

## تاثیر افزایش بار آلی در کارایی تصفیه فاضلاب صنایع قندی با استفاده از سیستم فیلتراسیون جریان رو به بالا با بستر لجن

مریم احمدی

کارشناسی ارشد مهندسی عمران، محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران.

### چکیده

با توجه به تأثیر ترکیب دو بخش غیر هوازی- هوازی در کنترل میکروارگانیسم های فیلامنتی که منجر به پدیده حجیم شدن لجن که یکی از مهمترین مشکلات موجود در راهبری یک تصفیه خانه فاضلاب صنایع قندی (بدلیل ترکیب خاص این فاضلاب) می باشد و باعث کاهش راندمان تصفیه خواهد شد و از آنجائی که تاکنون کارائی این نوع راکتور در تصفیه این نوع فاضلاب بررسی نشده است لذا در این تحقیق به بررسی این موضوع پرداخته شده است. بدین منظور از یک پایلوت ۶۰ لیتری از جنس پلکسی گلاس شامل سه بخش هوازی به حجم ۳۸ لیتر، بخش غیر هوازی به حجم ۱۴ لیتر و زلال ساز به حجم ۸ لیتر استفاده شد. فاضلاب خام وارد بخش غیرهوازی شده و در آنجا با لجن برگشتی از کف مخزن ته نشینی مخلوط می گردد. پس از این اختلاط جریان از قسمت زیر زلال ساز وارد بخش هوازی می شود. پس از هوادهی یک جریان از مخلوط مایع فاضلاب وارد قسمت پایین زلال ساز می شود در آنجا بستر لجن لخته های لجن را جذب کرده و سپس آب تمیز توسط شیرهای خروجی از سیستم خارج می شود. پس از تکمیل چرخه داخلی، لجن فعال جمع آوری شده در کف زلال ساز به قسمت غیرهوازی در ابتدای راکتور برگشت داده می شود. فاضلاب قندی مورد نیاز بصورت سنتزی و به کمک ملاسی که از کارخانه قند ورامین تأمین شده، آماده و استفاده گردید. نتایج حاکی از کارائی و راندمان بالای این فرآیند در تصفیه فاضلاب صنایع قندی همزمان با افزایش نرخ بار آلی نسبت به روشهای معمول دیگر می باشد. سیستم مورد بررسی با افزایش بار آلی تا  $COD=10000$  میلی گرم بر لیتر روندی صعودی در راندمان حذف داشته و با افزایش بار آلی تا  $COD=20000$  میلی گرم بر لیتر روند حذف، کاهشی سریعتر را داشته است. در غلظت بار آلی  $COD=25000$  میلی گرم بر لیتر راندمان حذف و pH سیستم کاهش پیدا کرد که در ادامه کار تحقیقاتی به کنترل این مشکل نیز پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: لجن فعال، هوازی، غیر هوازی، فاضلاب سنتزی، ملاس، USBF.

## مقدمه

از جمله مشکلاتی که با گسترش روز افزون جوامع بشری و پیشرفت در زمینه‌های صنعتی برای اجتماعات بوجود آمده است، فاضلاب حاصل از اماکن مسکونی و صنایع می‌باشد که نیازمند تصفیه قبل از دفع به محیط پذیرنده می‌باشند. با عنایت به روند سریع و روبه رشد طراحی و اجرای پروژه‌های فاضلاب و همچنین با توجه به این موضوع که هدف هر طراحی باید به حداکثر رساندن راندمان حذف ماده آلی با صرف حداقل هزینه سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری باشد، سیستم‌های موجود تصفیه را می‌توان به گونه‌ای اصلاح نمود که قابلیتشان افزایش یافته و عملکردشان بهبود یابد (جمعه خالدي، ۱۳۸۰)

هدف از این طرح ترکیب دو فرآیند هوازی و غیر هوازی در یک بیوراکتور به منظور اصلاح فرآیند لجن فعال متعارف می‌باشد که نتیجه امر یک سیستم کارآمد تصفیه فاضلاب می‌باشد که فضای کمتری را گرفته و هزینه نگهداری و راهبری پائین‌تری را خواهد داشت. لخته شدن مؤثر لجن و ته‌نشینی سریع و فشردگی متعاقب آن، یکی از عوامل لازم برای کارایی فرآیند لجن فعال می‌باشد. یکی از مهمترین موضوعات در بخش راهبری یک تصفیه خانه، امکان غالب شدن میکروارگانیسم‌های رشته‌ای بر انواع میکروارگانیسم‌های تشکیل لخته می‌باشد، که ماهیت رشته‌ای آنها از ته‌نشینی و فشردگی مناسب لجن جلوگیری می‌کند (لیل لیو<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴).

رشد بیش از حد میکروارگانیسم‌های رشته‌ای متأثر از ترکیب فاضلاب، غلظت اکسیژن محلول و میزان نامناسب بودن مواد مغذی می‌باشد. از آنجائیکه در فاضلاب صنایع قندی بدلیل ترکیب خاص فاضلاب که شامل ساکاریدهای شبه گلوکزی (گلوکز، ساکارین، لاکتوز، مالتوز و ...) می‌باشند که در نتیجه رشد میکروارگانیسم‌های رشته‌ای را ترفیع می‌دهند، لذا یکی از مهمترین مشکلات موجود در راهبری یک تصفیه خانه صنعت قند، مشکل حجیم شدن لجن، کاهش راندمان ته‌نشینی و خروج قابل توجهی از جامدات بیولوژیکی از روی سریزهای خروجی خواهد بود.

بسیاری از ارگانیسم‌های رشته‌ای هوازی بوده و می‌توانند در شرایط طولانی بی‌هوازی یا غیرهوازی دارای محدودیت رشد گردند (نانگی رن<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶).

بر اساس آزمایشات انجام شده، سیستم غیر هوازی- هوازی تا حدودی از رشد میکروارگانیسم‌های رشته‌ای جلوگیری می‌کنند. لذا پایلوت مورد نظر که شامل بخش هوازی- غیر هوازی می‌باشد یکی از گزینه‌های مناسب در تصفیه این نوع فاضلاب می‌باشد. در این تحقیق از فاضلاب سنتزی صنایع قندی بعنوان سوبسترا استفاده شده است.

از مهمترین عوامل در طراحی و راه‌اندازی یک سیستم تصفیه فاضلاب، شناخت دقیق کمی و کیفی فاضلاب مورد تصفیه می‌باشد. بگونه‌ای که براساس بررسی‌های انجام شده و تجهیزات موجود، بهترین نتیجه و راندمان حذف عاید گردد. در این مقاله سعی بر این است که علاوه بر ارائه مشخصات پایلوت مورد بررسی، خصوصیات ماده مورد مصرف در تهیه فاضلاب سنتزی قندی و در نهایت روش انجام کار به طور کامل توضیح داده شود.

## پیشینه تجربی تحقیق

بر اساس تحقیقات انجام شده در زمینه مقایسه فنی و اقتصادی روش‌های متداول تصفیه فاضلاب صنایع قند در ایران که در دانشگاه صنعتی شریف انجام شد. نتایج داد که سیستم‌های ترکیبی برکه بی‌هوازی و اختیاری بدلیل عملکرد ضعیف در تصفیه فاضلاب‌های غلیظ صنعتی تنها در گرمترین مناطق کشور قادر به تولید پساب با کیفیت مورد نظر هستند. سیستم‌های ترکیبی UASB با صافی چکنده و لجن فعال نیز در اولویت‌های میانی قرار دارند که با افزایش ظرفیت کارخانه‌ها به اولویت‌های بالاتر منتقل می‌شوند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴).

در بررسی‌هایی که توسط راگن و همکاران (۲۰۰۱)، در زمینه میزان تجزیه پذیری فاضلاب صنایع قندی و میزان راندمان حذف همراه با زمان ماند هیدرولیکی بهینه انجام شد، از فاضلاب سنتزی که با ملاس تهیه شده و یک پایلوت ۱۰ لیتری جهت

<sup>1</sup> Lili Liu<sup>2</sup> Nanqi Ren

تحقیقات استفاده شد. نتایج نشان داد با زمان ماند هیدرولیکی ۴ ساعت و نرخ بار گذاری آلی  $\frac{\text{kgCOD}}{(\text{kgMLVSS}).\text{day}}$   $\frac{۰.۶۷}{۱۲/۵}$  راندمان حذف ۷۶ درصد حاصل شده است (راگن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱).

یانگ و همکاران (۱۹۹۱)، رامدهانی (۱۹۹۸) در بررسی میزان تصفیه پذیری فاضلاب صنایع قندی با استفاده از محلول ساکاروز خالص<sup>۲</sup> که نسبت به ملاس تصفیه پذیری بسیار بالاتری دارد به راندمان حذف ۹۸ درصد رسیده اند، درحالی که رامجیون (۱۹۹۵) با زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت و نرخ بارگذاری آلی  $\frac{\text{kgCOD}}{(\text{kgMLVSS}).\text{day}}$   $\frac{۱۲/۵}{۱۲/۵}$  در یک راکتور با حجم  $1\text{m}^3$  و نمونه فاضلاب صنایع قندی به راندمان حذف ۹۱ درصد رسیده است (راگن، ۲۰۰۱).

در یک پژوهش که توسط پینا و همکاران (۲۰۰۳)، در بررسی میزان کاهش حذف رنگ در فاضلابهای حاوی ملاس با استفاده از ازن انجام شده است، آمده است که بسته به دوز ازن بکاربرده شده در آزمایشات همزمان با کاهش ۷۱ تا ۹۳ درصدی حذف رنگ فاضلاب نمونه به حذف ۱۵ تا ۲۰ درصدی درمیزان COD می توان رسید. نتایج حاصل نشان داد استفاده از ازن به عنوان روش و گزینه موثری در حذف بار آلی موجود نمی باشد (پینا و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳).

کومار و ساپکال (۲۰۰۵) تصفیه فاضلاب صنایع قندی را در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از سیستم ترکیبی فیلتر بی هوازی رو به پایین<sup>۴</sup> که با یک فرایند لجن فعال<sup>۵</sup> دنبال می شود مورد بررسی قرار دادند. با زمان ماند هیدرولیکی  $۲/۵-۰/۸$  روز، دمای  $۲۷\pm 1^\circ\text{C}$  و بارگذاری معادل با  $3200-4500$  COD میلی گرم بر لیتر، راندمان حذف COD را در فیلتر بی هوازی ۸۵-۹۰ درصد گزارش کرده اند در حالیکه فرایند لجن فعال قادر به حذف ۹۰ درصد از COD (خروجی از فیلتر بی هوازی) در زمان ماند هیدرولیکی کمتر از ۴ ساعت می باشد (آمیت و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵).

همچنین ستیوارت (۲۰۰۴)، گزارش کرده است که دو راکتور UASB با ظرفیت هر کدام ۱۸۷۵ متر مکعب و در مجموع ۳۷۵۰ متر مکعب در هند جهت تصفیه فاضلاب حاوی ملاس کارخانه قند مورد استفاده قرار گرفته اند که با نرخ بار گذاری آلی  $\frac{\text{kgCOD}}{(\text{kgMLVSS}).\text{day}}$   $\frac{۱۰}{۱۰}$ ، راندمان حذف ۶۵-۷۰ درصد در COD و ۸۵ درصد در BOD حاصل شده است (وست<sup>۷</sup>، ۲۰۰۴).

تراویسو و سانچیز (۲۰۰۵)، سیستم ترکیبی فیلتر بی هوازی<sup>۸</sup> - فیلتر چکنده هوازی<sup>۹</sup> - برکه تثبیت را جهت تصفیه فاضلابهای فاضلابهای حاوی ملاس مورد مطالعه قرار دادند. در این سیستم مراحل پیش تصفیه در فیلتر بی هوازی انجام شده، خروجی سپس وارد فیلتر چکنده شده و در نهایت خروجی از این مرحله وارد برکه تثبیت شده است. راندمان حذف COD در فیلتر بی هوازی ۷۹ درصد، در فیلتر چکنده ۶۶ درصد و در برکه تثبیت با زمان ماند هیدرولیکی ۵-۳۰ روز حدود  $۳۲/۸-۷۴$  درصد گزارش شده است (تراویسو و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۶). از مهمترین مسائلی که در هنگام تصفیه این نوع از فاضلابها ممکن است بوجود آید، مشکل حجیم شدن<sup>۱۱</sup> لجن می باشد.

<sup>1</sup> Ragen

<sup>2</sup> Pure-Sucrose Solution

<sup>3</sup> Pena et al.

<sup>4</sup> Down Flow Anaerobic Filter

<sup>5</sup> Activated Sludge Process

<sup>6</sup> Amit et al.

<sup>7</sup> West

<sup>8</sup> Anaerobic Fixed Bed Reactor

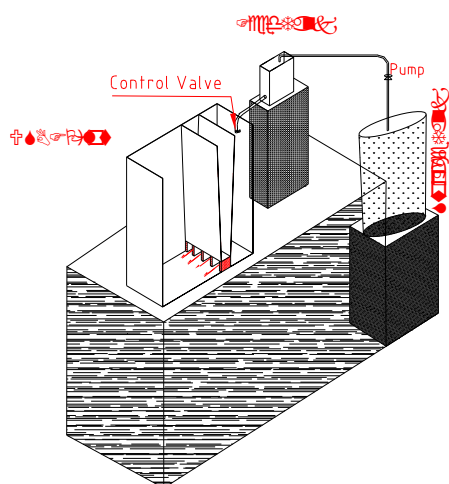
<sup>9</sup> Aerobic Tricking Filter Reactor

<sup>10</sup> Travieso

<sup>11</sup> Bulking

## روش تحقیق

۱- **ساخت پایلوت:** پس از مطالعات کتابخانه‌ای جهت بررسی تصفیه فاضلاب صنایع قندی و به دلیل نبودن اطلاعات کافی در زمینه ابعاد آزمایشگاهی پایلوت، با توجه به اطلاعات موجود و اصول طراحی پایلوت مزبور طراحی گردید. در شکل ۱ شماتیکی از سیستم راه‌اندازی شده در آزمایشگاه همراه با تجهیزات جنبی آن نشان داده شده است.



شکل ۱- شماتیک سیستم راه‌اندازی شده در آزمایشگاه

۲- **روش تحقیق:** در این تحقیق یک پایلوت که شامل سه بخش غیرهوازی، هوازی و زلال‌ساز است به مدت ۶ ماه مورد بررسی قرار گرفت. بطوریکه فاضلاب خام ورودی ابتدا وارد بخش غیر هوازی شده، پس از ترکیب با لجن برگشتی از بخش زلال‌ساز، بصورت نهرگونه وارد بخش هوازی می‌گردد. مخلوط حاصل پس از هوادهی وارد زلال‌ساز شده و پس از ته نشینی، پساب حاصل از طریق شیرهای خروجی، از پایلوت خارج می‌گردد. در طی این دوره پارامترهای pH، درجه حرارت، اکسیژن محلول در بخش هوازی، TS، شاخص حجمی لجن و میزان رشد میکروارگانیسم‌ها کنترل شد تا در محدوده مناسب طراحی جهت حصول بهترین نتیجه، قرار گیرند. نحوه تغییرات COD بعنوان پارامتر اصلی جهت بررسی راندمان حذف و کارایی سیستم مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۲- **ساخت فاضلاب نمونه:** با توجه به فرایندهای مورد استفاده در تحقیق که شامل ترکیب دو بخش هوازی و غیرهوازی می‌باشد و تأثیر ویژه این ترکیب در کنترل میکروارگانیسم‌های فیلامنتی که مهمترین عامل در پدیده حجیم شدن لجن در تصفیه فاضلاب‌هایی که حاوی مواد شبه‌گلوکزی و گلوکزی می‌باشند، از فاضلاب سنتزی صنایع قندی که حاوی مواد قندی و درصد گلوکز بالایی می‌باشند جهت تحقیقات استفاده گردید.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، ترکیبات و قند موجود در فاضلاب صنایع قندی مشابه ترکیبات ملاس که مایع غلیظ و قهوه‌ای رنگ بجا مانده از عملیات قند و شکرسازی می‌باشد، است. بنابراین در ساخت این نوع فاضلاب از ملاس استفاده شد که ملاس مورد نیاز پس از هماهنگی‌های انجام شده از کارخانه قند ورامین تأمین و به آزمایشگاه منتقل و جهت ساخت خوراک (فاضلاب نمونه) استفاده گردید.

۲-۲- **تلقیح و سازگاری میکروارگانیسم‌ها:** اولین و مهمترین قدم در تصفیه بیولوژیکی یک نوع فاضلاب، تطابق و سازگاری میکروارگانیسم‌های موجود با فاضلاب مورد تصفیه می‌باشد. هدف از تلقیح این است که میکروارگانیسم‌هایی که جهت تصفیه این نوع مشخص از فاضلاب مفید بوده و مواد غذایی مناسب برای رشد آنها در محیط موجود است رشد پیدا کرده و در مقابل میکروارگانیسم‌هایی که جهت تصفیه نوع مشخص فاضلاب، مناسب نیستند از محیط حذف شوند.

جهت تلقیح و سازگاری میکروارگانیسم‌ها، لجن مورد نیاز اولیه از تصفیه‌خانه اکباتان به آزمایشگاه مهندسی محیط زیست منتقل و پس از اندازه‌گیری پارامترهای اولیه آن به پایلوت ریخته شد.

بعد از طی دو روز، تلقیح فاضلاب با گلوکز شروع گردید. بدین صورت که دو روز پس از انتقال لجن به داخل پایلوت، بار آلی گلوکزی معادل با  $COD = 500 \frac{mg}{lit}$  همراه با مواد مغذی و بافر مورد نیاز به طوریکه نسبت  $COD:N:P$  برابر با ۱۰۰:۵:۱ حفظ شود به پایلوت اضافه شد. در ادامه با افزایش  $COD$  به  $1000 \frac{mg}{lit}$ ، تلقیح میکروارگانیسم‌ها با ملاس آغاز گردید. از این پس به ازای کاهش هر ۱۰ درصد از بار آلی گلوکزی، ۱۰ درصد به بار ملاسی اضافه شد تا جاییکه کل بار آلی اضافه شده فقط از نوع ملاس گردید.

**۲-۳- افزایش نرخ بار آلی:** مهمترین گام پس از تلقیح لجن به پایلوت، افزایش نرخ بار آلی به لجن تلقیح داده شده می‌باشد. بار ورودی به راکتور با توجه به مقدار میکروارگانیسم‌های موجود در راکتور و فعالیت این میکروارگانیسم‌ها تنظیم می‌شود. در ابتدای راه‌اندازی که فعالیت ویژه لجن کم است، باید بار آلی کمی را به راکتور اعمال نمود. همچنین نسبت خوراک به میکروارگانیسم ( $F/M$ ) باید در محدوده فعالیت لجن قرار داشته باشد. در غیر اینصورت سیستم در همان ابتدا ترش کرده و از کار می‌افتد. وقتی راندمان حذف به حداکثر مقدار خود رسید، می‌توان بار را به صورت پله‌ای به اندازه ۰/۵ تا ۱ واحد افزایش داد. پس از افزایش بار، باید  $pH$  سیستم را به طور مداوم کنترل کرد. در صورت کاهش  $pH$ ، باید بار اعمالی به سیستم را به حالت قبل از افزایش بار برگرداند و اجازه داد تا سیستم مجدداً به حالت پایدار دست یابد (آیتی، ۱۳۸۳).

در این تحقیق از روش حداکثر تغییرات راندمان جهت افزایش نرخ بار آلی استفاده شد بطوریکه وقتی راندمان حذف  $COD$  به حداکثر مقدار خود می‌رسید، نرخ بار آلی را زیاد می‌کنند.

پس از مرحله سازگاری میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب مورد نظر، میزان  $COD$  و بار آلی سیستم‌ها افزایش یافت و در هر مرحله افزایش بار به همراه افزودن مواد مغذی و میکرونوترینت‌ها راندمان حذف سیستم در دو بخش غیرهوازی و هوازی به طور مجزا بررسی شد.  $pH$  به صورت روزانه و  $MLSS$  و  $MLVSS$  نیز به طور متوسط هر ۱۵ روز یکبار برای هر بخش کنترل شد. همچنین بررسی‌های میکروسکوپی جهت بررسی انواع میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب نمونه به طور هفتگی صورت گرفت.

#### ۲-۴- پارامترهای کنترل شده:

**درجه حرارت:** در این تحقیق سعی بر این بود که درجه حرارت سیستم در محدوده ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شود.

**میزان مواد مغذی:** مواد مغذی مورد نیاز جهت تأمین نسبت  $COD:N:P = 100:5:1$  به نمونه فاضلاب اضافه شده است.

**$pH$ :** کنترل روزانه  $pH$  در محدوده ۷/۵-۸/۵، با استفاده از هیدروکسید سدیم و اسید فسفریک و افزودن محلول بافر  $(K_2HPO_4, KH_2PO_4)$  انجام گرفت.

**دبی:** تنظیم دبی توسط شیر کنترل جریان در مخزن ثانویه، به گونه‌ای که زمان ماند هیدرولیکی طراحی در هر دو بخش غیرهوازی و هوازی حفظ شود.

**میزان میکرونوترینت‌ها:** میزان عناصر جزیی مورد نیاز با توجه به ترکیبات ملاس انتقالی اضافه شده است.

#### ۲-۵- پارامترهای اندازه‌گیری شده:

**$COD$ :** بررسی میزان  $COD$  فیلتر شده و راندمان حذف به طور روزانه بعد از هر بار خوراک دهی. روش معمول در تست  $COD$  بدین صورت می‌باشد که نمونه‌ها از کاغذ صافی عبور کرده، مواد معلق آن حذف شده و نمونه مورد آزمایش به صورت فیلتر شده می‌گردد. لذا نتایج آزمایشات مربوط به  $COD$  براساس نمونه‌های فیلتر شده می‌باشند.

**MLSS و MLVSS:** به دلیل کنترل پدیده حجم شدن لجن و جلوگیری از بالکینگ، کنترل دو پارامتر ذکر شده امری بدیهی است. کنترل این پارامترها نیز هر ۱۵ روز یکبار و همزمان با انجام آزمایشات MLSS و MLVSS صورت گرفته است.

**pH:** کنترل روزانه pH به طوریکه در محدوده ۷/۵-۸/۵ قرار گیرد.

**DO:** کنترل میزان اکسیژن محلول در هر دو بخش غیرهوازی و هوازی به طوریکه میزان اکسیژن محلول در بخش هوازی حدود  $2-4 \text{ mg/lit}$  و در بخش غیرهوازی تا کمتر از ۰/۲ نگه داشته شود.

**F/M:** نسبت غذا به میکروارگانیسم جهت کنترل و کاهش میکروارگانیسم‌های فیلامنتی.

**BOD<sub>5</sub>:** تعیین BOD<sub>5</sub> و تعیین نسبت آن با COD. ولی به دلیل سهولت اندازه‌گیری COD، آزمایشات COD اساس کلیه بررسی‌ها را تشکیل داده است.

**بررسی میکروسکوپی:** جهت مشاهده نوع میکروارگانیسم‌های موجود در محیط که به طور متوسط هر دو هفته یکبار انجام می‌شد.

**۲-۶- مواد مورد استفاده:** در طی انجام تحقیق جهت انجام آزمایشات، تعیین پارامترهای مذکور و کنترل این پارامترها از مواد شیمیایی زیر استفاده شده است:

- دی‌کرومات پتاسیم، سولفات نقره، سولفات جیوه، اسید سولفوریک جهت تهیه محلول هضم و کاتالیست برای آزمایشات COD.
- هیدروکسید سدیم و اسید سولفوریک جهت تنظیم pH.
- بی‌کربنات پتاسیم به عنوان بافر.
- محلول مواد مغذی که شامل اوره صنعتی،  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ،  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  می‌باشد، جهت تأمین نسبت  $\text{COD:N:P} = 100:5:1$ .
- قند جهت تأمین میزان COD در مراحل اولیه راه‌اندازی سیستم و در مرحله تلقیح و سازگاری میکروارگانیسم‌ها.
- محلول میکرونوترینت

## یافته های تحقیق

### ۱- بررسی کارائی سیستم

**۱-۱- تلقیح و سازگاری میکرو ارگانیسم‌ها:** نخستین اقدام در راه اندازی یک تصفیه خانه، تلقیح و سازگاری میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب مورد نظر می‌باشد. در این تحقیق نیز بعد از انتقال ۲۰ لیتر لجن شهری به پایلوت مورد تحقیق، اقدامات لازم در جهت تلقیح و سازگاری میکرو ارگانیسم‌ها انجام گرفت.

در مرحله سازگاری اولیه میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب، ابتدا از گلوکز به عنوان خوراک استفاده گردید. در این مرحله حداکثر COD معادل با ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر خوراک گلوکزی در یک دوره ۳۰ روزه به سیستم وارد شد که در این دوره سیستم در ابتدا بصورت نا پیوسته<sup>۱</sup> و سپس بصورت مداوم و پیوسته<sup>۲</sup> راهبری شد.

پس از دوره اولیه تلقیح، دوره ثانویه تلقیح بمدت ۳۰ روز شروع گردید که در آن به طور متوسط بعد از هر دوره ۳ روزه، به ازای کاهش هر ۱۰ درصد از حداکثر COD خوراک گلوکزی وارد شده به سیستم ( $\text{COD}=1000 \text{ mg/lit}$ )، ۱۰ درصد خوراک سنتزی (فاضلاب صنایع قندی) به سیستم اضافه شد، بطوریکه بعد از این دوره، کل خوراک ورودی به سیستم از نوع فاضلاب سنتزی صنایع قندی با حداکثر COD معادل با ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر گردید. پس از گذشت این مرحله افزایش کمی

<sup>۱</sup>. Batch

<sup>۲</sup>. Continuous

درمیزان رشد میکروارگانیسم‌ها مشاهده شد، اما در عین حال سیستم مزبور به یک سیستم مناسب جهت تصفیه فاضلاب صنایع قندی تبدیل شد.

**۱-۲ - تغییرات COD با زمان و افزایش بارگذاری:** پس از مرحله تلقیح و سازگاری ثانویه میکروارگانیسم‌ها با فاضلاب، بار ورودی به سیستم بصورت پله‌ای افزایش یافت بطوریکه این افزایش بار با توجه به نحوه و میزان رشد میکروارگانیسم‌های موجود در سیستم که گزینه مهمی در تصفیه یک نوع مشخص از فاضلاب می‌باشد، صورت گرفت. بارگذاری اولیه در این مرحله معادل با  $COD=1000$  میلی‌گرم بر لیتر بوده و به مرور زمان بارآلی افزایش یافته تا به  $COD=3000$  میلی‌گرم بر لیتر رسید.

در این مرحله با افزایش نرخ بارآلی ورودی به سیستم، افزایش سریعتری در رشد میکروارگانیسم‌ها مشاهده شد. بطوری که میزان  $MLSS$  و  $MLVSS$  روند صعودی را طی می‌کند و جهت ثابت نگه داشتن و کنترل این دو پارامتر در محدوده پیشنهادی مناسب طراحی و راهبری سیستم، نیاز به خروج و تخلیه لجن از سیستم گردید.

نمودارهای مربوط به میزان حذف بار آلی بر اساس خوراک ورودی به سیستم نسبت به زمان در هر یک از بخشهای غیر هوازی، هوازی و نهایتاً خروجی از سیستم (زال‌ساز<sup>۱</sup>) در زیر نشان داده شده است.

نتایج حاصله در سه محدوده مختلف  $COD$  ورودی شامل ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۲۰۰۰۰ تا ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برحسب زمان گزارش شد که علت این تقسیم‌بندی مشابهت راندمان حذف و روند کاهش  $COD$  و کارائی سیستم در ۳ محدوده مذکور می‌باشد.

**۱-۳ - کارائی سیستم و راندمان حذف:** میزان راندمان حذف در هر بخش سیستم بصورت مجزا و در هر محدوده بارگذاری مشخص کرد که با بالاترین میزان راندمان حذف مربوط به محدوده بارگذاری ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد پس از این محدوده با افزایش بارگذاری آلی راندمان حذف اندکی کاهش می‌یابد بطوریکه در محدوده ۲۰۰۰۰-۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روند نزولی با شیب بسیار ملایم را در میزان حذف خواهیم داشت در حالیکه در محدوده بارگذاری ۳۰۰۰۰-۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر این روند نزولی در کارائی حذف تشدید شده است.

**۱-۴ - شوک وارده به سیستم با افزایش نرخ بار آلی:** بر اساس نتایج به موازات افزایش نرخ بارآلی، راندمان حذف در سیستم در محدوده  $COD=1000-10000$  میلی‌گرم بر لیتر افزایش یافته تا در محدوده  $COD=10000-20000$  میلی‌گرم بر لیتر این پارامتر کاهش یافته است. این میزان کاهش در راندمان حذف در محدوده بارگذاری ۳۰۰۰۰-۲۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر مشهودتر می‌باشد.

اما نکته مهم و قابل توجه در این مرحله این است که بعد ورود بارآلی معادل با  $COD=25000$  میلی‌گرم بر لیتر، میزان ته‌نشینی در زال‌ساز افت پیدا کرد بطوریکه قسمت اعظم جامدات موجود در فاضلاب داخل پایلوت بصورت محلول در آمده، همراه با پساب خارج شده و باعث افزایش  $COD$  پساب خروجی شده در حالیکه با افزایش بارآلی ورودی تا  $COD=30000$  میلی‌گرم بر لیتر مشکل بوجود آمده مشهودتر و حادثر و میزان ته‌نشینی در زال‌ساز نیز افت شدیدتر و راندمان حذف کاهش بیشتری از خود نشان داد. در حالیکه  $pH$  سیستم نیز شدیداً کاهش یافته و سیستم به اصطلاح ترش کرده و اسیدی شد.

در این زمان، مهمترین اقدام انجام شده، کنترل  $pH$  سیستم بود بطوریکه در یک دوره ۱۰ روزه،  $pH$  سیستم با استفاده از سود و محلول بافر کنترل گردید، در این دوره زمانی، بارآلی در حد تأمین خوراک میکروارگانیسم‌ها و نه بیشتر به سیستم اضافه شد. **۱-۵ - کنترل شوک وارده:** بعد از کنترل  $pH$  سیستم بعد از شوک وارده، سیستم از جهت راه اندازی مجدد و مقابله با شوک وارده مورد بررسی قرار گرفت. جهت راه‌اندازی مجدد سیستم مجدداً از لجن شهری استفاده گردید بطوری که بخشی از لجن

<sup>۱</sup>. Clarifier

موجود پایلوت خارج گردیده و به جای آن لجن شهری به سیستم اضافه گردید. میزان ورود و خروج لجن با توجه به MLSS و MLVSS موجود در بخش های غیر هوازی و هوازی سیستم و لجن شهری و میزان مناسب در هر بخش سیستم محاسبه و اضافه گردید. در این دوره pH سیستم بطور مرتب اندازه گیری و کنترل گردید. جهت کنترل بر نحوه رشد میکروارگانیسمها میزان رشد میکروارگانیسمها در سیستم در یک دوره ۲۴ ساعته مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان داد؛ در ساعت اولیه، منحنی رشد میکروارگانیسمها شیب ملایم تر داشت و با گذشت زمان، روند رشد تسریع گردید بطوریکه MLVSS در بخش هوازی از  $2800 \frac{mg}{lit}$  بعد از یک دوره ۲۴ ساعته به  $4000 \frac{mg}{lit}$  و در بخش غیر هوازی از

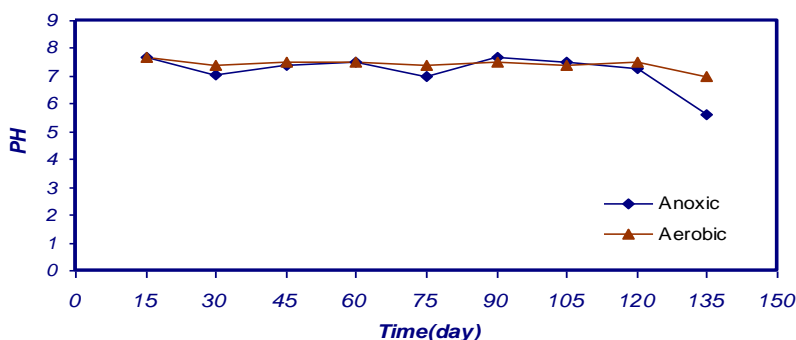
$2460 \frac{mg}{lit}$  به  $3015 \frac{mg}{lit}$  رسید. جهت تأمین خوراک، از COD معادل با ۸۰۰۰ میلی گرم بر لیتر که در مراحل قبلی

بررسی راندمان حذف، نتیجه قابل قبولی داده است استفاده گردید.

لازم به ذکر است که در دوره ۲۴ ساعته کنترل رشد میکروارگانیسم، میزان حذف COD و راندمان حذف نیز بررسی گردید. همچنین جهت کنترل بهتر سیستم، خوراک معادل با  $COD=8000$  میلی گرم بر لیتر بمدت ۱۰ روز به سیستم اضافه گردید تا قابلیت تحمل سیستم در مقابله با افزایش بارهای آلی بیشتر، افزایش یابد. پس از طی این دوره، قابلیت ته نشینی سیستم و راندمان حذف بهبود پیدا کرده است بطوریکه جهت مقایسه بهتر نتایج مربوط به راندمان حذف در مراحل قبل و بعد از شوک وارده، بار خوراک آلی وارده به سیستم تا  $COD=18000$  میلی گرم بر لیتر افزایش یافت و نتایج حاصل از آزمایشات راندمان حذف نشان داد که در ابتدای دوره بارگذاری میزان کاهش COD در هردو بخش هوازی و غیر هوازی سیستم کم و با گذشت زمان این روند بهبود یافته است، بطوریکه در بار گذاری های بیشتر راندمان حذف حتی تا به میزان راندمان حذف قبل از شوک وارده بهبود یافته است؛ اما کیفیت و میزان ته نشینی در زلال ساز حتی حدود یک ماه پس از کنترل شوک همچنان ضعیف بود بطوریکه باوجود حذف خوب و بالای COD در بخش هوازی و غیر هوازی سیستم، پساب خروجی از زلال ساز نسبت به مرحله قبل از شوک COD بالاتری داشت (ته نشینی ضعیف و خروج مواد معلق به همراه پساب خروجی از سیستم) ولی پس از این دوره این پارامتر نیز تا حدی بهبود یافت و نتایج آزمایشات نشاندهنده COD کمتری در پساب خروجی بوده اند. همچنین میزان رشد و غلظت میکروارگانیسمها در هر دو بخش هوازی و غیر هوازی سیستم نیز با گذشت زمان و افزایش بار گذاری در حال افزایش است.

## ۲- کنترل سیستم

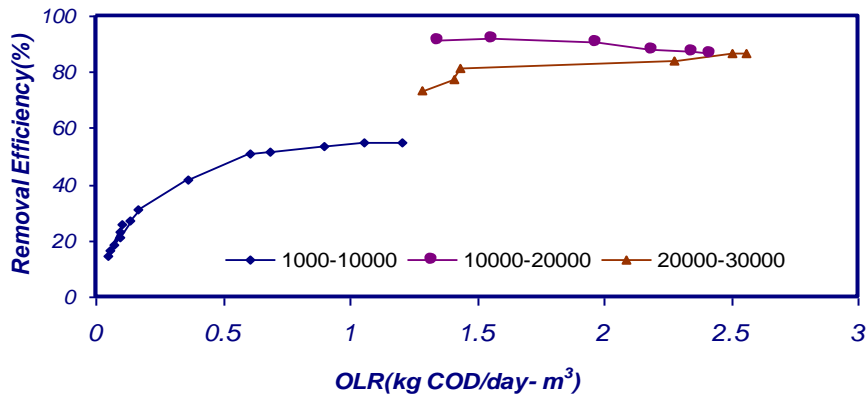
۲-۱ - تغییرات pH: نمودار ۱- میانگین تغییرات pH در سیستم را قبل از افزودن هرگونه ماده تنظیم کننده نشان می دهد. همانطور که از نمودار مشخص است در انتهای دوره بدلیل شوک وارده به سیستم، pH افت پیدا کرده و محیط اسیدی شده است.



نمودار ۱- نحوه تغییرات pH در بخش غیر هوازی و هوازی سیستم

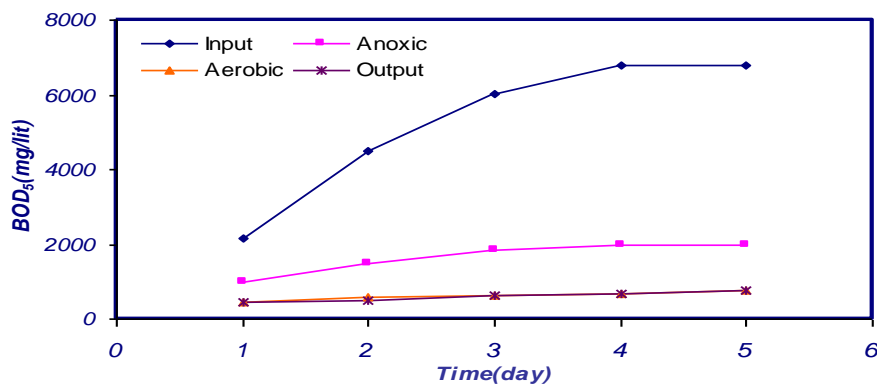


۲-۲- تغییرات OLR: از جمله عوامل مؤثر در طراحی پایلوت مورد تحقیق، پارامتر OLR بوده است که در نهایت یکی از عوامل مؤثر در راهبری سیستم نیز بشمار می‌رود. نمودار ۲- نحوه تغییرات OLR و میزان حذف COD را در بخش هوازی در سه محدوده بارگذاری ۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰، ۲۰۰۰۰-۲۰۰۰۰ و ۳۰۰۰۰-۲۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در سیستم مورد بررسی نشان می‌دهد.

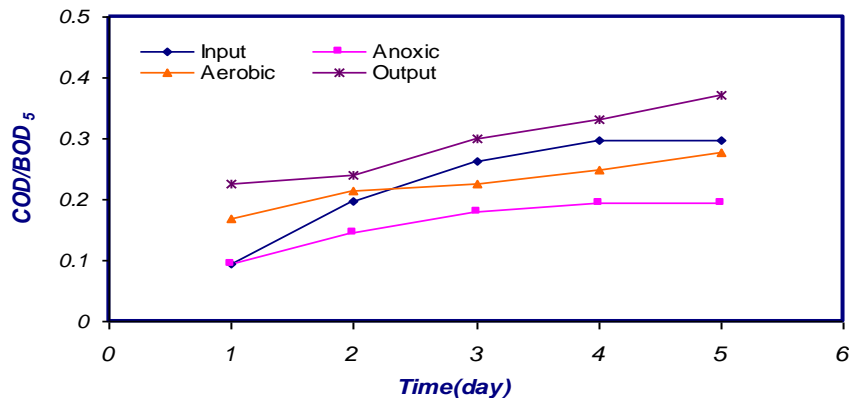


نمودار ۲- تغییرات OLR و میزان حذف COD در بخش هوازی سیستم

۳-۲- نسبت  $\frac{BOD_5}{COD}$ : آزمایش BOD میزان کربن آلی قابل تجزیه بیولوژیک و تحت شرایط خاص، درصد نیتروژن قابل اکسیداسیون زائدات را نشان می‌دهد در حالیکه آزمایش COD میزان کل کربن آلی و  $BOD_5$  میزان اکسیژن مورد نیاز برای تثبیت مواد آلی قابل اکسیداسیون بیولوژیکی پس از ۵ روز می‌باشد. جهت همبستگی درست بین نسبت  $\frac{BOD_5}{COD}$ ، از نمونه‌های فیلتر شده جهت آزمایشات  $BOD_5$  و COD استفاده گردیده است. همانطور که در قبل توضیح داده شد بدلیل سهولت اندازه‌گیری COD، آزمایشات COD اساس کلیه بررسی‌ها و نتیجه‌گیریها را تشکیل می‌دهد. نمودار ۲- میزان  $BOD_5$  را در خوراک ورودی، بخش غیرهوازی، بخش هوازی و خروجی از سیستم نشان می‌دهد. نمودار ۳- نیز نسبت بین  $\frac{BOD_5}{COD}$  را در خوراک ورودی، بخش غیرهوازی، بخش هوازی و خروجی از سیستم نشان می‌دهد.



نمودار ۲-  $BOD_5$  در خوراک ورودی، بخش غیرهوازی، بخش هوازی و خروجی از زلال ساز



نمودار ۳- نسبت بین  $\frac{BOD_5}{COD}$  در خوراک ورودی بخش غیرهوازی، بخش هوازی و خروجی از زلال ساز

### نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصل از آزمایشات انجام شده در طی دوره تحقیق، فرایند مذکور USBF به عنوان یک گزینه مناسب در تصفیه فاضلابهای صنایع قندی پیشنهاد می‌گردد. به گونه ای که با افزایش میزان بار آلی تا ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، راندمان حذف افزایش و در محدوده متداول و رایج آلودگی فاضلاب صنایع قندی که COD آن کمتر از ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر می باشد راندمان حذف حدود ۹۴ درصد می باشد. ضمن اینکه با افزایش نرخ بار آلی ورودی به پایلوت تحقیقاتی نسبت به ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر، راندمان حذف کاهش و در بارهای آلی بیشتر سیستم دچار شوک گردیده است. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، برخی از موارد مهم جهت ادامه کار و تحقیقات بیشتر در زیر توصیه می‌شوند:

- ۱- بررسی تأثیر درجه حرارت بر راندمان تصفیه
- ۲- بررسی کارایی سیستم در حذف رنگ فاضلاب سنتزی مورد استفاده
- ۳- بررسی تصفیه پذیری فاضلاب صنایع دیگر توسط فرایند USBF
- ۴- بررسی تأثیر پارامترهای مختلف از جمله HRT و C بر راندمان تصفیه
- ۵- بدست آوردن میزان بهینه C و HRT در تصفیه فاضلاب صنایع قندی
- ۶- بررسی میزان حذف فسفر در تصفیه فاضلابهای حاوی فسفر
- ۷- بررسی سرعت و پیشرفت واکنشهای نیتروژنی و دنیتریفیکاسیون در تصفیه فاضلابهای با غلظت بالای نیتروژن
- ۸- بررسی کارایی سیستم در بارگذاریهای بیشتر بعد از مرحله کنترل شوک
- ۹- بررسی کارایی سیستم در حذف پاتوژنها، تخم انگل و ...
- ۱۰- بررسی کیفیت لجن تولیدی و قابلیت ته نشینی آن در زلال ساز
- ۱۱- بررسی تأثیر pH در کارایی سیستم

### منابع

۱. آیتی، بیتا- «تعیین مدل ریاضی راکتور هیبریدی در تصفیه فاضلاب صنایع سلولوزی»- رساله دکتری- مهندسی عمران (محیط زیست) - دانشگاه تربیت مدرس - زمستان ۱۳۸۳.
۲. احمدی، مهدی- تجربی، مسعود - ابریشم چی، احمد - «مقایسه فنی و اقتصادی روشهای متداول تصفیه فاضلاب صنایع قند در ایران»- نشریه آب و فاضلاب- شماره ۵۳-۱۳۸۴.

۳. مریم احمدی، دکتر حسین گنجی دوست، دکتر بیتا آیتی "بررسی قابلیت تصفیه فاضلاب صنایع قندی در سیستم

USBF"، مجله سلامت و محیط، دوره اول شماره دوم زمستان ۱۳۸۷ صفحات ۱۱۳ تا ۱۲۰

۴. جمعه خالدی، حسین - «بررسی انواع آکنه در تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی»- سمینار کارشناسی ارشد- مهندسی

عمران (محیط زیست)- دانشگاه تربیت مدرس - ۱۳۸۰.

5. Amit kumar, D.B. Sapkal, B.B. Gunjal, Bram Sercu, Herman Van Langenhove (2005) "A Combined Biological Treatment System for Biodegradation of Sugar Industry". Abstract Book Draft.
6. Lili Liu, Zhiping Wang, Jie Yao, Xiaojun Sun, Weimin Cai (2004) "Investigation on the Formation and Kinetics of Glucose-Fed Aerobic Granular Sludge" Department of Environmental Sciences and Engineering.
7. Nanqi Ren, Jianzheng Li, Baikun Li, Yong Wang, Shirui Liu. (2006) "Biohydrogen Production from Molasses by Anaerobic Fermentation with a Pilot -Scale Bioreactor System.
8. Pena M, Coca M, Gonzalez G, Rioja R, Garcia M.T. (2003) "Chemical Oxidation of Wastewater from Molasses Fermentation with Ozone.
9. Ragen A K, Wong Sak Hoi L and Ramjeawon T. (2001) " Pilot Plant Investigation of the Treatment of Synthetic Sugar Factory Wastewater using the Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) process", Mauritius Sugar Industry Research Institute Faculty of Engineering, University of Mauritius.
10. Travieso L, Sanchez E, Borja R, Benitez F, Raposo F, Rincon B, Jimenez A.M. (2006) "Evaluation of a Laboratory- Scale Stabilization Pond for Tertiary Treatment of Distillery Waste Previously Treated by a combined Anaerobic Filter-Aerobic Trickling System.
11. West Stewart S. (2004) "Co-Generation Opportunities Utilizing Sugar Industry Wastewater Through the Use of Biological Treatment Systems.
12. <http://www.persionsugar.com>

# The Effect of Increasing Organic Load on the Efficiency of Sugar Wastewater Treatment using Upstream Filtration System with Sludge Bed

Maryam Ahmadi

*Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran*

---

## Abstract

Sludge bulking phenomenon for the effect of combining two non-aerobic-aerobic parts on the control of the filamentous microorganisms leading is one of the most important problems in the management of a wastewater treatment plant in the sugar industry (due to the specific composition of this wastewater) and this reduces the efficiency of wastewater treatment. So far, the efficiency of this type of reactor has not been investigated in the treatment of this type of wastewater. Therefore, this topic has been studied in this research. For this purpose, a 60-liter Plexiglas pilot plant was used including three aerobic sections of 38 liters, an anaerobic section of 14 liters and a clarifier with a volume of 8 liters. The crude wastewater was inserted into the anaerobic part, where it was mixed with sludge from the bottom of the reservoir. After this mixing, the stream flows inserts into the aerobic part from clarifier below. After aeration, a stream of liquid sewage mixture enters the bottom of the clarifier, where the sludge bed adsorbs the sludge clay, and then the water is removed by the valves outlet. After completing the internal cycle, the activated sludge collected in the bottom of the clarifier returns to the anaerobic part at the beginning of the reactor. Sugar wastewater was synthesized and prepared using the molasses provided by the Varamin Sugar Factory. The results indicate high efficiency of this process in wastewater treatment of sugar industry simultaneously with increasing organic loading rate compared with other common methods. The system under study has an increasing load of up COD=10000 mg has an upward trend in removal efficiency. By increasing the organic load to COD = 20,000 mg / l, the reduction efficiency is reduced but with a very gentle trend and then up to COD = 30,000 has been faster removal process. At the concentration of COD 25000= mg / l, the removal efficiency and pH of the system decreased, which was followed by research to control this problem.

**Keywords:** Active Sludge, Aerobic, Anaerobic, Synthetic Sewage, Molasses, USBF

---