Archive of SID

استفاده از پوکه‌های معدنی به عنوان ساپورت بیوفیلم در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

آزاد کاوسی* مهدی برقعی**

(دریافت ۸۳/۹/۱۰ پذیرش ۸٤/۱/۱٦)

چکیده

در سال‌های اخیر کاربرد سیستم بیوفیلمی از جمله راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR)، در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌های شهری وصنعتی توسعه یافته است. در این مطالعه، از پوکه های معدنی بسیار سبک به عنوان ساپورت بیوفیلم در راکتوری که دارای ویژگی‌های یک راکتور هوازی بود استفاده شد. فاضلاب ورودی به راکتور ،محلول ساخته شده از ملاس قند همراه با مواد مغذی افزودنی بود که خوراک مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها محسوب می‌گردد. آکنه‌هائی که ۷۰ درصد حجم راکتور را پر نموده بودند، از نوع پوکه‌های معدنی با ویژگی‌های خاص که مصارف صنعتی دارند انتخاب شدند. عملکرد آکنه‌ها، به عنوان سطح فراهم شده برای رشد میکروارگانیسم‌های بیوفیلمی، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج به دست آمده مشخص می‌سازد که راکتور MBBR فوق، قابلیت حذف ۸۲ درصد از COD محلول تحت بار ورودی Kg COD/m^2 ۱/۷۶۶ را داراست و در صورت کاهش زمان ماند از ۲۴ ساعت به ۱۶ ساعت و در پی آن ۱۲ ساعت ،حذفCOD از ۸۲ درصد به ۷۶ درصد و به ۶۶ درصد کاهش می‌یابد. هم‌چنین مشخص شد که از کل راندمان حذف مواد کربنه، ۷۸/۲ درصد مربوط به بیوفیلم و ۲۱/۸ درصد مربوط به میکروارگانیسم‌های شناور است.

واژه‌های کلیدی: *اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، لیکا، فیلم میکروارگانیسم، بیومیکروارگانیسم، راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک*

*کارشناس ارشد مهندسي عمران- مهندسي محيط زيست، دانشگاه صنعتي شريف
**دانشيار دانشكده مهندسي شيمي و نفت ، دانشگاه صنعتي شريف

The Use of Light Expanded Clay Aggregates as a Biological Support in Wastewater Treatment

Azad Kavoosi, Mehdi Borgheei***

Abstract

The Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) has been recently used in industrial and municipal wastewater treatment. MBBR is a kind of Bio-Filter with light packed bed. In this study, a mineral packing bed called Leca, a light expanded clay aggregate, was used as a biological support in the treatment of wastewater. The main objective of this study was to evaluate packed media for preparation of suitable beds for biological activity. Seventy percent of the reactor volume was filled with the packing media. Synthetic wastewater was made using sugar beet factory effluent. The influent COD in the range of 800 to 3200 mg/L was injected into the reactor at retention times of 12.16 and 24 hours. The results show that MBBR reactor is capable of removing 82% of soluble COD at a loading rate of 1.766 kg COD/m^2. However, it was found that reducing the retention time from 24 h to 16 h and 12 h, reduces COD removal efficiency from 82% to 76% and 66%, respectively. It was also found that 78.2% of the overall COD removal is due to biofilm activity and the rest is related to the activity of the submerged microorganism.

***Key Words*:** *COD, Leca, Biological growth, Moving Bed Biofilm Reactors*

*Grad. Student of Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology
** Professor Associate of Chemical Engineering, Sharif University of Technology

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

از جمله روش هایی که برای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صنعتی، به خصوص در سال های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک می باشند [۱].

در سال ۱۹۸۷ فرایند بستر متحرک kaldnes که به راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک موسوم است، توسط یک شرکت نروژی به نام Kaldnes Miljoteknologi با همکاری مرکز تحقیقات SINTEF توسعه یافت. این فرایند که اساس آن تشکیل بیوفیلم می‌باشد، ترکیبی از یک فرایند لجن فعال و سیستم بیوفیلمی است [۲]. آکنه‌های مورد استفاده در این سیستم‌ها که سطح مورد نیاز به منظور رشد توده‌های بیولوژیکی را فراهم می‌آورند، از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و تأثیر مستقیمی بر عملکرد فرایند تصفیه دارند. استفاده از پوکه‌های معدنی لیکا[1] به منظور ایجاد بستر رشد توده‌های بیولوژیکی، برای اولین بار در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است و با توجه به آن که آکنه‌های مورد استفاده در داخل کشور عمدتاً از جنس پلی‌اتیلن با قیمت بسیار بالا می‌باشند، که نسبت به دانه‌های لیکا، از سطح ویژه کمتر، دانسیته بالاتر و راندمان حذفی کمتری برخوردارند؛ در نتیجه استفاده از این آکنه‌ها می‌تواند دستاوردی نو در این بخش از تصفیه به شمار آید.

در دسته‌بندی این سیستم‌ها مشخصه‌های مختلفی مورد نظر قرار می‌گیرد؛ این سیستم‌ها را براساس جهت جریان، جنس آکنه‌ها، تعداد لایه‌های بستر، فشار، سرعت، دبی و ... تقسیم‌بندی می‌کنند. همان طور که گفته شد یکی از عوامل مهم در طراحی و کاربری سیستم‌های مختلف تصفیه فاضلاب، وجود بسترهای مناسب در فرایندهای گوناگون است.

در دسته بندی راکتورهای بیوفیلمی، مشخصه های مختلفی مورد نظر قرار می گیرد. جهت جریان، جنس آکنه ها، تعداد لایه های بستر، سرعت جریان و ... از جمله عواملی هستند که بر عملکرد سیستم مؤثر می باشند.

بر اساس این تحقیق موارد زیر مورد بررسی قرار گرفته است :

۱- بررسی امکان استفاده از پوکه های معدنی لیکا به عنوان ساپورت بیوفیلم در بستر متحرک

۲- بررسی اثر زمان ماند در غلظت های مختلف فاضلاب در راندمان حذف، با استفاده از این نوع آکنه

۳- ارائه مدلی مناسب برای بررسی و طراحی راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک (MBBR) با استفاده از این نوع آکنه

۲- مواد و روش

با توجه به آن که هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی استفاده از پوکه معدنی در راکتورهای با بستر متحرک می‌باشد، لذا از یک دستگاه پایلوت متشکل از :

راکتور آزمایشگاهی پرشده از آکنه ها، سیستم تزریق خوراک و سیستم هوادهی برای مطالعه فوق استفاده گردید.

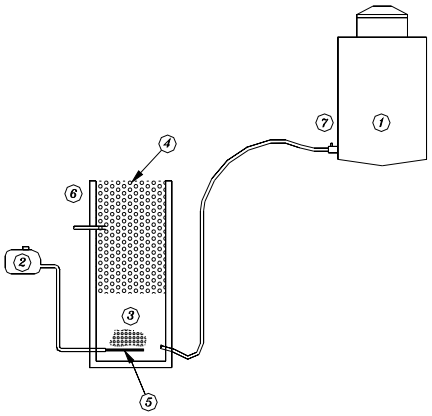
۲-۱- مشخصات راکتور

پایلوتی از جنس شیشه طبق شکل ۱ و با مشخصات جدول ۱ ساخته شد. برای هوادهی مناسب از پمپ هوا به ظرفیت ٤/٥ لیتر بر دقیقه که قابلیت تنظیم نرخ هوادهی را نیز دارا می باشد، استفاده گردید.

[1] Light Expanded Clay Aggregate Catalogue (LECA)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- پایلوت مورد استفاده به همراه ارتباط اجزای آن

جدول ۱- مشخصات پایلوت مورد استفاده در تحقیق [۳]

نوع راکتور	حجم مفید لیتر	عمق آب سانتی متر	ارتفاع سانتی متر	عرض سانتی متر	طول سانتی متر
بستر متحرک بالارو هوازی	۲۲	٥٥	٦۰	۲۰	۲۰

۲-۲- مشخصات پوکه ها

برای ساپورت بیوفیلم، از پوکه‌های معدنی که اصطلاحاً، لیکا نامیده می‌شود استفاده شد [٤]. دانه‌های لیکا از انبساط نوع خاصی از خاک رس در کوره های گردان و افقی در حرارت حدود ۱۲۰۰-۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید و دارای مجموعه‌ای از ویژگی‌های وزن کم، هدایت حرارتی پایین، افت صوتی مناسب، مقاومت و پایداری است. این دانه‌ها، ذراتی مدور و سبک می‌باشند که در حرارت حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تولید می شوند. وزن واحد دانه‌های خشک لیکا به صورت فله و برای دانه‌بندی‌های مختلف در جدول ۲ ارائه گردیده است. اصلی‌ترین عامل در سبکی دانه‌های لیکا وجود هوا در بین و داخل دانه‌هاست که آنها را به صورت توپی از هوا در می آورد. این هوا برحسب دانه بندی پوکه بین ۷۳ الی ۸۸ درصد فضای کل را اشغال می کند. جدول ۲ خواص دانه‌بندی لیکا را نشان می‌دهد. این دانه ها با سطح ویژه بسیار بالا در حدود ٥۲٥ m^2/m^3، محیط مناسبی برای رشد میکروارگانیسم‌ها در حجمی محدود می‌باشند. شکل ۲ نمایی از پوکه‌های مورد استفاده در این تحقیق است.

ویژگی‌های خاص پوکه های لیکا عبارت اند از[٤] :

۱- تخلخل بسیار زیاد

۲- ثبات ساختاری و در پی آن عدم قابلیت فشردگی

۳- طول عمر و دوام زیاد

٤- توانایی نگهداری آب به مدت زمان زیاد و فراهم نمودن شرایط ایده آل تماس فاضلاب و بیوفیلم

٥- حمل و نقل آسان

٦- وزن بسیار کم

۷- عایق حرارتی

۸- مقاومت در یخ زدگی و فراهم آوردن شرایط رشد در فصل سرما

۹- تراکم ناپذیری تحت فشار ثابت و دائمی

۱۰- فساد ناپذیری

۱۱- مقاومت در برابر ترکیبات اسیدی و بازی که خود عامل اساسی مقاومت این پوکه ها در برابر شوک های ناشی از ورود فاضلاب های ناخواسته به شبکه می باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۳- راه اندازی راکتور [۵]

برای راه اندازی راکتور، از لجن تصفیه خانه شهرک اکباتان استفاده شد. راکتور تا ۵۰ درصد حجم از این لجن پر و سپس داخل راکتور آب ریخته شد و هوادهی به راکتور آغاز شد.

توسط پمپ پایلوت(راکتور)، میزان هوادهی سیستم به گونه‌ای تنظیم گردید که میزان اکسیژن محلول در حدود ۲ تا ٤ میلی گرم اکسیژن در لیتر باشد. اکسیژن محلول به طور مداوم کنترل شد تا هیچ‌گاه میزان آن از ۲ میلی گرم در لیتر کمتر نباشد. راکتور به صورت ناپیوسته مورد بهره برداری قرار گرفت تا بیوفیلم به صورت مناسب رشد کند و راکتور برای راه‌اندازی پیوسته آماده گردد. به منظور تهیه خوراک ورودی به راکتور از ملاس (حاصل از چغندرقند) استفاده شد؛ زیرا برای سازگار گشتن میکروارگانیسم ها با این فاضلاب، استفاده از ملاس مناسب‌ترین گزینه برای راه اندازی سیستم می باشد. مشخصات ملاس مورد استفاده در پروژه، به منظور محاسبه غلظت خوراک ورودی به صورت دقیق‌تر در جدول ۳ ذکر گردیده است.

به منظور تأمین مواد مغذی و شرایط بهینه برای رشد میکروارگانیسم ها، به همراه ملاس از فسفات آمونیوم و اوره نیز به عنوان تأمین کنندگان فسفر و نیتروژن استفاده شد. معیار استفاده از نیتروژن و فسفر دست‌یابی به نسبت COD:N:P برابر ۱۰۰:۵:۱ می‌باشد که در عمل برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم های رشته‌ای از میزان فسفات آمونیوم بیشتری استفاده گردید [٦ و ۷].

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- خواص دانه بندی لیکا (مشخصات پوکه های شرکت لیکا) [٤]

دانه بندی لیکا، میلی‌متر	۱۰-۲۰	۳-۱۰	۰-۳	۰-۲۵
وزن واحد دانه های خشک لیکا،کیلوگرم بر متر مکعب	۲۸۰-۳۸۰	۳۳۰-٤۳۰	٤۳۰-۵۳۰	۳۳۰-۵۳۰

شکل ۲- نمائی از پوکه های مورد استفاده در این تحقیق

خوراک ورودی با غلظت در حدود ۲۵۰ میلی گرم در لیتر تزریق شده و در طول مدت یک ماه به مقدار ۸۰۰ ، ۱۲۰۰ و ۱٦۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش می یابد. لازم به ذکر است که نتایج براساس آزمایش COD خوراک ورودی و مایع داخل راکتور می‌باشد که ۳۰ روز متوالی به طول می انجامد.

هنگامی که غلظت خوراک ورودی از ۲۵۰ به ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت، غلظت پساب خروجی راکتور به حداکثر رسید. این افزایش زیاد در غلظت راکتور به علت افزایش ناگهانی بارآلی می‌باشد. با افزایش غلظت بار آلی ورودی از ۸۰۰ به ۱۲۰۰ میلی گرم بر لیتر تغییر محسوسی در غلظت درون راکتور دیده نمی‌شود؛ که این امر بیانگر سازگار شدن میکروارگانیسم ها با محیط می‌باشد (شکل۳). پس از گذشت ۱۰ روز، بیوفیلم محسوسی روی پوکه ها مشاهده شد که موجب لزجی محسوس پوکه گردید. با افزایش خوراک دهی در انتهای هفته دوم، بر روی آکنه‌ها بیوفیلم کامل تشکیل شد و MLSS[1] محتویات راکتور تا حدود ۳۰۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یافت. از این زمان به بعد، افزایش خوراک، مقدار COD را در داخل راکتورها چندان تغییر نداد. لازم به ذکر است که این آزمایش‌ها بر روی مایع خروجی از دستگاه سانتریفوژ که کاملاً صاف، شده بود و هیچ جزء بیولوژیکی غیر قابل تجزیه‌ای در آن وجود نداشت انجام گرفت و تمامی آزمایش‌ها نیز بر مبنای COD صورت گرفت.

دما، pH و اکسیژن محلول در طی این ۳۰ روز اندازه گیری می گردید که مقدار دما $^{\circ}$C ۲۰، pH برابر ۷/۲-۸/۱ و مقدار DO برابر ٦-۳/۵ بود.

۲-٤- بهره برداری از راکتور

بعد از گذشت دوره batch و راه اندازی ، راکتور آماده فعالیت و بارگیری پیوسته شده و فاضلاب مصنوعی تهیه شده از ملاس، به همراه مواد مغذی (شامل اوره و فسفات آمونیوم) با غلظت های متفاوت هر چند روز یک‌بار در داخل تانک مخصوص تهیه می شد و براساس زمان ماند و با دبی معینی وارد راکتور می گردید.

غلظت فاضلاب در مخزن تزریق (تانک خوراک) و غلظت خروجی از راکتور با انجام نمونه گیری، مورد بررسی قرار می‌گرفت. لازم به ذکر است که نمونه خروجی، پس از ته نشینی در بشکه ته نشینی و صاف شدن مایع و پس از قرار گرفتن در داخل دستگاه سانتریفوژ نیز مورد بررسی قرار می گرفت تا بتوان از میزان کمّی ذرات جامد معلق، قبل از ته نشینی نیز اطلاعات ثبت نمود. به منظور تصفیه مناسب بار آلی می بایستی میکروارگانیسم ها با فاضلاب ورودی سازگار شوند؛ از این رو در این مرحله، زمان نمونه گیری چند برابر زمان ماند هیدرولیکی

[1] Mixed Liquor Suspended Solids

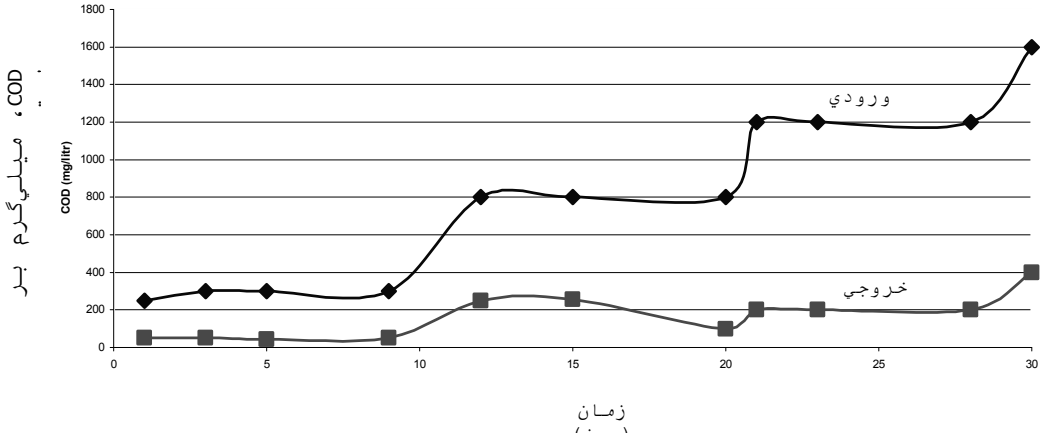
www.SID.ir

Archive of SID

تعیین شد. در ابتدا تغییراتی روزانه در نمونه برداری مشاهده نمی‌شد و زمان

جدول ۳- مشخصات ملاس استفاده شده برمبنای گرم بر لیترملاس

COD	ازت کل	کلرور	پروتئین	منیزیم	سدیم	پتاسیم	خاکستر
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
۷۵۰-۷۹۰	۱۵/۲۵	۱۱۵	٦۵/٤	۱۵۹/۲	۱۰	۲٤	۸۳/۵



شکل ۳- عملکرد راکتور در دوره batch و در حین راه اندازی

نمونه‌برداری در حدود ٤-۲ روز انتخاب گردید. پس از این مدت، آزمایش‌ها در سه زمان ماند ۱۲، ۱٦ و ۲٤ ساعت انجام شد و در هر دوره غلظت خوراک در دامنه ۸۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی گرم بر لیتر و بالعکس تغییر داده می شد؛ در هر حالت که در حدود یک‌ماه به طول می انجامید، خروجی راکتورها مورد بررسی قرار گرفته و راندمان حذف تعیین می گردید. در زمان ماند ۲٤ ساعت، غلظت خوراک ورودی از ۱٦۰۰ میلی گرم بر لیتر به ۳۲۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش داده شده و سپس دفعتاً به مقدار ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر کاهش داده شد تا بدین ترتیب اثرات شوک های وارده و تغییرات ناگهانی بار نیز تا حدی مورد بررسی قرار گیرد. سپس در ادامه و در زمان ماند ۱٦ ساعت، غلظت خوراک از مقدار ۸۰۰ به ۳۲۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش یافته و مجدداً و به طور منظم غلظت خوراک از ۳۲۰۰ به ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر و زمان ماند نیز به۱۲ ساعت کاهش داده شد. در زمان ماند ۱۲ ساعت سیستم دچار شوکی از نظر زمان ماند گردید که پیامدهای آن ثبت گردیده است.

۳- نتایج و بحث آزمایش‌ها

در مرحله اول زمان ماند ۲٤ ساعت در نظر گرفته شد و COD فاضلاب از مقدار ۱٦۰۰ تا ۳۲۰۰ میلی گرم بر لیتر افزایش و ناگهان به مقدار ۸۰۰ میلی گرم بر لیتر کاهش یافت. با توجه به زمان ماند، دبی راکتور در ۰/۹۲ لیتر بر ساعت تنظیم شد. به منظور تأمین خوراک ورودی راکتور و با توجه به مصرف شبانه روزی ۲۲ لیتر در این زمان ماند، بشکه ۱۰۰ لیتری خوراک هر ٤ روز می‌باید پر و آماده می‌شد و به منظور حصول اطمینان از وجود هد لازم برای تزریق یک‌نواخت، بشکه هر ۲ روز یک‌بار شارژ می‌شد تا همواره ارتفاع آب، هد لازم برای تزریق ثقلی را تأمین نماید. نمونه گیری از خروجی راکتور به صورت روزانه به عمل آمده و در جدول ثبت می‌گردید (جدول٤).

www.SID.ir

Archive of SID

به آسانی و بر طبق انتظار مشاهده شد که با افزایش زمان ماند، راندمان حذف در هر خوراک به طور محسوسی افزایش می‌یابد. با توجه به آن که در دبی ثابت فاضلاب، افزایش زمان ماند نیاز به افزایش حجم راکتور و مخازن داشته و در پی آن موجب صرف هزینه های بیشتر می گردد، لذا می باید زمان ماندی را که از نظر اقتصادی دارای توجیه بوده و از نظر راندمان حذف نیز با فاضلاب ورودی و استانداردهای خروجی سازگاری داشته باشد، تعیین نمود.

شکل ٤ مقایسه ای از راندمان حذف نهایی (پس از ثابت شدن راندمان در راکتور) بر حسب غلظت خوراک را نشان می‌دهد. مطابق شکل ٤ با افزایش زمان ماند، راندمان نیز افزایش می یابد.

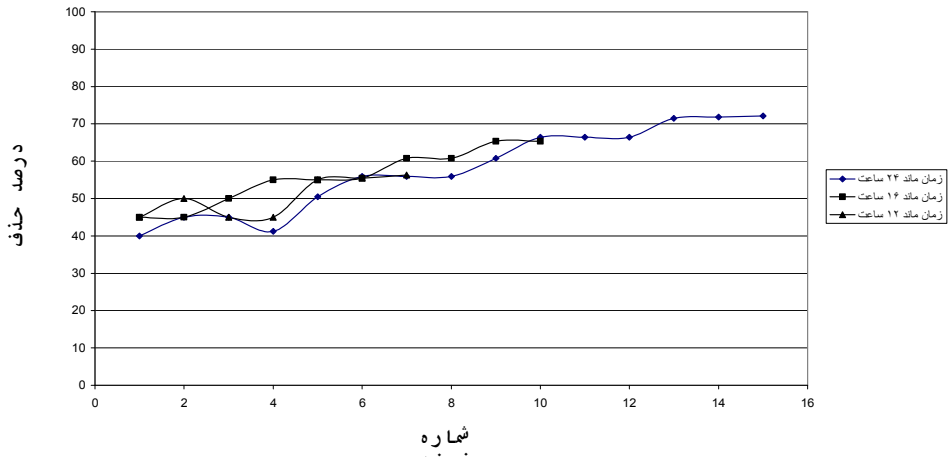
شکل ٥ نیز مقایسه ای از راندمان حذف نهایی (پس از ثابت شدن راندمان در راکتور) بر حسب زمان ماند را نشان می‌دهد. مطابق شکل ٥ با افزایش غلظت خوراک، راندمان نیز افزایش می یابد.

آنچه مسلم است، برای افزایش زمان ماند نیاز به افزایش حجم راکتور و صرف هزینه های بیشتر می باشد. بدین ترتیب می باید با توجه به استانداردهای خروجی، زمان ماند بهینه را تعیین نمود. شکل ٦ نشان می‌دهد که با افزایش زمان ماند راندمان نیز افزایش می‌یابد.

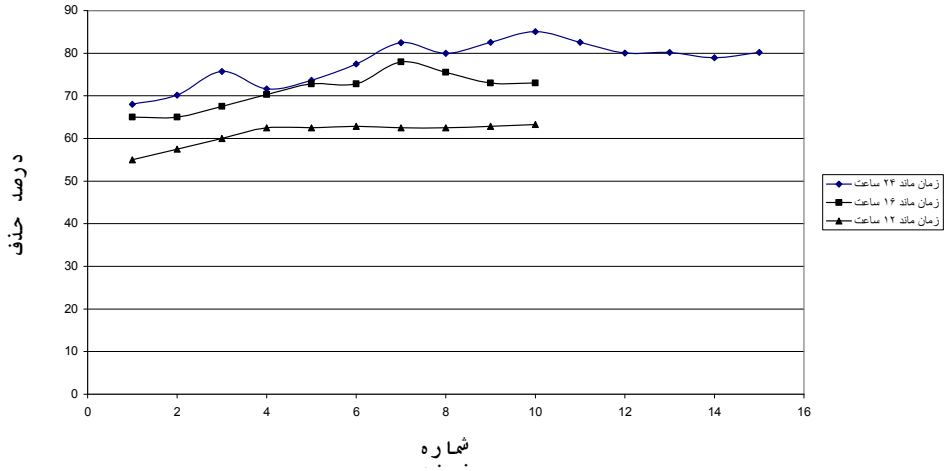
۳-۱- شوک هیدرولیکی

برای این منظور زمان ماند درCOD با غلظت ۳۲۰۰ میلی گرم بر لیتر، از ۱۲ ساعت به ٦ ساعت کاهش داده شد. قبل از اعمال

الف- مقایسه راندمان حذف در خوراک ۸۰۰ میلی‌گرم بر لیتر

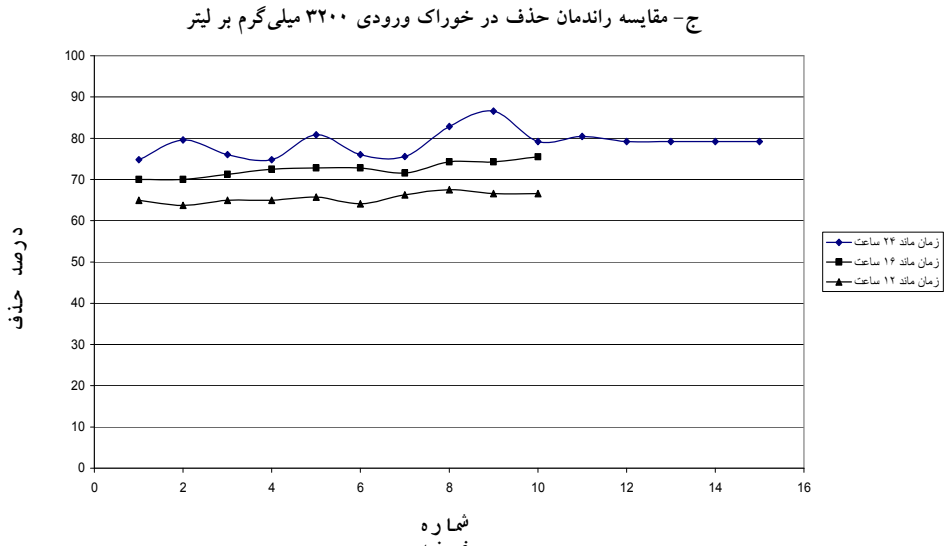


ب- مقایسه راندمان حذف در خوراک ورودی ۱٦۰۰ میلی‌گرم بر لیتر



www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٤- مقایسه راندمان بر حسب خوراک‌های ورودی

شوک به سیستم، COD خروجی از سیستم ۱۰۷۰ میلی گرم بر لیتر بود. پس از شوک، COD خروجی افزایش یافت. مقدار ماکزیمم دیده شده در خروجی ۱۹۲٤ میلی گرم بر لیتر بود. شکل ۷ تغییرات غلظت COD را قبل و بعد از شوک دادن تا رسیدن به پایداری نشان می دهد. سیستم پس از حدود ٦ برابر زمان ماند تقریباً به حالت پایداری اولیه بازگشت.

۳-۲- راندمان حذف هر یک از جرم های میکروبی در راکتور

برای این منظور در زمان ماند ۱۲ ساعت، خوراکی با COD برابر ۲۰۰۰ میلی گرم بر لیتر به راکتور داده شد و پس از گذشت سه برابر زمان ماند، از خروجی نمونه گیری شد که COD خروجی ۳۰۰ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. در مرحله بعد، کل مایع موجود در راکتور که همان سوسپانسیون لجن است، از سیستم خارج شده و راکتور از خوراک COD با غلظت ٦۰ میلی گرم بر لیتر پر گردید و مجددا در سیکل عملیاتی قرار گرفت. به این ترتیب کل جرم میکروبی معلق از سیستم خارج گشته و فقط جرم میکروبی چسبیده باقی ماند. پس از دو روز، از خروجی نمونه گیری شد که غلظت COD برابر ٦۷۰ میلی گرم بر لیتر محاسبه شد. براساس این دو آزمایش، مشخص گردید در صورتی که جرم میکروبی معلق و چسبیده هر دو در سیستم باشند، درصد حذف ۸۵ درصد و در مورد جرم میکروبی چسبیده ٦٦/۵ درصد خواهد بود. در صورتی که در آزمایش دوم و زمانی که جرم میکروبی معلق از سیستم خارج گشته است، راندمان حذف جرم میکروبی چسبیده را به صورت

$$\frac{\text{راندمان حذف بعد از خروج جرم میکروبی معلق}}{\text{راندمان حذف کل سیستم}} = \frac{٦٦/۵٪}{۸۵٪} = ۷۸/۲۳٪$$

تعریف نماییم، در این صورت مقدار راندمان حذف جرم میکروبی معلق نیز به صورت زیر قابل تخمین می‌باشد :

۱۰۰-۷۸/۲۳=۲۱/۷۷٪

به این ترتیب، راندمان حذف هر یک از دو جرم میکروبی چسبیده و معلق در تصفیه بیولوژیکی به ترتیب برابر ۷۸/۲۳٪ و ۲۱/۷٪ خواهد بود. مسلم است هر چه بیوفیلم ایجادی نازک‌تر و فعال‌تر بوده و برای رشد بیوفیلم سطح ویژه بیشتری موجود باشد، سهم جرم میکروبی چسبیده در تجزیه مواد آلی بیشتر خواهد بود.

www.SID.ir

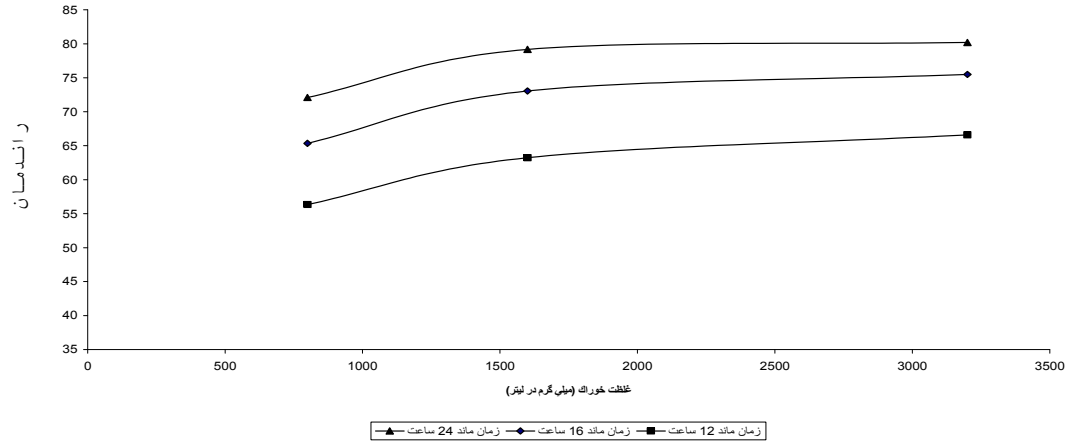
Archive of SID

جدول ٤- جدول ثبت اطلاعات روزانه آزمایش [٨]

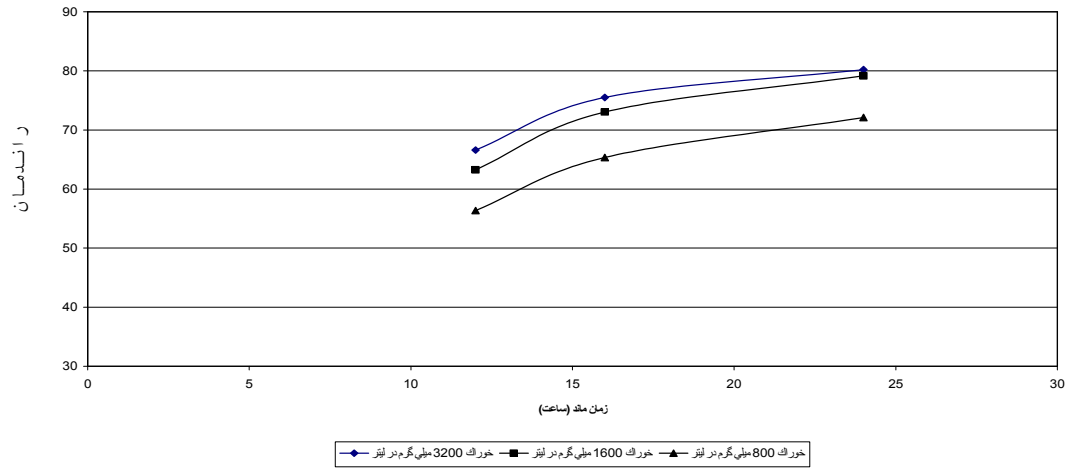
شماره ردیف	تاریخ آزمایش	N	A	B	COD	pH	DO
١	٨٣/٢/٢٦	٠/٠٩٨	٤/٨	٣/٤	٥٤٨/٨	٧/٥	٤/٢
٢	٨٣/٣/٢	٠/٠٩٨	٤/٨	٣/١	٦٦٦/٤	٧/٨	٤/٦

A = سولفات آمونیوم مصرفی برای شاهد، میلی‌لیتر
B= سولفات آمونیوم مصرفی برای نمونه، میلی لیتر
N= نرمالیته فروسولفات آمونیوم

$$COD(mg/L) = \frac{(A-B)*N*8000}{\text{حجم نمونه بر حسب میلی‌لیتر}}$$



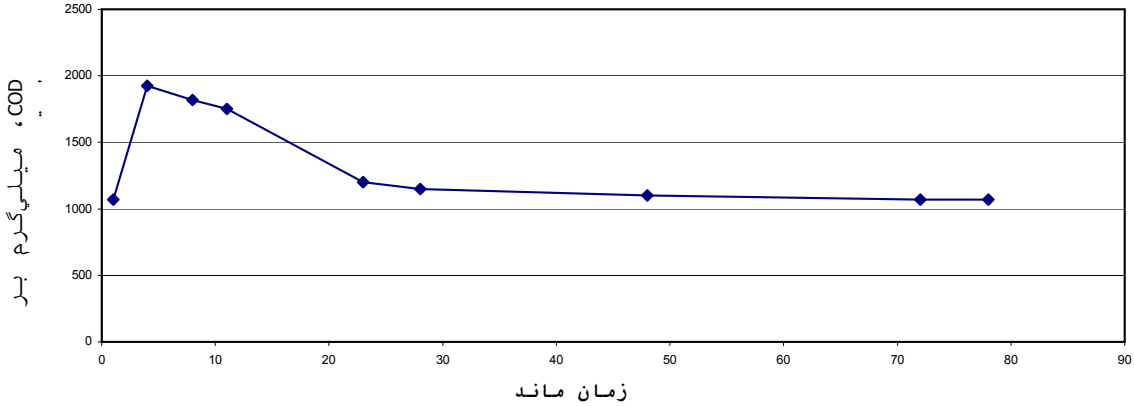
شکل ٥- راندمان حذف بر حسب تغییرات غلظت خوراک



شکل ٦- راندمان حذف بر حسب تغییرات زمان ماند

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷- تغییرات غلظت COD برحسب زمان قبل و بعد از شوک هیدرولیکی

۳-۳- سینتیک هیدرولیکی در راکتورهای بیوفیلمی [۹]

مدل های مختلفی در زمینه بررسی راکتورهای بیوفیلمی موجود است. از مدل های بسیار کارآمد و مؤثر برای بیان سیستم های بیوفیلمی، مدل Stover-Kincannon [۱۰] است که به صورت زیر بیان می گردد

$$\frac{ds}{dt} = \frac{U_{max} QS_i / A}{K_B + QS_i / A} \qquad (۱)$$

با نوشتن موازنهٔ جرم در سیستم، رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$\frac{ds}{dt} = \frac{Q}{V}(S_i - S_e) \qquad (۲)$$

با مساوی قراردادن طرف های راست روابط ۱ و ۲، خواهیم داشت:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{V}(S_i - S_e) = \frac{U_{max} QS_i / A}{K_B + QS_i / A} \qquad (۳)$$

$\frac{dS}{dt}$ = نرخ مصرف خوراک در مدت زمان t (mg/L.s)

Q = نرخ جریان در سیستم (دبی) (m^3/s)

S_i = خوراک ورودی به سیستم

S_e = خوراک خروجی از سیستم

K_B = پارامتری مربوط به چگونگی رشد توده‌های بیولوژیکی (mg/L.s)

U_{max}= بیشترین نرخ مصرف خوراک (mg/L.s)

رابطه ۳ اولین بار برای راکتورهای RBC استفاده شده بود؛ با این فرض که در سیستم RBC مقدار ذرات بیولوژیکی و یا MLSS معلق در درون راکتور در مقابل جامدات بیولوژیکی چسبیده قابل صرف‌نظر باشد. براساس تحقیقات انجام شده توسط Kristoffersen و Broch-Due ذرات معلق بیولوژیکی در راکتورهای فیلمی با بستر متحرک سهم زیادی از جامدات بیولوژیکی در راکتور را تشکیل می دهند از این رو فرض اخیر صادق نیست. بنابراین در رابطه ۳ به جای پارامتر سطح (A) از پارامتر حجم (V) استفاده می شود و خواهیم داشت

(٤)

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{V}(S_i - S_e) = \frac{U_{max} QS_i / V}{K_B + QS_i / V}$$

نتایج تحقیقات Kincannon-Stover(1982) و Henze and Harremoes (1983) نشان می‌دهد که سرعت حذف COD (بازدهی حذف) بیش از آن که به غلظت مواد آلی و یا، بار هیدرولیکی بستگی داشته باشد؛ به بار آلی اعمال شده وابسته است.

با خطی سازی رابطه ٤ رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$(\frac{dS}{dt})^{-1} = \frac{V}{Q(S_i - S_e)} = \frac{K_B}{U_{max}}(\frac{V}{QS_i}) + \frac{1}{U_{max}} \qquad (۵)$$

با رسم عبارت $\frac{V}{Q(S_i - S_e)}$، (معکوس سرعت حذف‌موادآلی) برحسب $\frac{V}{QS_i}$، (عکس مقدار بار آلی کل)، خط راستی حاصل خواهد شد. عرض از مبدأ و شیب این خط به ترتیب مقادیر U_{Max} و K_B می باشند. با نوشتن موازنهٔ جرم برای کل راکتور، حجم و هم‌چنین غلظت مواد آلی خروجی از راکتور قابل محاسبه است.

ا جایگزینی رابطه ٤ توسط رابطهٔ ۲ داریم

www.SID.ir

Archive of SID

$$Qs_i = Qs_e \left[\frac{U_{max}\left(\frac{Qs_i}{V}\right)}{KB + \left(\frac{Qs_i}{V}\right)} \right] V \qquad (٦)$$

با حل این معادله روابط زیر حاصل می گردند :

(٧)

$$V = \frac{QS_i}{\left(\frac{U_{max} S_i}{S_i - S_e}\right) - K_B}$$

(٨)

$$S_e = S_i - \frac{U_{max} S_i}{K_B + QS_i / V}$$

روابط ٧ و ٨ نشان می دهند کـه معادلـهٔ اصـلاح شـده استوور- کین کانن[1] معادلهٔ خوبی برای طراحی این گونه از راکتورها محسوب می شوند؛ چرا که ایـن معادلـه قابلیـت محاسبه حجم و غلظت خروجـی از راکتورهـا را دارا مـی باشد.

به منظور بررسی حذف مـواد آلـی در ایـن پـروژه کـه نوعی راکتور بیـوفیلمی بـا بـستر متحـرک (MBBR) اسـت، معادلهٔ اصلاح شده استوور- کین کانن مـورد مطالعـه قـرار گرفت. بدین منظور از اطلاعات آزمایشگاهی که در نتیجـه کار بر روی این نوع راکتور حاصل گردیـده بـود، اسـتفاده شد.

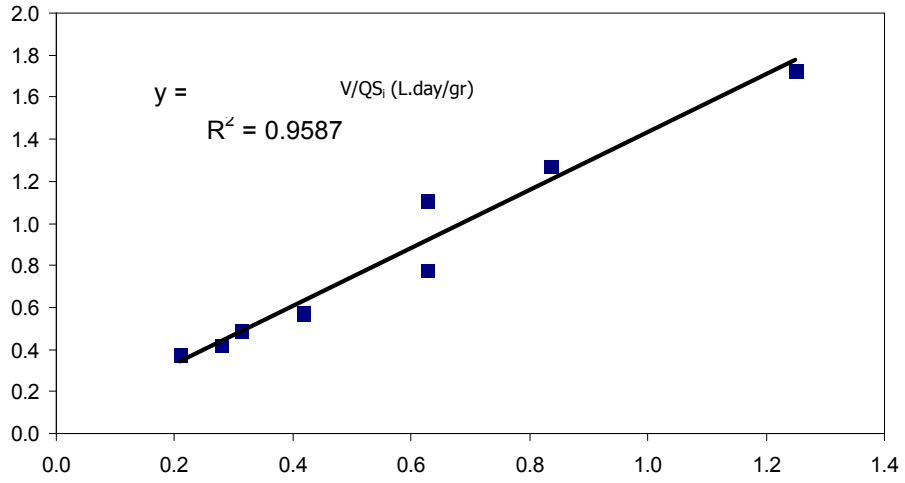
با استفاده از این مدل و هم‌چنین رسم نمودن اطلاعات در دسترس در شکل همان‌طور که دیده می شود، R^2 معادله رگرسیون برابر با ٠/٩٦می باشد.

واضح است که اطلاعات حاصله، با این معادله به میزان خوبی تقریب زده می شوند. بر این اساس، روابـط حاصـل بـــرای محاسبـهٔ

[1] Stover-Kincannon

جدول ٥- نتایج مدل ریاضی اصلاح شده استوور- کین کانن براساس اطلاعات آزمایشگاهی

زمان ماند (روز)	Si (mg/L)	Se (mg/L)	S_i-S_e (mg/L)	V / Q (Si-Se) (L.day/gr)	V / QSi (L.day/gr)
١	٨٠٠	٢٣/٢	٠/٥٧٧	١/٧٣٤	١/٢٥٠
١	١٦٠٠	٣١٦/٨	١/٢٨٣	٠/٧٧٩	٠/٦٢٥
١	٢٤٠٠	٦٦٦/٤	R^2=0.96		٠/٤١٧
٠/ ٦٦٧	٨٠٠	٢٧٧/٢	٠/٥٢٣	١/٢٧٥	٠/٨٣٣
٠/ ٦٦٧	١٦٠٠	٤٣١/٢	١/١٦٩	٠/٥٧٠	٠/٤١٧
٠/ ٦٦٧	٢٤٠٠	٨٢٣/٢	١/٥٧٧	٠/٤٢٣	٠/٢٧٨
٠/ ٥	٨٠٠	٣٤٩/٢	٠/٤٥١	١/١٠٩	٠/٦٢٥
٠/ ٥	١٦٠٠	٥٨٨	١/٠١٢	٠/٤٩٤	٠/٣١٣
٠/ ٥	٢٤٠٠	١٠٦٩/٢	١/٣٣١	٠/٣٧٦	٠/٢٠٨



www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۸- رسم مدل بر حسب داده های جمع آوری شده

حجم و غلظت خروجی از راکتورها به صورت زیراند:

$$V = \frac{QS_i}{\frac{18.05S_i}{S_i - S_e} - 24.86} \quad (۹)$$

$$S_e = S_i - \frac{18.05S_i}{24.86 + Qs_i/V} \quad (۱۰)$$

بنابراین می‌توان گفت که این مدل برای طراحی راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک مدل مناسب است.

٤- نتیجه گیری

٤-١- در این پروژه با وجود استفاده از یک نوع آکنه ارزان قیمت و شبیه سازی شده داخلی با خواص ذکر شده ، کارایی نسبتاً مناسب مشاهده گردید و میانگین راندمان حذف در حدود ۸۰/۲ درصد بدست آمد.

٤-٢- پس از اعمال شوک هیدرولیکی، پایداری نسبتاً مناسبی مشاهده می‌شد و سیستم پس از ٦ برابر زمان ماندی که در آن کار می کرد، به حالت پایدار اولیه بازگشت.

٤-٣- در طول این پروژه و با تغییرات بار ورودی و زمان ماندهای اعمال شده بر سیستم، مشاهده شد با کاهش زمان ماند، غلظت خروجی افزایش و راندمان حذف COD کاهش می‌یابد. با افزایش غلظت خوراک ورودی و در زمان ماندهای ثابت، توان حذف COD در سیستم بالا می رود و این نکته بیانگر توانایی بالاتر راکتور در حذف غلظت های بالاتری از فاضلاب می باشد.

٤-٤- با توجه به این که تأمین زمان ماند هیدرولیکی بالاتر در سیستم، و در پی آن افزایش راندمان حذف، نیاز به حجم بالاتری برای فیلتر و نگهداری ساپورت ها داشته و این خود موجب افزایش هزینه های اقتصادی و سرمایه گذاری بالاتری می گردد، با تغییرات پارامترهای فوق سعی گردیده است تا زمان ماندی را که هم از لحاظ حذف با استانداردهای مورد نظر مطابقت داشته باشد، و هم از لحاظ اقتصادی توجیه پذیر باشد، به عنوان زمان ماند ایده آل معرفی شود.

٤-٥- با افزایش غلظت خوراک ورودی، رشد بیوفیلم و مصرف اکسیژن بیشتر می گردد. در نتیجه DO درون راکتور کاهش می یابد. با توجه به این که ظرفیت هوادهی سیستم به گونه ای است که توان جبران این کاهش را دارد، با افزایش دبی هوا می توان از افت راندمان جلوگیری نمود.

٤-٦- با توجه به این که سهم رشد چسبیده در این سیستم (بر روی آکنه ها)، نسبت به رشد معلق، در حدود ۷۸/۲۳ درصد به۷ /۲۱ درصد است، مشاهده می‌شود که این پوکه ها به منظور ساپورت برای رشد بیوفیلم مناسب می باشند.

٤-٧- راه‌اندازی کامل سیستم بین ۳ تا ٤ هفته به طول می‌انجامد.

٤-٨- با توجه به سهم بالای رشد میکروبی چسبیده نسبت به رشد معلق و بالارو بودن جریان، برای دست‌یابی به بازدهی مناسب نیاز به برگشت لجن در سیستم مشاهده نگردید که این خود از مزایای استفاده از این روش تصفیه و بیانگر قابلیت آکنه هاست که موجب کاهش هزینه های پمپاژ می گردد.

٤-٩- با گذشت زمان و در پی افزایش پیشروی پروژه، سیستم مرتباً پایدارتر شده و در مدت زمانی کوتاه‌تری به حالت پایداری می رسید.

٤-١٠- مدل اصلاح شده کین کانن و استوور برای بررسی راکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک، مدل بسیار مناسبی می باشد و با این مدل می توان میزان حجم و یا غلظت خروجی از راکتور را محاسبه نمود.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- مراجع

۱- برقعی، م.، (۱۳۸۱). "تصفیه فاضلاب صنعتی." انتشارات دانشگاه صنعتی شریف.

2.Metcalf & Eddy., (2003). "*Wastewater Engineering-Treatment and Reuse* ." Fourth Edition.

۳- سهرابی، م.، (۱۳۷٤)." طراحی رآکتورهای شیمیایی." انتشارات دانشگاه امیرکبیر.

4.Degremont Biofiltration catalogue

۵- برقعی، م.، حسینی، س، ح.، (۱۳۸۰). "بررسی اثر بازدارندگی فنل در فاضلاب‌های صنعتی با استفاده از رآکتورهای بیوفیلمی با بستر متحرک، پایان نامه کارشناسی ارشد." دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی شریف.

٦- گاگیک بدلیانس قلی کندی.، (۱۳۸۱). "طراحی فرایندهای فیزیکی،شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه فاضلاب." انتشارات صنعت آب و برق.

7.Schroeder, Edward D. (1977)."*Water and Wastewater Treatment.* " McGraw Hill,Inc.

8. Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, 18th Edition

9.Markj, Hammer. " Modeling of Organic Removal in a Moving Bed Biofilm Reactor." Vol9.No.1

10. Hand book of Wastewater Treatment, Arnold S. Vernick, Elwood C. Walker, eds., Marsel. Dekker, Inc. Paramas, Newjersi, USA, 90-92.

www.SID.ir