

## بررسی عملکرد سیستم های هوادهی (لجن فعال) با بستر ثابت در تصفیه فاضلاب های با بار آلودگی بالا

امیر حسام حسنی<sup>۱</sup>

امیر حسین جاوید<sup>۱</sup>

علی ترابیان<sup>۲</sup>

سید مرتضی حسینیان<sup>۳</sup>

امیر حیات بخش<sup>۴\*</sup>

Amir\_hayatbakhsh\_cee@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۸۵/۳/۳

تاریخ دریافت: ۸۴/۱۱/۱۲

این تحقیق به منظور بررسی عملکرد سیستم های هوادهی (لجن فعال) با بستر ثابت در تصفیه فاضلاب های با بار آلودگی بالا و با استفاده از راکتور هوازی با جریان رو به پایین و رو به بالا صورت گرفته است. جهت انجام تحقیق از یک مخزن پلاکسی گلاس شامل سه قسمت به ترتیب راکتور هوازی با جریان روبه پایین، راکتور هوازی با جریان رو به بالا و واحد ته نشینی ثقلی استفاده شده درون راکتورهای هوازی تعدادی مدیا از جنس PVC، نوع CROSS FLOW و با سطح ویژه ۸۱/۳۴ متر مربع بر متر مکعب بستر قرار داده شد و عملکرد سیستم در غلظت های COD ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر و در بارهای آلی ۱۶/۳۲، ۳۳/۳۶، ۵۰/۴۰، ۳۴/۵۶، ۴۴/۶۴، ۱۰۱/۵۲، ۶۳/۱۲، ۱۲۵/۲۸ و ۱۸۸/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز مورد بررسی قرار گرفت.

پس از انجام مراحل تحقیق مشاهده گردید که در بارهای آلی ۱۶/۳۲، ۳۳/۳۶ و ۵۰/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت های COD معادل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر، مقادیر متوسط بازده حذف COD به ترتیب ۹۶/۱۱، ۸۷/۹۳، ۶۹/۶۷٪، در بارهای آلی ۳۴/۵۶، ۴۴/۶۴ و ۱۰۱/۵۲ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت های COD ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقادیر متوسط بازده حذف COD به ترتیب ۹۳/۶۷، ۸۳/۶۷، ۶۱/۶۷٪ و در بارهای آلی ۱۲۵/۲۸، ۱۸۸/۴۰ و ۱۸۸/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت های COD ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقادیر متوسط بازده حذف COD به ترتیب

۱- استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

۲- دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران

۳- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، مهندسین مشاور فریادک.

۴- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی\* (مسئول مکاتبات)

برابر ۸۹/۱۷، ۷۷/۳۳، ۵۲/۸۳٪ بوده است که در بارهای آلی ۳۴/۵۶، ۴۴/۶۴ و ۱۰۱/۵۲ گرم COD بر متر مربع در روز مطلوب ترین مقادیر درصد حذف COD حاصل شد و در بار آلی ۱۸۸/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت COD معادل ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر با بازده حذف COD معادل ۵۲/۸۳٪ می توان از این سیستم به عنوان سیستم پیش تصفیه فاضلاب استفاده نمود. همچنین حداکثر بار آلی وارد شده به سیستم معادل ۱۸۸/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز و در غلظت COD معادل ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر تعیین شد.

بررسی های انجام شده در مورد توانایی لاینر رسی در حذف طبیعی آلاینده های مهم و نگران کننده شیرابه محل دفن کهریزک نشان می دهد که هرچند این نوع لاینر در حذف فسفات و تا حد زیادی سولفات کارایی دارد ولی حذف آلاینده هایی نظیر COD، BOD، نیترات، بی کربنات و کلراید یا بسیار کم صورت می گیرد و یا اصلاً اتفاق نمی افتد.

## واژه های کلیدی: لجن فعال، بستر ثابت، فاضلاب های با بار آلودگی بالا.

### مقدمه

میکروبی زیاد، در تصفیه بسیاری از فاضلاب های با بار آلودگی بالا قابل کاربرد است (۲).

از مزایای این سیستم به طور عمده می توان به غلظت زیاد توده میکروبی، امکان استفاده از بسترهای ارزان قیمت، توان تصفیه جریان های زیاد فاضلاب، امکان تصفیه موثر فاضلاب های با غلظت مواد آلی کم، امکان حذف موثر مواد آلی کند تجزیه شونده، سهولت راهبری، عدم نیاز به برگشت لجن، نیاز به انرژی کمتر در مقایسه با سیستم های متداول لجن فعال و صافی چکنده و کیفیت بهتر و تثبیت شده تر لجن اشاره نمود (۴) که با توجه به مزایای این سیستم و کاربرد آن در تصفیه فاضلاب های شهری و صنعتی به منظور بررسی رفتار و عملکرد سیستم و ایجاد اطلاعات پایه جهت طراحی و گسترش کاربری آن در تصفیه فاضلاب با بار آلودگی بالا، تحقیق حاضر انجام گرفته است.

### روش تحقیق

تحقیق حاضر در مقیاس آزمایشگاهی و مطالعات پایلوت انجام گرفت و مشخصات پایلوت مورد استفاده عبارت است از مخزن پلاکسی گلاس به شکل مکعب مستطیل به طول ۵۱/۳۰، عرض ۳۳/۰۰ و ارتفاع ۵۹/۵ سانتی متر که به سه قسمت تقسیم گردید و طول هر بخش ۱۵/۷۰ سانتی متر و عرض هر بخش که در امتداد طول پایلوت بوده ۳۱/۰۰ سانتی

عواملی نظیر افزایش جمعیت، پیشرفت های فن آوری و انقلاب صنعتی و در نهایت بهای اندکی که انسان برای محیط زیست به علت رایگان بودن آن قایل است، در تشدید و ویرانی محیط زیست موثر است. به یقین می توان گفت که مهم ترین بخش آلودگی محیط زیست که تاثیر سریع و بی درنگ آن جوامع بشری را تحت تاثیر خود قرار داده، آلودگی آب، تصفیه آب های آلوده و تامین آب سالم و قابل شرب است. این مسأله اهمیت بخش آب و فاضلاب در علم محیط زیست را بیش از پیش نمایان می سازد. مشکل آلوده شدن آب به وسیله فاضلاب وقتی بیشتر آشکار می شود که بدانیم هر متر مکعب فاضلاب بسته به کیفیت آن می تواند ۱۰ الی ۴۰ متر مکعب آب سالم را آلوده سازد (۱).

امروزه روش های مشتمل بر فرآیندهای بیولوژیکی هوازی به طور گسترده ای در حذف مواد آلی از فاضلاب ها مورد استفاده قرار می گیرند و در این بین، فرآیند لجن فعال از قدیمی ترین و متداول ترین روش های تصفیه فاضلاب در دنیا به شمار می رود که کاربرد بسیار گسترده ای در عرصه تصفیه بیولوژیکی فاضلاب دارد. سیستم لجن فعال با بستر ثابت یکی از انواع فرآیند های تصفیه هوازی رشد چسبیده است که ترکیبی از دو سیستم لجن فعال و صافی چکنده بوده و در مخزن هوادهی آن میکروارگانیسم ها بر روی یک محیط یا بستر ثابت با سطوح زیاد رشد می کنند و به دلیل پایداری و زمان ماند

متر و ارتفاع در بخش اول و دوم ۵۹/۵ سانتی متر و در بخش سوم ۵۳/۷۰ سانتی متر می باشد. بخش اول "راکتور هوازی با جریان رو به پایین" و بخش دوم "راکتور هوازی با جریان رو به بالا" را تشکیل می دهد. این دو بخش توسط یک تیغه (بفل) از یکدیگر جدا شده اند به گونه ای که تیغه مذکور به دو دیواره طولی پایلوت متصل شده و از پایین به اندازه ۱۰/۵۰ سانتی متر فاصله دارد و ارتفاع آن معادل ۴۹/۰۰ سانتی متر است. هدف از انتخاب راکتور دو مرحله ای افزایش بازده سیستم به علت هوادهی در دو مرحله می باشد. بخش سوم پایلوت عبارت است از واحد ته نشینی ثقلی که در ناحیه کف دارای شیب ملایمی در حدود ۳٪ به سمت لوله تخلیه لجن می باشد که این بخش نیز توسط تیغه (بفل) سراسری (یکپارچه) از بخش دوم مجزا شده است و ارتفاع آن ۵۳/۷۰ سانتی متر می باشد. در داخل راکتورها از مدیا یا آکنه به عنوان بستر ثابت برای رشد میکروارگانیسم ها بر روی آن ها استفاده شده است. مدیاهای موردنظر از جنس پی وی سی (P.V.C) و به صورت ورق هایی به طول ۲۸، عرض ۲۰/۷۵ و ضخامت ۰/۵ سانتی متر می باشد که سینوس هایی به ارتفاع ۱/۵ سانتی متر دارند و در هر دو بخش (راکتورهای هوازی با جریان رو به پایین و رو به بالا) تعداد ۲۱ عدد مدیا وجود دارد که این ۲۱ عدد مدیا در دو ردیف بر روی یکدیگر قرار دارند و در ردیف پایین تعداد ۱۱ عدد صفحه پی وی سی که از ناحیه ارتفاع سینوس ها به یکدیگر متصل شده اند و در ردیف بالا ۱۰ عدد از این صفحات که از ناحیه ارتفاع سینوس ها به یکدیگر متصل می باشند، وجود دارد.

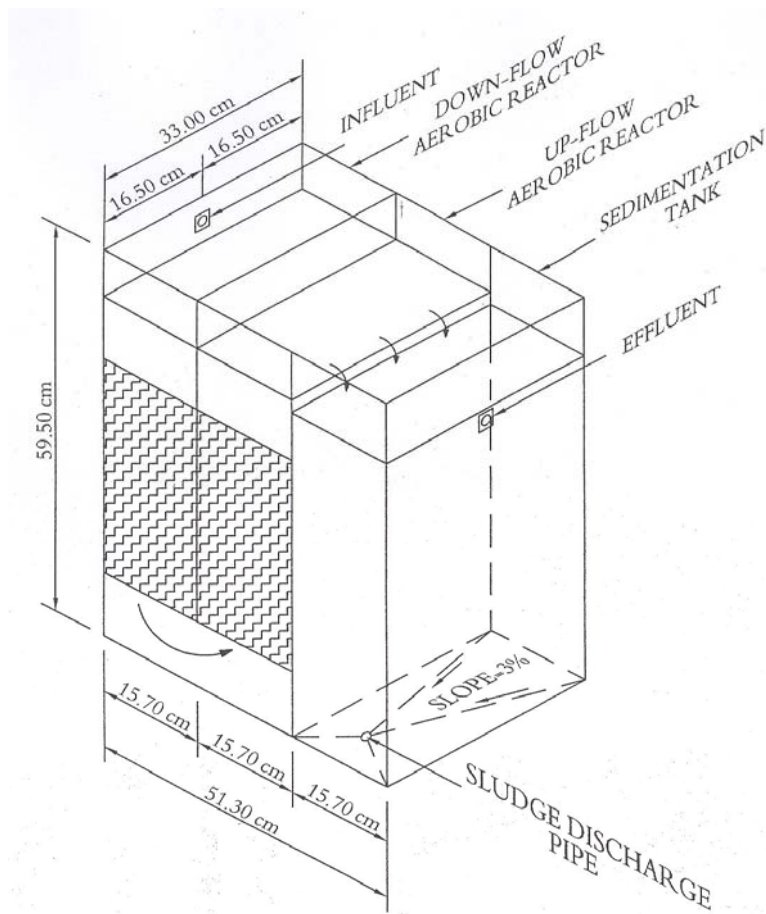
به منظور توزیع یکنواخت هوا در بخش اول و دوم پایلوت، در کف هر یک از آن ها یک هواده عمقی، از نوع

سنگ هوای مدور حلقه ای شکل به قطر ۱۵ سانتی متر، قرار داده شده است که هوا می تواند به راحتی از طریق آن ها و به طور یکنواخت و مناسب به درون راکتور راه یابد و جهت تهیه خوراک پایلوت، فاضلاب مصنوعی با مخلوط کردن اوره و نمک های بافر فسفات در محلول آب و ملاس به نسبت های معین تهیه شد تا همواره نسبت C/N/P معادل ۱۰۰/۰/۱ برای هر یک از غلظت های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر تنظیم گردد. جهت ذخیره سازی فاضلاب مصنوعی نیز از مخازن ۱۲۰ لیتری استفاده گردید که تمامی این مخازن توسط شلنگ های رابط به یکدیگر متصل بوده و باتوجه به مرتبط بودن آن ها همواره سطح فاضلاب درون این مخازن در ارتفاع یکسان قرار داشت و فاضلاب موردنیاز از آخرین مخزن جهت تغذیه به سیستم انتقال می یافت. همچنین باتوجه به غلظت های مختلف فاضلاب و دبی های متغیر به منظور تنظیم جریان از یک دستگاه پمپ تزریق (دوزینگ پمپ) با حداکثر ظرفیت ۲۴ لیتر در ساعت و توان ۰/۱ کیلو وات و به منظور تأمین هوای موردنیاز راکتور از یک عدد کمپرسور هوای فشرده با ظرفیت ۱۵۰ لیتر در ساعت استفاده شده است.

شکل های ۱ و ۲ نمایی از پایلوت مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهند.



شكل ۱- نمايى از پايوت پلاكسى گلاس



شكل ۲- نمايى از پايوت پلاكسى گلاس

• روش انجام آزمایشات

کلیه آزمایش های انجام شده در این تحقیق براساس دستورالعمل های ارایه شده در کتاب استاندارد متد انجام گرفته است (۵). برای انتخاب بهترین روش آزمایشگاهی نیز پس از بررسی کلیه روش های موجود در کتاب مذکور و باتوجه به تجهیزات و امکانات موجود در آزمایشگاه محیط زیست واحد علوم و تحقیقات تهران دانشگاه آزاد اسلامی، بهترین روش انتخاب و آزمایش های مربوط انجام گرفت.

مراحل مختلف تحقیق

مراحل اجرایی تحقیق را پس از نصب الکتروپمپ تزریق از نظر غلظت COD یا مشخصه کیفی فاضلاب می توان به ۳ مرحله کلی یعنی غلظت های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر تقسیم نمود و از لحاظ کمی با توجه به زمان هوادهی یا ماند در دو بخش هوادهی، هر مرحله به ۳ مرحله مجزای دیگر شامل زمان های هوادهی ۱۶، ۸ و ۴ ساعت قابل تقسیم است که در مجموع ۹ مرحله به شرح جدول ۱ خواهد بود.

جدول ۱- مراحل مختلف تحقیق

مراحل اجرایی	غلظت COD	زمان هوادهی (ساعت)	بار آلی (گرم COD بر متر مربع در روز)
مرحله اول	۵۰۰	۱۶	۱۶/۳۲
مرحله دوم	۵۰۰	۸	۳۴/۵۶
مرحله سوم	۵۰۰	۴	۶۳/۱۲
مرحله چهارم	۱۰۰۰	۱۶	۳۳/۳۶
مرحله پنجم	۱۰۰۰	۸	۴۴/۶۴
مرحله ششم	۱۰۰۰	۴	۱۲۵/۲۸
مرحله هفتم	۱۵۰۰	۱۶	۵۰/۴۰
مرحله هشتم	۱۵۰۰	۸	۱۰۱/۵۲
مرحله نهم	۱۵۰۰	۴	۱۸۸/۴۰

نتایج تحقیق

در جدول ۲ مقادیر متوسط pH ورودی و خروجی، COD ورودی و خروجی، بازده حذف COD و بار آلی در هر مرحله اجرایی ارایه شده است.

جدول ۲- مقادير متوسط نتايج حاصل از عملکرد سيستم در مراحل اجرايى

بار آلى (گرم COD بر متر مربع در روز)	COD			pH		مراحل اجرايى
	درصد حذف (%)	خروجى (ميلي گرم بر ليتر)	ورودى (ميلي گرم بر ليتر)	خروجى	ورودى	
۱۶/۳۲	۹۶/۱۱	۱۹/۵۲	۵۰۱/۵۶	۷/۳۱	۶/۹۸	مرحله اول
۳۴/۵۶	۹۳/۶۷	۳۱/۸۸	۵۰۳/۶۷	۷/۳۱	۶/۹۸	مرحله دوم
۶۳/۱۲	۸۹/۱۷	۵۴/۰۸	۴۹۹	۷/۳۰	۶/۹۴	مرحله سوم
۳۳/۳۶	۸۷/۹۳	۱۲۳/۸۵	۱۰۲۶	۷/۲۸	۶/۸۶	مرحله چهارم
۴۴/۶۴	۸۳/۶۷	۱۶۲/۴۶	۹۹۵/۳۳	۷/۳۰	۷/۰۱	مرحله پنجم
۱۲۵/۲۸	۷۷/۳۳	۲۲۵/۵۶	۹۹۴/۸۳	۷/۳۳	۶/۹۳	مرحله ششم
۵۰/۴۰	۶۹/۶۷	۴۵۹/۷۹	۱۵۱۵/۸۳	۷/۱۵	۶/۷۳	مرحله هفتم
۱۰۱/۵۲	۶۱/۶۷	۵۷۹/۶۰	۱۵۱۲	۷/۲۲	۶/۸۸	مرحله هشتم
۱۸۸/۴۰	۵۲/۸۳	۷۱۰/۷۷	۱۵۰۶/۶۷	۷/۲۶	۶/۷۹	مرحله نهم

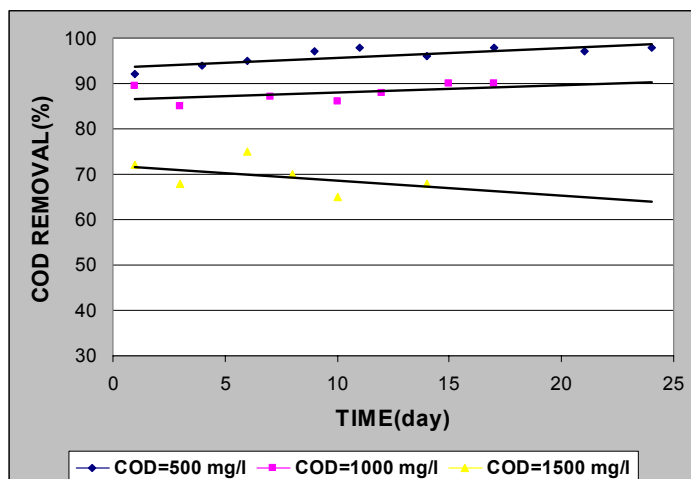
#### بررسى اثر افزايش غلظت COD در زمان هوادهى ثابت

#### • بررسى بازده حذف COD در غلظت هاى متفاوت

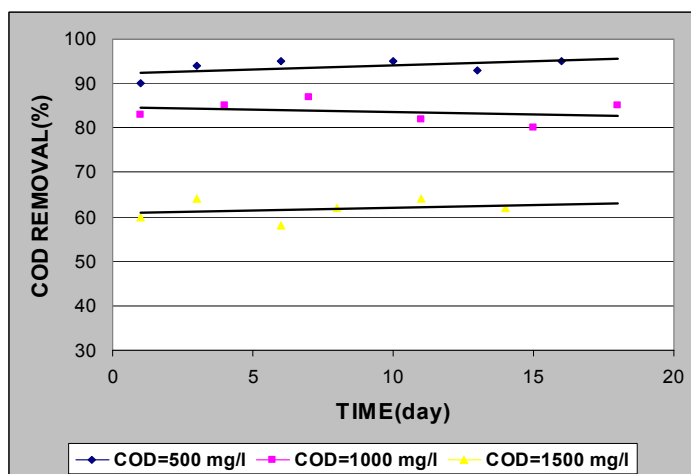
بازده حذف COD در غلظت هاى ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ميلي گرم در ليتر پس از پايدارى سيستم در نمودارهاى ۳-۵ به ترتيب مربوط به زمان هوادهى ۱۶، ۸ و ۴ ساعت نشان داده شده است. با افزايش غلظت COD از ۵۰۰ به ۱۵۰۰ ميلي گرم در ليتر بازده حذف COD به طور ميانگين از ۹۲/۹۸٪ به ۶۱/۳۹٪ کاهش مى يابد و در غلظت COD ۱۰۰۰ ميلي گرم در ليتر بازده حذف نسبت به COD ۵۰۰ ميلي گرم در ليتر تفاوت كمى را نشان مى دهد و به طور ميانگين ۸۲/۹۸٪ مى باشد.

#### • بررسى تغييرات بار آلى در غلظت هاى متفاوت

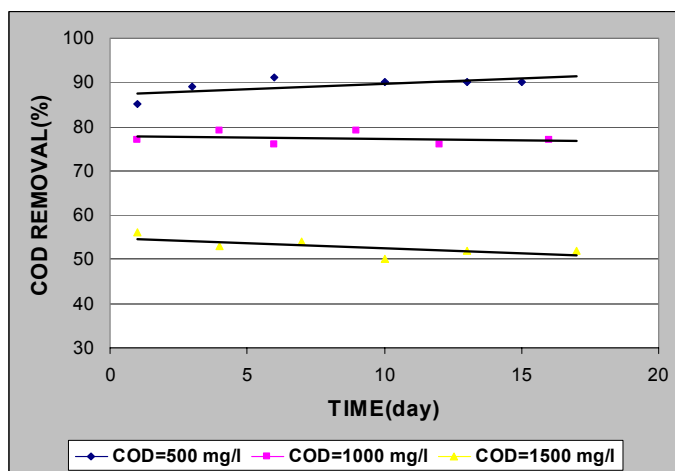
تغييرات بار آلى در غلظت هاى ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ ميلي گرم در ليتر در نمودارهاى ۶ تا ۸ ترسيم شده است. با توجه به اين كه بيشترين بار آلى مربوط به غلظت بالا (۱۵۰۰ ميلي گرم در ليتر) كه مقدار متوسط آن ۱۱۳/۵۲ گرم COD بر متر مربع در روز و كمترين آن مربوط به غلظت پايين (۵۰۰ ميلي گرم در ليتر) است كه مقدار متوسط آن ۳۷/۹۲ گرم COD بر متر مربع در روز مى باشد، مى توان با بازده حذف COD مورد نياز بار آلى مورد نياز جهت طراحى سيستم را تعيين نمود و از نمودارهاى مذكور مى توان نتيجه گرفت كه در غلظت COD ۱۰۰۰ ميلي گرم در ليتر بار آلى بهينه با مقدار متوسط ۶۷/۶۸ گرم COD بر متر مربع در روز به سيستم اعمال مى شود.



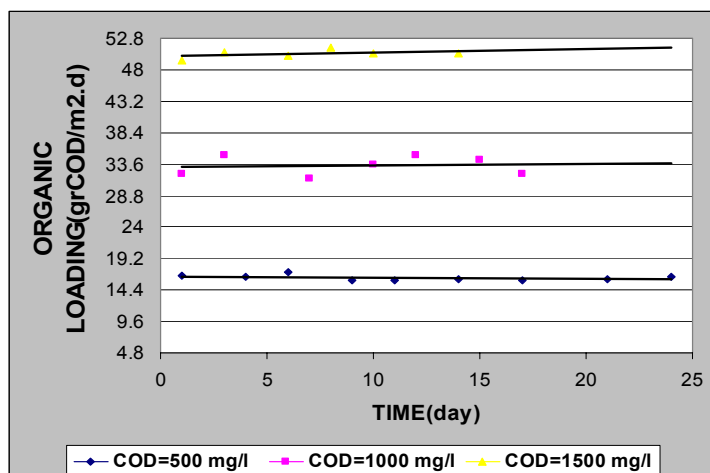
نمودار ۳- بازده حذف COD در غلظت های متفاوت و زمان هوادهی ۱۶ ساعت



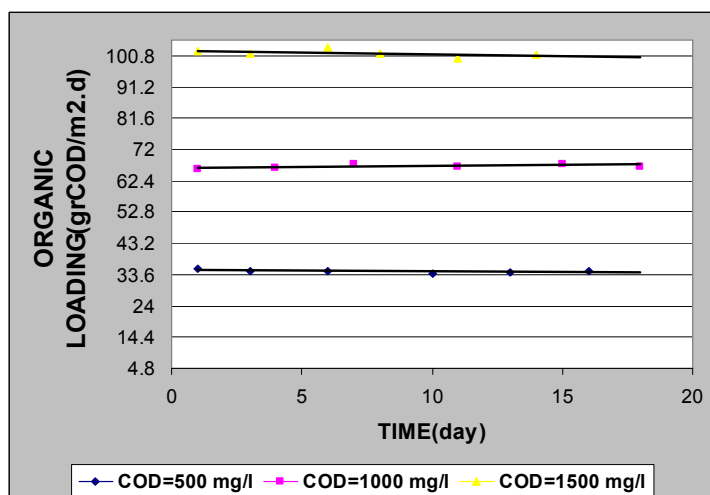
نمودار ۴- بازده حذف COD در غلظت های متفاوت و زمان هوادهی ۸ ساعت



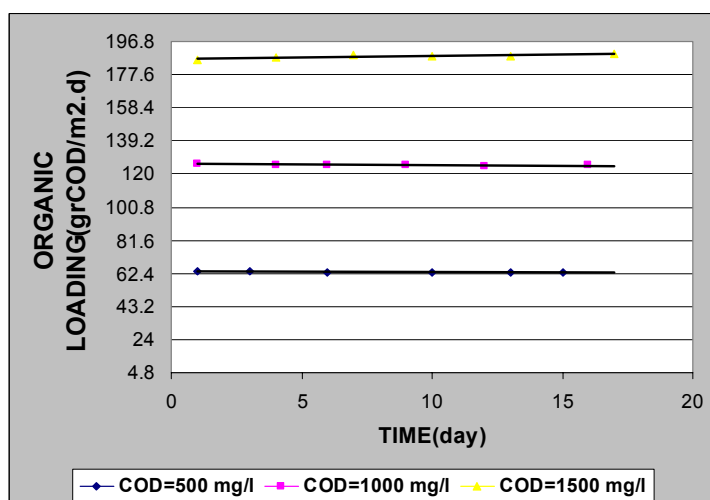
نمودار ۵- بازده حذف COD در غلظت های متفاوت و زمان هوادهی ۴ ساعت



نمودار ۶- تغييرات بار آلى در غلظت هاى متفاوت و زمان هوادهى ۱۶ ساعت



نمودار ۷- تغييرات بار آلى در غلظت هاى متفاوت و زمان هوادهى ۸ ساعت



نمودار ۸- تغييرات بار آلى در غلظت هاى متفاوت و زمان هوادهى ۴ ساعت



بررسی اثر کاهش زمان هوادهی در غلظت COD ثابت

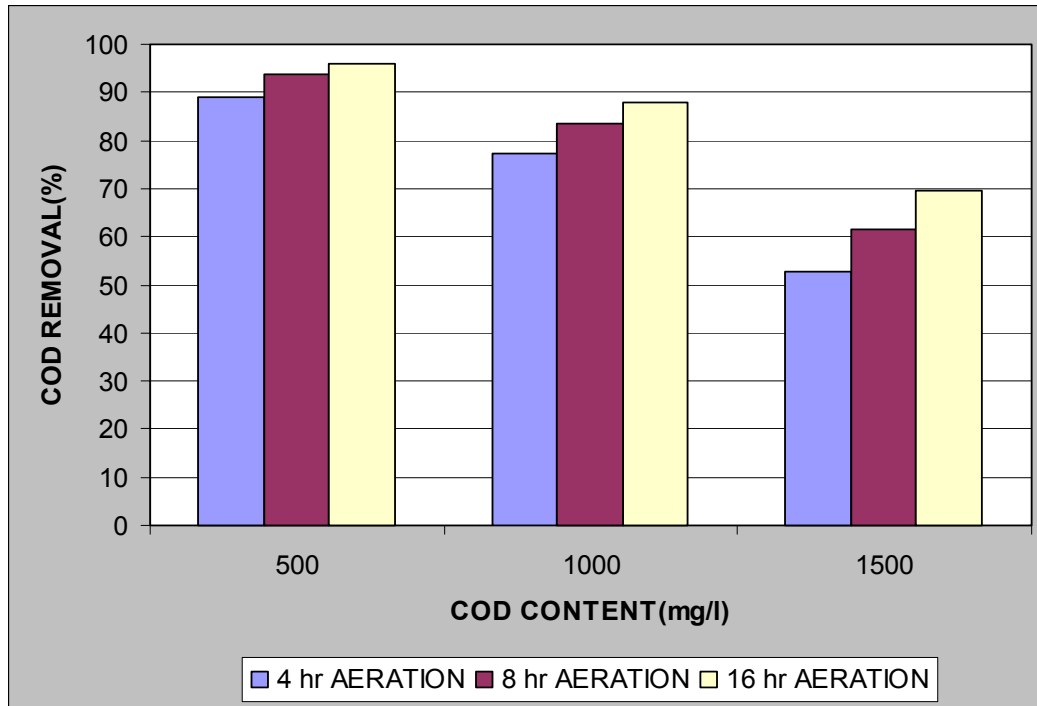
• بررسی اثر کاهش زمان هوادهی در بازده حذف

COD

با توجه به نمودار ۹ می توان نتیجه گرفت که با

کاهش زمان هوادهی از ۱۶ به ۴ ساعت، بازده حذف COD نیز

به طور میانگین از ۸۴/۵۷٪ به ۷۳/۱۱٪ کاهش می یابد و با توجه به زمان های هوادهی ۱۶ ، ۸ و ۴ ساعت، بهترین زمان هوادهی ۸ ساعت با بازده حذف COD با میانگین ۷۹/۶۸٪ می باشد.



نمودار ۹- تغییرات کاهش زمان هوادهی در بازده حذف COD

نتیجه گیری

با توجه به اطلاعات به دست آمده، نتیجه گیری مطالعه

حاضر به شرح زیر می باشد:

- در بارهای آلی ۱۶/۳۲، ۳۳/۳۶ و ۵۰/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت های COD ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقادیر متوسط بازده حذف COD به ترتیب ۹۶/۱۱، ۸۷/۹۳ و ۶۹/۶۷٪ می باشد.
- در بارهای آلی ۳۴/۵۶، ۴۴/۶۴ و ۱۰۱/۵۲ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت های COD ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقادیر متوسط بازده حذف COD به ترتیب برابر با ۹۳/۶۷، ۸۳/۶۷ و ۶۱/۶۷٪ می باشد.

- در بارهای آلی ۶۳/۱۲، ۱۲۵/۲۸ و ۱۸۸/۴۰ گرم COD بر متر مربع در روز و غلظت های COD ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر مقادیر متوسط بازده حذف COD به ترتیب ۸۹/۱۷، ۷۷/۳۳ و ۵۲/۸۳٪ می باشد.
- کاهش زمان هوادهی از ۱۶ به ۸ ساعت باعث کاهش بازده حذف COD به طور میانگین از ۸۴/۵۷ به ۷۹/۶۷٪ (حدوداً ۶٪) می شود، در حالی که در کاهش زمان هوادهی از ۸ به ۴ ساعت، کاهش بازده حذف COD به طور میانگین از ۷۹/۶۷ به ۷۳/۱۱٪ (حدوداً ۸٪) می شود.

- Reuse”, Fourth Edition, Mc Graw-Hill, 2003.
4. Schlegel, S. & Telchraber, B., “Operational Results and Experience with Submerged Fixed-film Reactors in the Pretreatment of Industrial Effluents”, Water Science and Technology, Vol.41, No.4-5, pp 453-459, 2000.
5. Standard methods for examination of water & wastewater, 18<sup>th</sup> edition, 1992.
- زمان هوادهی ۸ ساعت با بار های آلی ۳۴/۵۶ ، ۴۴/۶۴ و ۱۰۱/۵۲ گرم COD بر متر مربع در روز در غلظت های COD ۵۰۰ ، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ میلی گرم در لیتر به عنوان مطلوب ترین زمان سیستم جهت هوادهی می باشد.

## منابع

۱. حسینیان، سیدمرتضی، “اصول طراحی تصفیه خانه های فاضلاب شهری و پساب صنعتی”، چاپ اول ، انتشارات آینده سازان ، ۱۳۷۷.
2. Alleman, J.E., “The History of Fixed-Film Wastewater Treatment Systems”, Article-Biofilmhistory. html, 2000.
3. Metcalf & Eddy, “Wastewater Engineering; Treatment, Disposal and