجام می‌شد که موجب پایین آمدن تقریبی میزان ذرات جامد معلق و COD فاضلابهای موردنظر می‌شد. نکته قابل ذکر این است که به‌دلیل تغییرات ناچیز پارامترها، مشکلی از این لحاظ پیش نمی‌آمد.

در مرحله پرورش لجن و تطبیق‌سازی آن، پارامترهای MLSS، MLVSS، COD ورودی، COD خروجی به‌طور روزانه و BOD هر دو هفته یک‌بار اندازه‌گیری و نمونه‌های میکروبی هفته‌ای دو یا سه بار زیر میکروسکوپ بررسی می‌شد.

مقادیر pH، DO[2] و SVI[3] نیز برای بررسی وضعیت سیستم به‌طور روزانه کنترل می‌شد که همواره به‌طور متوسط به‌ترتیب در محدوده مجاز ۷، ۲mg/L و ۱۲۰ قرار داشتند.

پس از راه‌اندازی سیستم با فاضلاب‌های صنعتی موردنظر، برای تعیین ضرایب سینتیکی و کارایی حذف بار آلی، پارامترهای MLSS و COD هر ساعت یک‌بار و MLVSS روزانه و سایر پارامترها مشابه مرحله پرورش لجن اندازه‌گیری می‌شد.

در این دوره هر روز پس از تزریق خوراک و هوادهی به‌مدت ۸ ساعت، هواده‌ها خاموش شده و یک ساعت برای ته‌نشینی به سیستم فرصت داده می‌شد و پس از رسیدن به شرایط تعادل در بار آلی ورودی مورد بررسی، نمونه‌برداریها برای تعیین ضرایب بیوسینتیکی انجام می‌شد.

به‌منظور دستیابی به درجه بالاتر تصفیه‌پذیری بیولوژیکی و با توجه به تحقیقات انجام شده، از راکتورهای پلاستیکی مطابق جدول ۲ استفاده شد.

جدول ۲ مشخصات راکتورهای مورد استفاده در این تحقیق

جنس	پلاستیک
ارتفاع (mm)	۱۷۵
قطر (mm)	۱۲۰
حجم کل (L)	۲/۲۵
حجم مفید (L)	۲
نسبت ارتفاع به قطر	۱/٤٦

1. Total Solids

2. Dissolved Oxygen
3. Sludge Volume Index

Archive of SID

www.SID.ir

مواد مورد استفاده در این تحقیق عبارت است از اسید سولفوریک و آهک تجاری برای تنظیم pH، K_2HPO_4، KH_2PO_4، و اوره برای تنظیم نسبت مناسب C:N:P برابر ۱۰۰:۵:۱، سولفات نقره، سولفات جیوه و دی‌کرومات پتاسیم برای تهیه محلول هضم و کاتالیست برای اندازه‌گیری COD. تجهیزات اصلی مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از:

- اسپکتروفوتومتر ساخت شرکت Perkin Elmer مدل Lambda EZ 150؛
- PH متر ساخت شرکت Metrohm با الکترود دیجیتالی؛
- میکروسکوپ ساخت شرکت Meiji با بزرگنمایی حداکثر ۱۰۰۰ برابر برای مشاهده میکروارگانیسم‌ها؛
- میکروسکوپ ساخت شرکت Zeiss و بزرگنمایی حداکثر ٦٦ برابر برای مشاهده سطح گرانول؛
- دستگاه سانتریفوژ مدل Sigmo به‌منظور جداسازی ذرات معلق کلوییدی از محلول؛
- ترازوی ساخت شرکت Sartorius با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم با حداکثر وزن قابل اندازه‌گیری ۱٦۰ گرم [۲]؛

تمامی آزمایشها براساس کتاب استاندارد روشها انجام شد [۸].

۳- بحث و نتایج

۱- مشاهدات میکروبی

یکی از مهمترین عوامل در تصفیه فاضلابهای صنعتی به روش بیولوژیکی، رشد میکروارگانیسم‌های مورد نیاز برای تصفیه این فاضلاب‌ها است. به‌همین دلیل دو یا سه بار در هفته، لام میکروبی تهیه و در زیر میکروسکوپ مشاهده شد. بررسی میکروبی نشان داد که در مراحل اولیه تطبیق میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب صنعتی، پروتوزواهای موجود در محیط بیشتر از نوع سیلیاته‌های شناور بود که با تطبیق میکروارگانیسم‌ها و رسیدن به شرایط پایدار سیلیاته‌های چسبیده و در نهایت روتیفرها و نماتدها مشاهده شد. همچنین با پایین آمدن SVI، کاهش باکتری‌های رشته‌ای در سیستم مشاهده شد. وجود این تنوع میکروبی حاکی از شرایط مطلوب برای سیستم است. میکروارگانیسم‌هایی نظیر نماتدها[1]، روتیفرها[2] و همچنین پروتوزواهایی مانند سیلیاته نشان‌دهنده تکامل فرایند هستند.

۲- تعیین ضرایب K، μ و Y[3] برای فاضلاب فیبر

ابتدا راکتورها با پساب رقیق شده فیبر - که COD آن برابر ۱۰۰۰mg/L بود - خو گرفتند. سپس لجن راکتورها به‌طور کامل مخلوط و در سه راکتور تقسیم شدند. این‌کار به‌دلیل کشت میکروبی یکسان در همهٔ راکتورها انجام شد تا شرایط برای همه راکتورها یکسان باشد. پس از آن پسابی که از نظر pH و مواد مغذی تنظیم شده بود، به میزان لازم به هر یک از راکتورها وارد شد. لازم است ذکر شود که برای بالا بردن دقت در ضرایب از سه راکتور استفاده شد.

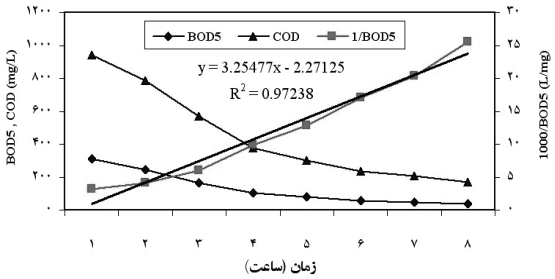
به‌منظور تعیین ضرایب سینتیکی، میزان MLSS اولیه برابر ۳۹٦۰±٤۰ میلی‌گرم بر لیتر، COD و BOD اولیه به‌ترتیب برابر ۱۰۰۵±٦۵ و ۳۳۲±۲۲ میلی‌گرم بر لیتر و میزان COD و BOD خروجی به‌ترتیب برابر ۱٤۱±۱٤ و ۳۲±۱۲ میلی‌گرم بر لیتر بوده و با توجه به ۱۰٪ دورریز روزانه لجن، زمان ماند سلولی برابر ۱۰ روز و نسبت MLVSS/MLSS برابر ۰/۷۳ در نظر گرفته شد.

از راکتورها به‌طور ساعتی برای اندازه‌گیری COD و MLSS نمونه‌برداری شد که نتایج حاصل در نمودارهای ۱

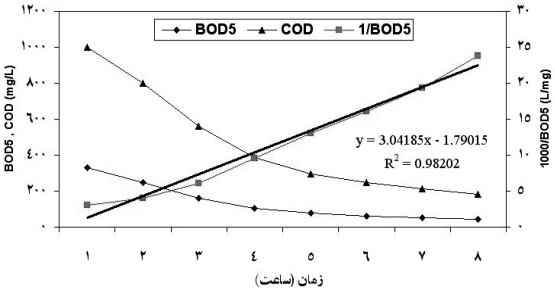
1. Nematodes
2. Rotifers
3. Observed Yield Constant

Archive of SID
www.SID.ir

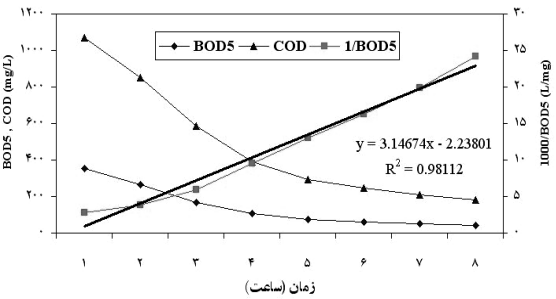
تا ۳ آورده شده است. این نمودارها تغییرات COD، BOD و 1/BOD را در راکتورهای ۱ تا ۳ نشان می‌دهد که از روی این نمودارها، ضریب ثابت سرعت واکنش K محاسبه شده است. لازم است ذکر شود که پس از ۸ ساعت، تغییرات محسوسی در پارامترهای فوق ملاحظه نشده و بدین‌ترتیب زمان ماند ۸ ساعت به‌عنوان شرایط تعادل در نظر گرفته شد.



شکل ۱ تغییرات غلظت محلول COD و BOD_5 در راکتور ۱ برای فیبر در دمای ۲۰±۰/۵°C و pH=۷

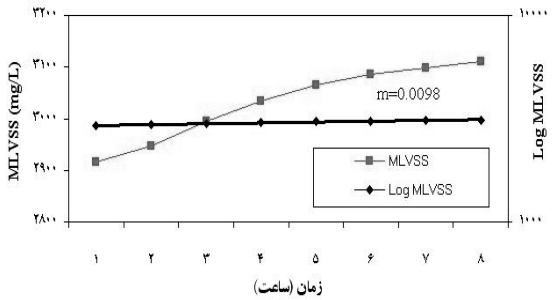


شکل ۲ تغییرات غلظت محلول COD و BOD_5 در راکتور ۲ برای فیبر در دمای ۲۰±۰/۵°C و pH=۷

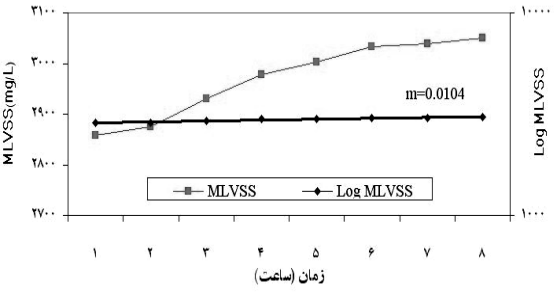


شکل ۳ تغییرات غلظت محلول COD و BOD_5 در راکتور ۳ برای فیبر در دمای ۲۰±۰/۵°C و pH=۷

شکل‌های ٤ تا ٦ منحنی تغییرات MLVSS و لگاریتم MLVSS را نسبت به زمان در راکتورهای بررسی شده نشان می‌دهد که از روی این نمودارها ثابت میزان رشد μ محاسبه شده است. با توجه به این نمودارها متوسط کارایی حذف COD و BOD در راکتورها به‌ترتیب برابر ۸٦ و ۹۱ درصد است. ملاحظه می‌شود که عکس غلظت BOD در زمانهای اندازه‌گیری شده، خطی راست با ضریب همبستگی ۰/۹۸ می‌دهد که ضریب زاویه خط (K) برابر ثابت سرعت واکنش می‌شود که در راکتور های اول تا سوم به‌ترتیب برابر $۳/۰٤\times۱۰^{-۳}$، $۳/۲۵\times۱۰^{-۳}$ و $K_۳=۳/۱۵\times۱۰^{-۳}$ میلی‌گرم در لیتر است. با توجه به ضرایب به‌دست آمده از سه راکتور، متوسط ثابت سرعت واکنش برای پساب فیبر برابر $۳/۱٤٥\times۱۰^{-۳}$(L/mg-hr) است.

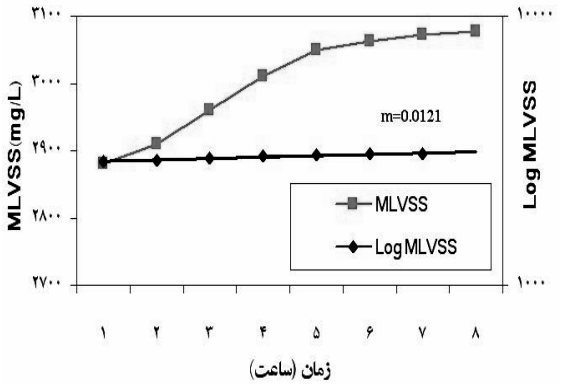


شکل ٤ تغییرات غلظت بیومس در راکتور ۱ برای فیبر در دمای ۲۰±۰/۵°C و pH=۷



شکل ٥ تغییرات غلظت بیومس در راکتور ۲ برای فیبر در دمای ۲۰±۰/۵°C و pH=۷

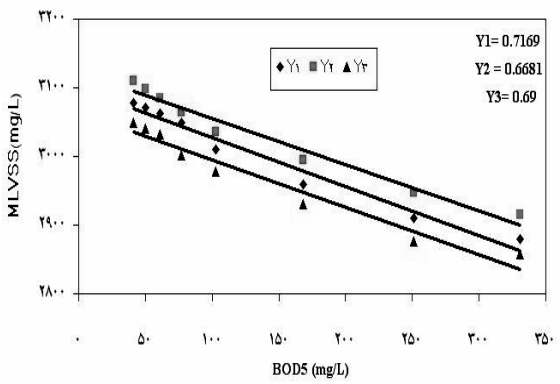
www.SID.ir



شکل ٦ تغییرات غلظت بیومس در راکتور ۳ برای فیبر در دمای ۲۰±۰/۵°C و pH=۷

همچنین از شکلهای بالا با توجه به تغییرات MLVSS نسبت به زمان در محدوده رشد لگاریتمی، ضریب ثابت رشد در هر یک از راکتورها محاسبه می‌شود. ضریب زاویه خطی که از ترسیم منحنی لگاریتم MLVSS نسبت به زمان در محدوده رشد لگاریتمی ایجاد می‌شود برابر μ است. با ضریب همبستگی حدود ۰/۹۷، این پارامتر در راکتور اول برابر μ_1=۰/۰۱۰٤(1/hr)، در راکتور دوم برابر μ_2=۰/۰۱۲۱(1/hr) و در راکتور سوم برابر (1/hr) μ_3=۰/۰۰۹۸ به‌دست می‌آید که با توجه به ضرایب حاصل، ضریب ثابت رشد μ، برای فاضلاب فیبر برابر ۰/۰۱۱±۰/۰۰۱۱(1/hr) خواهد بود.

با توجه به شکل ۷ که تغییرات توده بیولوژیکی فعال را نسبت به میزان اکسیژن خواهی بیولوژیکی BOD، در زمانهای مختلف در هر یک از راکتورها نشان می‌دهد و همچنین با توجه به روابط مذکور، شیب این خط راست برابر بازدهی رشد Y خواهد بود که با ضریب همبستگی ۰/۹۷، این ضریب برای سه راکتور به‌ترتیب Y_1=۰/۷۲، Y_2=۰/٦۷ و Y_3=۰/٦۹ میلی‌گرم MLVSS بر میلی‌گرم BOD به‌دست می‌آید. در نتیجه با توجه به این اعداد، بازده رشد برای فاضلاب فیبر برابر (mg MLVSS/mg BOD) ۰/٦۹۲۵±۰/۰۲٤٤ خواهد بود.



شکل ۷ کارایی رشد در سه راکتور برای فیبر

۳- تعیین ضرایب K، μ و Y برای فاضلاب لینترپاک

از کارخانه لینترپاک دو پساب مختلف به دانشگاه ارسال می‌شد که یکی مربوط به فاضلاب مرحله سفیدسازی (L_1) و دیگری مربوط به مرحله پخت و شستشو بود. از این دو پساب، پساب‌هایی با نسبت اختلاط مختلف (ستون اول جدول۳) تهیه شد.

به‌منظور تعیین ضرایب سینتیکی میزان COD و BOD و MLSS اولیه در هر یک از حالتهای بالا برابر ۵۰±۹۷۰، ۱٦±۲۹۲، ۱۹۵±٤۱۷۵ میلی‌گرم بر لیتر و همچنین با توجه به ۱۰٪ دورریز لجن، زمان ماند سلولی برابر ۱۰ روز بوده است.

نمودارهای مربوط به محاسبات ضرایب سینتیکی مانند قسمت قبل است. در این قسمت ضرایب به‌دست آمده از نمودارها با ضریب همبستگی حدود ۰/۹۳ در جدول ۳ و میزان حذف بار آلی در جدول ٤ آورده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳ پارامترهای سینتیکی برای فاضلاب لینترپاک

نوع فاضلاب	K(L/mg.hr)	μ(۱/hr)	Y(mgMLVSS/mgBOD)
L۱	۱/۹۵×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۱۷	۷/۳×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۱۶	۰/۴۸۹ ± ۰/۰۱۳۴
L۱/۲۰	۱/۴۲×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۱۲	۵/۲۹×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۲۴	۰/۳۹ ± ۰/۰۲۱۵
L۱/۱۵	۱/۰۷×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۱	۴/۳۶×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۱	۰/۳۷۹ ± ۰/۰۰۴
L۱/۱۰	۰/۸۱۵×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۰۳	۳/۰۳×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۲	۰/۲۹۱ ± ۰/۰۲۱
L۱/۵	۰/۷۰۵×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۰۵	۲×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۰۳	۰/۲۲۹ ± ۰/۰۰۹۶

جدول ٤ در صد حذف بار آلی برای فاضلاب لینترپاک

نوع فاضلاب	MLVSS/MLSS	BOD	COD
L۱	۰/۷	۸۵	۷۸
L۱/۲۰	۰/٦۹	۸۰	۷۱
L۱/۱۵	۰/٦۸۵	۷۹	٦۹
L۱/۱۰	۰/٦۵	۷٤	٦۰
L۱/۵	۰/٦۳	۷۲	۵۵

همان‌طور که در این جدول‌ها مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت فاضلاب مرحله پخت و شستشو در سیستم، ضرایب K، μ، Y، متوسط درصد حذف BOD و COD و همچنین نسبت MLVSS/MLSS کاهش یافته است. این کاهش به این دلیل است که رنگ فاضلاب مرحله پخت و شستشو کاملاً سیاه بوده و حاوی ترکیبهای لیگنین و ترکیبات آلی حلقوی مختلفی است که در سیستم‌های متداول بیولوژیکی به‌راحتی قابل تجزیه بیولوژیکی نیست. در نتیجه، هر چه درصد فاضلاب مرحله پخت و شستشو در سیستم بالاتر رود، کاهش عملکرد میکروارگانیسم‌ها و پایین آمدن کارایی سیستم نتیجه خواهد شد.

٤- تعیین ضرایب K، μ و Y برای فاضلاب چوکا

از کارخانه صنایع چوب و کاغذ چوکا دو فاضلاب الیاف‌دار و قلیایی به‌طور جداگانه به دانشگاه ارسال و ضرایب K، μ و Y برای سه حالت مختلف فاضلاب الیاف‌دار، قلیایی و مخلوط (نصف فاضلاب الیاف‌دار و نصف فاضلاب قلیایی) بررسی شد. برای تعیین ضرایب سینتیکی، مقدار MLSS اولیه در هر یک از راکتورها در حالتهای مذکور برابر ۲۲۰±٤۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و مقدار COD و BOD اولیه به‌ترتیب برابر ۷۵±۸۹۵ و ۱۷±۲٦۸ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. با توجه به خروج ۱۰٪ از لجن در هر روز، عمر لجن برابر ۱۰ روز در نظر گرفته شد. مطابق محاسبات ضرایب سینتیکی مانند قسمتهای قبل، ضرایب به‌دست آمده از نمودارها با ضریب همبستگی حدود ۰/۹۵ در جدول ۵ و میزان حذف بار آلی در جدول ٦ آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵ پارامترهای سینتیکی برای فاضلاب چوکا

نوع فاضلاب	Y(mgMLVSS/mgBOD)	μ(۱/hr)	K(L/mg.hr)
الیاف‌دار	۰/۵۳۶ ± ۰/۰۱۵	۸/۵×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۴	۲/۲۲×۱۰$^{-۳}$±/۰۰۰۱۱
قلیایی	۰/۳۵ ± ۰/۰۱۳۶	۳/۹×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۲	۱/۰۱×۱۰$^{-۳}$±/۰۰۰۰۳
مخلوط	۰/۴۰۷ ± ۰/۰۲۲	۵/۰۳×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۲	۱/۳۴×۱۰$^{-۳}$±۰/۰۰۰۱

جدول ٦ درصد حذف بار آلی برای فاضلاب چوکا

نوع فاضلاب	$\frac{MLVSS}{MLSS}$	متوسط درصد حذف BOD	متوسط درصد حذف COD
الیاف‌دار	۰/۷۱۵	۸۸	۷۹
قلیایی	۰/٦٦	۷۲	٦۵
مخلوط	۰/٦۹	۸۰	۷۱

۵- مقایسه پساب کارخانه‌های فیبر حسن‌رود، چوب و کاغذ چوکا و لینترپاک بهشهر

با وجود شباهت ترکیبها در پساب این سه کارخانه و همجنس بودن آنها در ترکیبهای شیمیایی (هالوسلولزها، لیگنین، اسیدهای رزینی و چرب، تانین و غیره) ضرایب سینتیکی مختلفی برای آنها به‌دست آمد.

از مقایسه این ضرایب پیدا است که:

لینتر، K چوکا K > فیبر K

لینتر Y > چوکا Y > فیبر Y

لینتر μ > چوکا μ > فیبر μ

این نشان می‌دهد که ترکیبهای حلقوی آلی و ترکیبهای که به‌راحتی از نظر بیولوژیکی قابل تجزیه نیستند در فاضلاب کارخانه لینترپاک بهشهر بیشتر از کارخانه صنایع چوب و کاغذ چوکا و در کارخانه چوکا بیشتر از فیبر حسن‌رود است.

٦- تأثیر غلظت مواد جامد معلق مایع

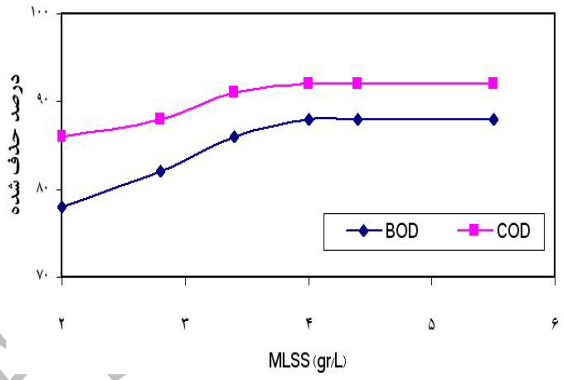
این بررسی برای فاضلاب فیبر و در شش راکتور انجام شد، به‌نحوی‌که در ابتدا با افزایش بار آلی، میزان MLSS به حد مورد آزمایش می‌رسید و سپس بار آلی یکسانی تحت MLSSهای مورد آزمایش به راکتورها اعمال می‌شد. در این بررسی میزان COD و BOD اولیه در راکتورها به‌ترتیب برابر ۲۵±٦۸۵ و ۱۰±۲۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و غلظت MLSS اولیه از ۲۰۰۰ تا ۵۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر متغیر بوده است. همچنین با توجه به خروج ۱۰ ٪ از لجن در هر روز، زمان ماند سلولی لجن برابر ۱۰ روز در نظر گرفته شد.

نتایج این بررسی نشان داد که افزایش غلظت MLSS از ۲۰۰۰ تا ٤٤۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، موجب افزایش ثابت سرعت واکنش و درصد حذف BOD و COD خواهد شد. با افزایش بیشتر غلظت MLSS به بیشتر از ٤٤۰۰

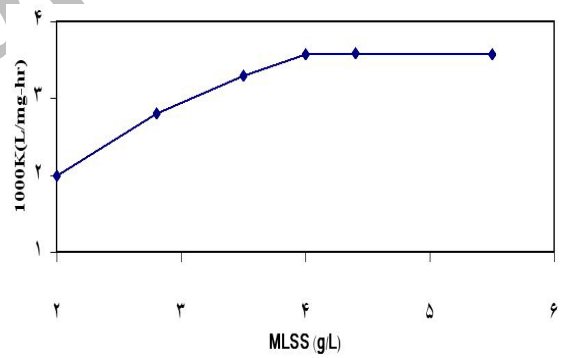
Archive of SID
www.SID.ir

میلی‌گرم بر لیتر، تغییری در ثابت سرعت واکنش و همچنین درصد حذف BOD و COD مشاهده نشد.

نحوه تغییرات درصد حذف BOD و COD در شکل ۸ و تغییرات ثابت سرعت واکنش با تغییرات MLSS در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۸ تغییرات درصد حذف بار آلی با تغییرات MLSS فیبر

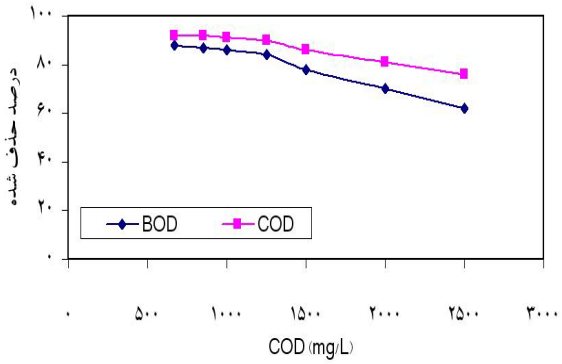


شکل ۹ تغییرات ثابت سرعت با تغییرات MLSS فیبر

در این شکلها، افزایش ثابت سرعت واکنش و همچنین کارایی حذف مواد آلی با افزایش غلظت MLSS را می‌توان چنین توجیه کرد که سوبسترا یا مواد قابل تجزیه بیولوژیکی در داخل فاضلاب محدود است. هر چه MLSS بیشتر باشد سبب استفاده بیشتر از مواد آلی می‌شود و در نتیجه مواد آلی بیشتری در زمان کمتری تجزیه می‌شوند. وقتی MLSS از حد خاصی بالاتر می‌رود، نمودارهای ثابت سرعت واکنش و کارایی حذف مواد آلی تقریباً ثابت می‌مانند. این حالت را می‌توان چنین توجیه کرد که سوبسترا یا مواد غذایی موجود به‌راحتی و در شرایط معمول قابل تجزیه بیولوژیکی نیست یا سایر مواد غذایی به اندازه کافی در دسترس میکروارگانیسم‌ها قرار نمی‌گیرد. در قسمت خطی شکل ۹ یعنی تا جایی که غلظت MLSS در حدود ۴۰۰۰mg/L است، ثابت سرعت واکنش و MLSS را می‌توان توسط معادله $K=8*10^{-7}(MLSS)+0/0005$ به‌هم مربوط کرد. همچنین شکل ۸ نشان می دهد که در این نقطه (MLSS=۴۰۰۰mg/L) نسبت BOD/COD به کمترین مقدار خود رسیده و بعد از آن تقریباً ثابت باقی می‌ماند.

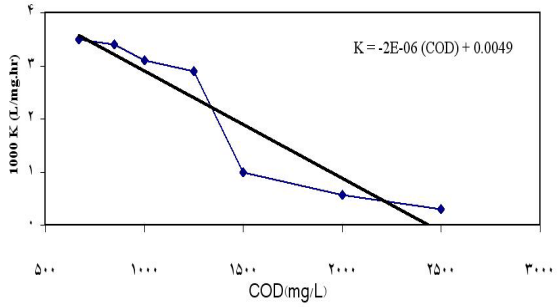
۷- تأثیر غلظت بار آلودگی

این بررسی برای فاضلاب فیبر با MLSS اولیه برابر ۴۰۰۰±۱۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، زمان ماند سلولی لجن برابر ۱۰ روز و غلظت بار آلی یا COD وارد شده به راکتورها از ۶۷۰ تا ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر انجام شد. تغییرات ثابت سرعت واکنش و کارایی حذف مواد آلی به‌ترتیب در شکلهای ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.



شکل ۱۰ تغییرات کارایی حذف با تغییرات بار آلی برای فیبر

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۱ تغییرات کارایی حذف با تغییرات بار آلی برای فیبر

کاهش ثابت سرعت واکنش و کارایی حذف مواد آلی ممکن است به‌دلیل وجود ترکیباتی مانند اسیدهای آلی، لیگنین و فنل در پساب صنایع سلولزی باشد. به بیان دیگر نمودارهای فوق نشان می‌دهد که با افزایش غلظت COD، رشد میکروارگانیسم‌ها کاهش یافته و در نتیجه تجزیه بیولوژیکی کمتری انجام شده است. در ضمن پیش‌بینی می‌شود که با افزاش بار آلی، تجزیه مواد آلی سخت‌تر شده و در نهایت به‌دلیل نبود غذای مناسب برای میکروارگانیسم‌ها، فعالیت بیولوژیکی مختل شود.

همچنین از این نمودارها می‌توان پیشنهاد کرد که اگر بار آلی بیشتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، بهتر است به تعداد راکتورهای SBR به‌ازای هر ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، یک راکتور اضافه شود. به‌عنوان مثال اگر بار آلی ورودی برابر ۲۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، دو راکتور SBR و برای بار آلی ورودی ٤۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سه راکتور متوالی پیشنهاد می‌شود تا در هر یک، حداقل ۵۰ درصد از بار آلی کاهش یافته و در نهایت به خروجی قابل قبولی برسد.

٤- نتیجه‌گیری

- بین ثابت سرعت واکنش سه پساب این کارخانه‌ها اختلاف زیادی وجود دارد.

- از مقایسه ضرایب سینتیکی به‌دست آمده برای سه پساب مشخص شد که فاضلاب فیبر انزلی حسن‌رود راحت‌تر از فاضلاب صنایع چوب و کاغذ چوکا و فاضلاب چوکا راحت‌تر از فاضلاب کارخانه لینترپاک بهشهر مورد تجزیه بیولوژیکی قرار می‌گیرند.

- بررسی تغییرات MLSS نشان داد که افزایش MLSS تا مقدار حدود ٤٤۰۰mg/L، موجب افزایش ثابت سرعت واکنش و همچنین کارایی حذف بار آلی خواهد شد، اما با افزایش بیشتر آن، تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در ثابت سرعت واکنش و کارایی حذف بار آلی مشاهده نشد.

- بررسی تغییرات COD نشان داد که تغییرات ثابت سرعت واکنش و کارایی حذف بار آلی تا COD حدود ۱۲۵۰mg/L ناچیز است اما با افزایش بیشتر COD، به‌دلیل بالا رفتن غلظت اسیدهای آلی، لیگنین، فنل و غیره، کاهش قابل ملاحظه‌ای در ثابت سرعت واکنش و کارایی حذف بار آلی اتفاق می‌افتد.

- متوسط کارایی حذف COD و BOD برای فاضلاب فیبر به‌ترتیب برابر ۸٦ و ۹۱ درصد و نسبت MLVSS/MLSS برابر ۰/۷۳ به‌دست آمد.

- متوسط کارایی حذف COD و BOD برای فاضلاب صنایع چوب وکاغذ چوکا به‌ترتیب برابر ۷۱ و ۸۰ درصد و نسبت MLVSS/MLSS برابر ۰/٦۹ به‌دست آمد.

- متوسط کارایی حذف COD و BOD برای فاضلاب لینترپاک بهشهر به‌ترتیب برابر ٦۰ و ۷٤ درصد و نسبت MLVSS/MLSS برابر ۰/٦۵ به‌دست آمد.

۵- تشکر و قدردانی

ضمن تشکر فراوان از سرکار خانم دکتر بیتا آیتی که در ویرایش این مقاله کمال همکاری را داشته‌اند، از مدیریت، مسؤولان و کارشناسان محترم محیط‌زیست کارخانه فیبر

Archive of SID
www.SID.ir

حسن‌رود، لینترپاک بهشهر و مجتمع صنایع چوب و کاغذ چوکا به‌خاطر همکاری و مساعدت آنان تشکر می‌نمائیم.

٦- منابع

[۱] عربشاهی، سیدحمید، ۱۳۷٦، «تعیین شاخصهای سینتیکی در تصفیه بیولوژیکی پسابهای صنعتی حاوی آمونیاک با غلظت بالا»، مجله آب و محیط‌زیست، شماره بیست و ششم، ص. ۳۵.

[۲] پیشگر، فرانک، ۱۳۸۳، «تعیین ضرایب بیوسینتیکی برای فاضلاب صنایع سلولزی ایران به روش هوازی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

[3] Schnell A. et. al., 1996, "Chemical Characterization & Biotrata of Malette Qubec Inc. Integrated APMP/MFC Paper Mill Effluent", 5th IAWQ Symposiom on Forest Industry Wastewater, pp. 39-56.

[4] Saunamaki R., 1996, "Activated Sludge Plants in Finland", 5th IAWQ Symposiom on Forest Industry Wastewater, pp. 251-258.

[5] Dalntoft E. and Thulin P., 1997, "Use of the Kaldness Suspended Carrier Process in Treatment of Wastewater from the Forest Industry", WS&T, Vol. 35 , No. 2-3, pp. 123-130.

[6] Franta J. R. and Wildrer P. A., 1997, "Biological Treatment of Paper Wastewater by Sequencing Batch Reactor Technology to Reduce Residual Organics", WS&T, Vol. 35, No. 1, pp. 129-136 .

[7] Tardif O., Hall E. R., 1997, "Alternatives for Treating Recirculated Newsprint Whitewater at High Temperatures "Proceeding of the 1996 5th IAWQ international symposiom on Forest Industry Wastewaters (Vancouver), WS&T, Vol. 35, No. 2-3, pp. 57-65.

[8] APHA; AWWA; WEF; "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater"; 1995; 19th Edition; Washington D. C.; USA.

Archive of SID

www.SID.ir