

ارتقای بازدهی فرایند هوازی - ته‌نشینی - بی‌هوازی در کاهش حجم لجن در راکتور ناپیوسته متوالی

سید سجاد زارع^۱، سارا نظیف^{۱*}، ناصر مهرداد^۲

۱. دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشکده مهندسی عمران

۲. دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۲/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۴)

چکیده

از جمله روش‌های کاهش حجم لجن تولیدی در فرایندهای لجن فعال، فرایند هوازی-ته‌نشینی-بی‌هوازی (OSA: Oxidic Settling Anoxic) است. در این فرایند، با وارد کردن لجن در حوضچه‌ای بی‌هوازی پیش از ورود به مخزن هواهی، حجم لجن تولیدی کاهش داده می‌شود. به دلیل امکان استفاده از این روش در تصفیه‌خانه‌های لجن فعال موجود، کاربرد آن در کاهش لجن رو به توسعه است. در این تحقیق، امکان بهبود بازدهی فرایند OSA در کاهش حجم لجن مازاد فرایند راکتور ناپیوسته متوالی (SBR: Sequencing Batch Reactor) با حرارت‌دهی و اختلاط مکانیکی بررسی می‌شود. با استفاده از پایلوتی آزمایشگاهی و با قراردادن مبدلی حرارتی درون حوضچه OSA دمای لجن تا ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. همچنین، در مرحله بعد یک راکتور اختلاط مکانیکی در ولتاژهای مختلف جایگزین مبدل حرارتی می‌شود. با استفاده از فرایند OSA، میزان تولید لجن ۲۴ درصد کاهش می‌یابد و درصد حذف COD از ۹۰ به ۸۶ درصد می‌رسد. در حالت استفاده همزمان از OSA و حرارت، بیشترین کاهش در حجم لجن به ۴۸ درصد می‌رسد. همچنین، با اعمال تنش برشی به لجن، تولید لجن ۳۴ درصد کاهش می‌یابد. کیفیت جریان خروجی (مقدار COD و TSS) در حالت استفاده از OSA تغییرات ویژه‌ای ندارد، ولی با استفاده از حرارت و برش مکانیکی تا حدودی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: برش مکانیکی، حرارت‌دهی، کاهش حجم لجن، OSA، SBR.

۱. مقدمه و هدف

روش‌های متعددی به کار گرفته شد. براساس مطالعات ریدل [۳]، رنزه و همکاران [۴]، لاو و هوارد [۵]، نواک و همکاران [۶]، رامش و همکاران [۷] و محمدی و همکاران [۸]، این روش‌ها شامل روش‌های گرمایی (فرایند هیدرولیز گرمایی)، گرمایی شیمیایی، مکانیکی (برش مکانیکی-امواج صوتی)، اکسیداسیون و OSA^۱ هستند.

از میان روش‌های بالا، روش OSA با توجه شرایط موجود تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و نیز هزینه‌های محدود اجرا با استقبال

تصفیه و دفع لجن مازاد تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال از لحاظ بهداشتی و اقتصادی و قانونی در تمام کشورها به‌عنوان مشکلی پیش روی بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌هاست. هزینه تصفیه لجن ممکن است تا ۵۰ درصد هزینه بهره‌برداری از تصفیه‌خانه را دربر داشته باشد [۱]. از این‌رو، در سال‌های اخیر میزان تحقیقات و مطالعات در راستای کاهش تولید لجن در فرایند لجن فعال به‌شدت رو به افزایش است [۲]. به‌این‌منظور،

افزایش می‌دهد [۹]. یه و همکاران تأثیر زمان ماند حوضچه بی‌هوازی فرایند OSA را بر ضریب تولید لجن مطالعه کردند. در این تحقیق، چهار پایلوت آزمایشگاهی بررسی شدند که یکی از آن‌ها به‌عنوان سامانه کنترل و بقیه در زمان ماندهای ۵/۵، ۷/۶، ۱۱/۵ ساعت بهره‌برداری شدند. مقایسه عملکرد چهار پایلوت نشان داد بیشترین کاهش در حجم لجن در زمان ماند ۵/۵ ساعت رخ می‌دهد و COD^۲ پساب خروجی هم دچار تغییرات شایان توجهی نمی‌شود [۱۲].

چون و همکاران پنج روش کاهش حجم لجن را با ساخت پنج پایلوت تحقیقاتی لجن فعال مقایسه کردند. این پنج پایلوت به‌ترتیب دارای راکتور هوازی جانبی، راکتور بی‌هوازی جانبی، هاضم هوازی، هاضم بی‌هوازی، بدون سامانه دفع لجن بودند. نتایج راه‌اندازی این سامانه‌ها در پنج حالت بالا نشان داد بیشترین کاهش در تولید لجن در پایلوت دو حاصل شد که از راکتور بی‌هوازی جانبی بهره گرفته است. همچنین، نتایج این مطالعه نشان داد تجزیه بخش آلی لجن در پایلوت بالا بیشتر از دیگر موارد است و تنها در این پایلوت، کیفیت خروجی لجن پایدار باقی می‌ماند [۱۳]. یه و لی با استفاده از مواد شیمیایی و فرایند OSA میزان کاهش در حجم لجن را بررسی کردند. در این تحقیق، عملکرد فرایند OSA به‌تنهایی و با اضافه کردن ماده شیمیایی در غلظت‌های مختلف بررسی می‌شود. در طول آزمایش، با ترکیب فرایند OSA با افزودن ماده شیمیایی TCS^۳، میزان لجن تولیدی تا ۴۷ درصد کاهش یافت. نکته شایان توجه در این مطالعه این است که هرچند TCS در کاهش حجم لجن مؤثر است، اما بر بازده حذف COD تأثیر نامطلوب دارد [۱۱].

سان و همکاران با استفاده از یک پایلوت SBR^۴ به بررسی میزان کاهش در حجم لجن با استفاده از فرایند OSA پرداختند. در این تحقیق، تعداد جایگزینی لجن در فاز هوازی و بی‌هوازی در یک روز از یک‌مرتبه تا چهارمرتبه بررسی شد. در مطالعه بالا، با یک‌بار جایگزینی لجن در فاز هوازی و بی‌هوازی ۵۳ درصد و با جایگزینی چهار مرتبه در روز ۷۷ درصد کاهش در حجم لجن گزارش شد. در شرایط بالا، میزان حذف COD، TSS^۵ و کیفیت پساب خروجی تغییرات نامناسبی را در مقایسه با راکتور شاهد نشان نداد [۱۴].

در فرایند حرارت‌دهی، لخته‌های لجن در اثر افزایش دما تحت تنش قرار می‌گیرند و در اثر این تنش به لخته‌های

شایان توجهی مواجه شده است. فرایند OSA، نوعی فرایند لجن فعال اصلاح‌شده است که با اضافه کردن حوضچه‌ای بی‌هوازی در مسیر برگشت لجن به حوضچه هوادهی به کاهش حجم لجن منجر می‌شود. در این حوضچه، اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی تأمین نمی‌شود و حجم لجن با عبور متوالی از سامانه‌های هوازی و بی‌هوازی کاهش می‌یابد [۹]. دو تئوری برای توجیه کاهش حجم لجن در فرایند OSA وجود دارد. تئوری اول براساس انرژی غیر هم‌جفت‌شده استوار است. در راکتور هوازی، میکروارگانیسم‌ها مواد غذایی را تجزیه می‌کنند و آن‌ها را به‌صورت ATP^۱ ذخیره می‌کنند. وقتی این میکروارگانیسم‌ها درون فضای بی‌هوازی و در شرایط نبود غذا قرار می‌گیرند، ATP ذخیره‌شده را به‌عنوان غذا مصرف می‌کنند. زمانی که این میکروارگانیسم‌ها پس از خروج از حوضچه بی‌هوازی، دوباره درون حوضچه هوادهی قرار می‌گیرند، ابتدا به ذخیره مجدد ATP می‌پردازند و سپس در ادامه فرایند تولید سلول‌های جدید آغاز می‌شود. براساس این تئوری، زمانی که لجن در محیط بی‌هوازی به‌سر می‌برد، محتویات ATP خود را از دست می‌دهد و با ورود لجن به محیط هوازی محتویات ATP (به‌علت وجود غذای کافی) دوباره درون سلول تشکیل می‌شود. این چرخه تغییرات میزان ATP، موجب به‌وجود آمدن انرژی نامتوازن بین کاتابولیسم و آنابولیسم میکروارگانیسم‌ها می‌شود. تئوری دیگر بر مبنای مرگ‌ومیر میکروارگانیسم‌ها درون راکتور OSA است. حوضچه بی‌هوازی در روش OSA با توجه به مواد مغذی محدود، غلظت لجن بالا، زمان ماند طولانی تا حدودی متفاوت از ناحیه بی‌هوازی در دیگر فرایندهاست. این شرایط ممکن است به مرگ‌ومیر میکروارگانیسم‌ها بینجامد که در نهایت موجب کاهش حجم لجن می‌شود [۱۰، ۱۱]. در ادامه، تعدادی از مطالعات اخیر در زمینه استفاده از روش OSA برای کاهش حجم لجن بررسی می‌شوند.

وانگ و همکاران با استفاده از روش OSA توانستند تا ۶۶/۷ درصد حجم لجن را کاهش دهند. همچنین، آن‌ها به بررسی تغییرات ساختار میکروبی در فرایند OSA پرداختند. براساس مطالعات آن‌ها، ۷ درصد کاهش حجم لجن در این روش به‌علت مرگ‌ومیر سلولی در راکتور بی‌هوازی است. ۲۳ درصد کاهش در حجم لجن هم به‌علت تغییرات میزان انرژی درون سلولی طی واکنش‌های بی‌هوازی است که اثر این دو عامل به‌صورت هم‌زمان تشدید می‌شود و میزان کاهش در حجم لجن را تا ۶۶/۷ درصد

1. Adenosine Teri-Phosphate
4. Sequencing Batch Reactor

2. Chemical Oxygen Demand
5. Total Suspended Solids

3. Tetrachlorosalicylanilide

مکانیکی در میزان کاهش حجم لجن تولیدی فرایند لجن فعال متداول در تصفیه فاضلاب بررسی می‌شود. فرایند OSA بدون تأثیر منفی در پساب خروجی موجب کاهش حجم لجن می‌شود. در این روش، لجن به‌طور متناوب در محیط‌های هوازی و بی‌هوازی قرار می‌گیرد. روش OSA از تانکی کاملاً هوازی تشکیل می‌شود که بعد از آن یک راکتور تهنشینی قرار می‌گیرد و یک راکتور بی‌هوازی نیز در مسیر برگشت لجن قرار می‌گیرد.

مطالعات قبلی اثر پالایش حرارتی را در کاهش حجم لجن تأیید کرد. در این تحقیق، اثر ترکیب پالایش حرارتی یا اعمال تنش برشی در کنار فرایند OSA در کاهش حجم لجن تولیدی بررسی می‌شود. اعمال تنش برشی به نمونه لجن براساس میزان انرژی وارد شده به سامانه سطح‌بندی می‌شود. انرژی مخصوص (Es) که بر مبنای واحد kJ بر واحد TSS است، برای بیان نتایج تجزیه مکانیکی (برشی) لجن به کار گرفته می‌شود.

$$\text{مقدار Es از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:} \\ Es = \frac{P.t}{V.x.1000} \quad (1)$$

که در رابطه بالا، Es انرژی مخصوص $(\frac{kJ}{kgTS})$ ، P انرژی وارد شده به لجن (W)، t مدت زمان تصفیه (s)، V حجم لجن در حال تصفیه (m^3) ، x غلظت لجن $(kgTS/m^3)$ است. مقدار انرژی وارد شده براساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$P = V \times I \quad (2)$$

که V ولتاژ (V) و I آمپراژ (A) است.

با توجه به توضیحات بالا، این تحقیق در شش مرحله زیر انجام گرفت:

۱. راه‌اندازی سامانه لجن فعال و تعیین زمان ماند بهینه حوضچه هوازی برای حداکثر حذف COD.
۲. راه‌اندازی سامانه لجن فعال متعارف به‌عنوان سامانه کنترل و تعیین حجم لجن تولیدی.
۳. راه‌اندازی سامانه لجن فعال با زمان ماند بهینه به‌دست‌آمده و راه‌اندازی سامانه OSA در زمان ماند‌های مختلف و به‌دست‌آوردن زمان ماند بهینه حوضچه بی‌هوازی براساس حصول بیشینه حذف COD.
۴. راه‌اندازی فرایند OSA و تعیین میزان کاهش حجم لجن نسبت به سامانه لجن فعال متعارف.
۵. استفاده از حرارت‌دهی در فرایند OSA و تعیین میزان کاهش حجم لجن نسبت به سامانه لجن فعال متعارف و فرایند OSA.
۶. اعمال تنش برشی به بخشی از لجن در فرایند OSA و

کوچک‌تر تبدیل می‌شوند. همزمان با شکستن لخته‌ها، بخشی از مواد غذایی محبوس درون لخته‌ها آزاد شده و مصرف می‌شوند. این امر موجب کاهش حجم لخته‌ها می‌شود و در نتیجه کاهش حجم لجن را در پی دارد. مطالعات متعددی در زمینه اثر پالایش حرارتی در میزان تولید لجن صورت گرفته است؛ برای نمونه، پالایش حرارتی لجن توسط لاورنت و همکاران در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد بررسی شد. تجزیه حرارتی قسمتی از لجن موجب کاهش حجم لجن تا ۳۰ درصد در مقایسه با لجن فعال متعارف می‌شود. البته در این فرایند بازده حذف TSS و COD تا ۱۵ درصد کاهش می‌یابد [۱].

اعمال تنش برشی با روش مکانیکی به لجن با روش‌های مختلف مانند استفاده از پره با دور بالا، گذراندن لجن تحت فشار بالا از یک روزنه کوچک، استفاده از امواج التراسونیک یا برخورد باریکه‌ای از لجن (جت لجن) به یک صفحه صلب و مسطح انجام می‌گیرد. در تمام این روش‌ها، تلاش بر این است که اندازه لخته‌های لجن کوچک‌تر شود. کاهش اندازه لخته‌های لجن و تجزیه لخته‌ها سبب آزاد شدن بخشی از مواد غذایی گرفتار شده درون لخته‌ها و همچنین دسترسی آسان‌تر باکتری‌ها و آنزیم‌ها به محتویات حوضچه‌ها می‌شود. این امر افزایش مصرف غذا در محیط و در نتیجه کاهش حجم لجن را به‌دنبال دارد [۱۰]. استرانگمن و همکاران امکان کاهش حجم لجن را به کمک روش‌های مکانیکی مطالعه کردند. در این تحقیق، سه روش التراسونیک، گوی‌های چرخنده و اعمال فشار بالا بررسی شد. در این تحقیق، بیشترین کاهش حجم لجن به میزان ۷۰ درصد گزارش شد. همچنین، اعمال برش مکانیکی براساس این تحقیق، تأثیر شایان توجهی در COD پساب خروجی ندارد [۱۵].

از آنجاکه روش‌های OSA، پالایش گرمایی و برش مکانیکی هریک به‌تنهایی موجب کاهش حجم لجن در فرایند تصفیه فاضلاب می‌شوند، به‌نظر می‌رسد ترکیب این فرایندها بتواند به میزان بیشتری موجب کاهش در حجم لجن شود. همچنین، روش اعمال تنش برشی نیز با توجه به سادگی فرایند و هزینه اندک به‌نظر می‌رسد گزینه مناسبی برای کاهش در حجم لجن باشد. بررسی این موضوعات در این تحقیق در قالب توسعه سامانه‌ای آزمایشگاهی SBR بررسی می‌شود.

۲. مواد و روش‌ها

در این تحقیق، با توسعه سامانه‌ای آزمایشگاهی اثر استفاده ترکیبی از روش OSA همراه با اعمال حرارت‌دهی یا برش

۱.۲. مشخصات پایلوت آزمایشگاهی

در این تحقیق، از پایلوتی آزمایشگاهی با حجم ۸ لیتر (مکعبی) به ابعاد ۲۰ سانتی‌متر) به‌عنوان حوضچهٔ هوادهی استفاده شد که شش لیتر از آن به‌صورت مفید بهره‌برداری شد. برای تأمین اکسیژن از یک پمپ هوا با دبی ۱۵ لیتر در دقیقه و با توان خروجی ۲۰ وات استفاده شد. همزنی مکانیکی با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه نیز برای توزیع یکنواخت اکسیژن درون راکتور تعبیه شد. پایلوت به‌صورت SBR بهره‌برداری می‌شود. در شکل ۱، نمایی از پایلوت استفاده‌شده برای انجام‌دادن تحقیق نمایش داده می‌شود. در شکل ۲ نیز، به‌صورت شماتیک پایلوت آزمایشگاهی تهیه‌شده نشان داده می‌شود. فاضلاب استفاده‌شده در این تحقیق از فاضلاب ورودی تصفیه‌خانهٔ فاضلاب قیصریه بعد از گذشتن از واحد آشغالگیری تهیه شد. مشخصات فاضلاب خام ورودی و لجن تولیدی در تصفیه‌خانهٔ فاضلاب قیصریه که از فرایند لجن فعال متعارف استفاده می‌کند، در جدول ۱ قابل مشاهده است. سامانهٔ مذکور به مدت ده روز برای گذراندن زمان اولیه و رسیدن به حالت پایدار به‌صورت لجن فعال متعارف بهره‌برداری شد. مقدار DO فاضلاب به‌صورت منظم تا رسیدن به حالت پایدار در هریک از مراحل اندازه‌گیری شد [۱۳].

بررسی تغییرات حادث‌شده و تعیین میزان کاهش در حجم لجن.

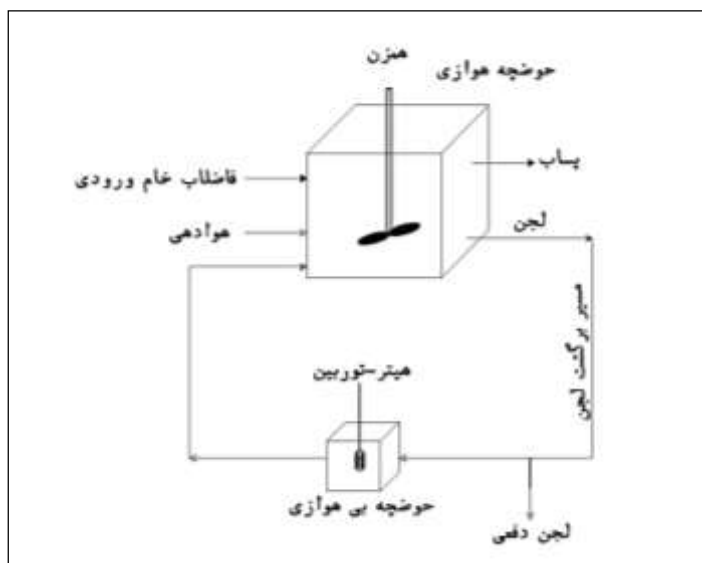
طبق کتاب روش‌های استاندارد به‌منظور بررسی و مقایسهٔ اثرگذاری حالات مختلف، متغیرهای DO، pH، دما، COD و VSS^۲ اندازه‌گرفته می‌شود. مقدار DO و pH در محتویات حوضچهٔ هوادهی و مقدار COD و VSS در فاضلاب خام ورودی و در پساب خروجی اندازه‌گیری می‌شود. میزان تولید لجن در حالات مختلف توسط ضریب Y (نسبت بیومس تولیدی به مواد مغذی مصرفی، ضریب عملکرد) تعیین شد [۱۶]. ضریب تولید لجن، Y، براساس مقدار COD و VSS در جریان ورودی و خروجی و با استفاده از رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود.

$$Y = \frac{VSS_{out} - VSS_{in}}{COD_{in} - COD_{out}} \quad (3)$$

در رابطهٔ بالا، VSS_{in} میزان جامدات محلول فرار جریان ورودی، VSS_{out} میزان جامدات محلول فرار جریان خروجی، COD_{in} مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی جریان ورودی و COD_{out} مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی جریان خروجی هستند. برای اندازه‌گیری مقادیر pH، VSS، TS، TSS و COD و DO مطابق روش‌های استاندارد ۲۰۰۵ عمل شد. COD به روش اسپکتروفتومتری و با دستگاه Hack 5000 و مقادیر VSS، TSS، TS به روش وزن‌سنجی اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱. پایلوت لجن فعال



شکل ۲. شماتیک پایلوت آزمایشگاهی

جدول ۱. مشخصات فاضلاب خام و لجن تصفیه‌خانه فاضلاب قیطریه

متغیر	واحد	فاضلاب خام	لجن
اکسیژن‌خواهی شیمیایی محلول COD	mg/l	۲۵۳	۱۵۳
اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی BOD	mg/l	۱۷۶	---
مواد جامد کل TS	mg/l	۶۶۰	۱۳۵۶۰
مواد جامد معلق TSS	mg/l	۴۵۱	۱۰۷۵۰
مواد جامد معلق فرار VSS	mg/l	۳۹۶	۵۱۸۰
pH		۸/۱	۷/۶

سرعت چرخش توربین و میزان انرژی وارده را به لجن کنترل کرد.

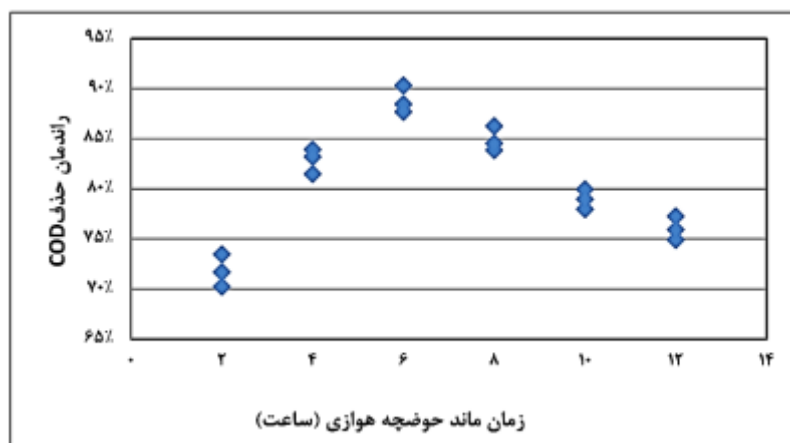
۳. نتایج و بحث

به‌منظور تعیین زمان ماند حوضچه لجن فعال، پایلوت آزمایشگاهی در زمان ماند‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ ساعت راه‌اندازی شد. برای هر زمان ماند شش آزمایش انجام گرفت. از آنجا که هدف از تصفیه فاضلاب کاهش مقادیر آلاینده‌ها در آن است و COD به‌عنوان معیاری برای بیان میزان بار آلاینده‌ها است، بهینه‌کردن زمان ماند در حوضچه‌ها براساس این معیار صورت گرفت. شکل ۳ تغییرات درصد حذف COD در زمان ماند‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین حذف در زمان ماند شش ساعت محقق شد. با افزایش زمان ماند راکتور هوادهی، مدت‌زمانی که میکروارگانیسم‌های موجود در لجن با فاضلاب خام در تماس‌اند، افزایش می‌یابد. در

حوضچه بی‌هوازی استفاده‌شده در فرایند OSA ظرف شیشه‌ای در بسته و محصور است که ۲۵۰ میلی‌لیتر لجن را در خود جای می‌دهد. برای تغذیه حوضچه بی‌هوازی، ۵۰۰ میلی‌لیتر از محتویات سامانه SBR برداشته شد و پس از ته‌نشینی ۲۵۰ میلی‌لیتر آن دفع شده و ۲۵۰ میلی‌لیتر باقیمانده وارد حوضچه بی‌هوازی شد. علت دفع ۲۵۰ میلی‌لیتر از ۵۰۰ میلی‌لیتر لجن برداشتی، واردکردن حجم کمتر ولی غلیظ‌تر لجن به حوضچه‌های جانبی است که موجب کاهش هزینه می‌شود. حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر معادل ۸ درصد حجم حوضچه هوادهی است که در مقیاس واقعی درصد قابل قبولی برای بهره‌برداری از تصفیه‌خانه است [۱۲]. اعمال گرمایش به لجن برگشتی از طریق تبدلی حرارتی صورت می‌گیرد که در مسیر برگشت لجن جانمایی شده است. تنش برشی نیز از طریق توربینی چهارپره که به موتوری الکتریکی متصل است به لجن اعمال می‌شود. با تنظیم ولتاژ جریان ورودی می‌توان

هشت ساعته در شبانه روز کار می کند. هر دوره هشت ساعته شامل شش ساعت هوادهی، ۱/۵ ساعت ته نشینی و ۳۰ دقیقه زمان تخلیه و بارگذاری مجدد است. زمان ته نشینی ۱/۵ ساعت با توجه به زمان مورد نیاز برای ته نشینی لخته ها در حوضچه ته نشینی تعیین شد.

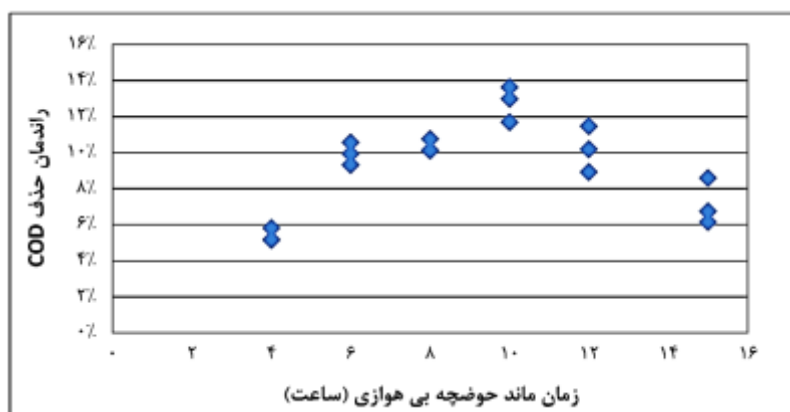
این زمان، پس از اتمام مواد آلی قابل مصرف، میکروارگانیسمها شروع به مصرف اندوخته غذایی خود می کنند و رفته رفته مرگومیر در میان جمعیت میکروبی شروع می شود. با افزایش مرگومیر میکروارگانیسمها بخشی از مواد موجود در سلول آنها آزاد می شود و به صورت محلول درمی آید که این موجب افزایش میزان COD خروجی می شود. به این ترتیب، پایلوت در سه دوره



شکل ۳. تغییرات بازده حذف COD در فرایند لجن فعال متعارف با زمان ماند های مختلف حوضچه هوادهی

زمان ماند ده ساعت حوضچه بی هوازی مشاهده می شود که در ادامه مطالعات برای بهره برداری از سامانه مد نظر قرار گرفت. کاهش بازدهی حذف COD در زمان ماند های بیشتر از ده ساعت و تغییر غلظت مواد جامد فرار لجن، به علت مرگومیر احتمالی میکروارگانیسمها در زمان ماند بالاست. با کاهش غلظت مواد جامد فرار، غلظت قسمت غیر فرار افزایش می یابد که موجب کاهش بازدهی می شود.

پس از تعیین زمان ماند برای سامانه هوادهی، لازم است زمان ماند حوضچه بی هوازی در سامانه OSA نیز تعیین شود. برای این منظور، تغییرات درصد حذف COD در زمان ماند های ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۵ ساعت در حوضچه بی هوازی مد نظر قرار گرفت. در شکل ۴، تغییرات درصد حذف COD در فرایند OSA در زمان ماند های مختلف حوضچه بی هوازی نشان داده شده است. در این شکل، بیشترین درصد حذف COD در



شکل ۴. تغییرات بازده حذف COD در فرایند OSA با زمان ماند های مختلف راکتور بی هوازی

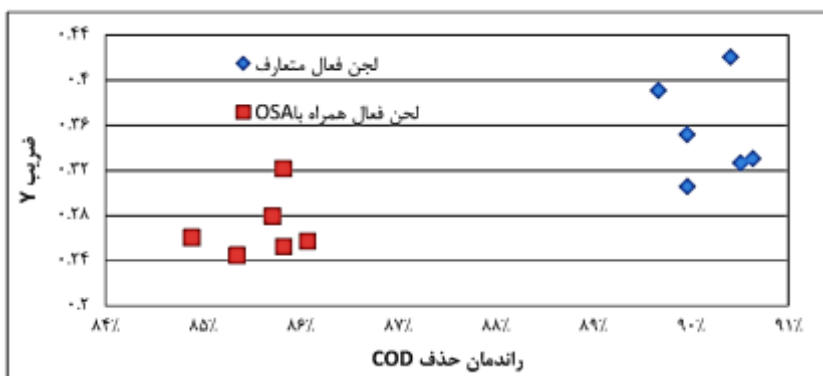
شش دوره کاری مختلف به صورت اتفاقی برای نمونه گیری انتخاب شد. شکل ۵ نشانگر تغییرات ضریب Y در دو حالت لجن فعال

در ابتدای راه اندازی، سامانه OSA به مدت ده روز برای رسیدن به شرایط پایدار بهره برداری می شود. بعد از طی این مدت،

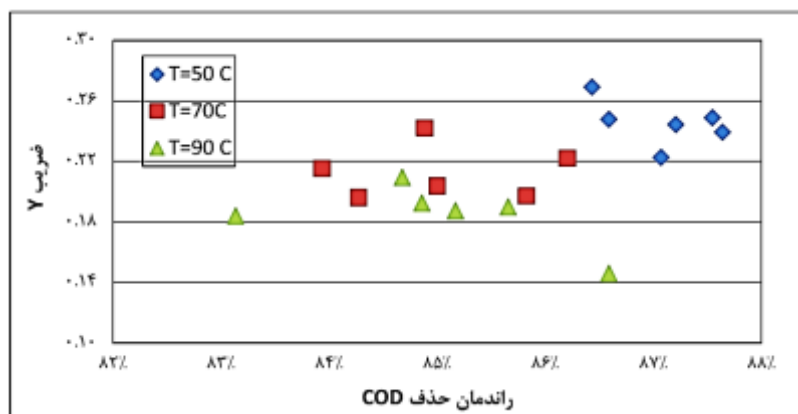
مشاهده می‌شود، کمترین ضریب Y در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد حاصل می‌شود که در این حالت درصد کاهش حجم لجن به ۴۸ درصد رسید. در حالت تصفیه حرارتی لجن، میزان حذف COD به ۸۵ درصد کاهش یافت که در عمل تغییرات معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. کاهش در بازدهی حذف COD به‌نظر می‌رسد به‌علت شکسته‌شدن لخته‌های لجن در محیط پرتنش بی‌هوازی باشد. اسپور یک فرم مقاوم باکتری است که در شرایط نامساعد محیطی از جهت دما و pH و وجود مواد سمی قابلیت فعالیت دارند. با افزایش دما، باکتری‌های هتروتروف مزوفیلیک بدون اسپور می‌میرند؛ به‌عبارت دیگر، مرگ‌ومیر حرارتی^۱ اتفاق می‌افتد. در این حالت، چون عده‌ای از باکتری‌های غیر فعال شده می‌میرند، سرعت تجزیه کاهش می‌یابد و فعالیت میکروارگانیسم‌ها کاهش می‌یابد. همچنین، تولید سلول جدید هم کمتر می‌شود که در نهایت موجب کاهش در حجم لجن می‌شود.

متعارف و سامانه OSA است. با توجه به این نمودار، مشاهده می‌شود کاهش شایان توجهی در ضریب Y در صورت استفاده از سامانه OSA ایجاد می‌شود. دمای سامانه در حالت لجن فعال متعارف ۲۴ درجه سانتیگراد است که متوسط ضریب Y در این دما در فرایند لجن فعال متعارف ۰/۳۵ به‌دست آمد. با واردکردن حوضچه OSA در فرایند لجن فعال متعارف در همان دمای قبلی، میزان Y به ۰/۲۷ (۲۴ درصد کاهش در لجن تولیدی) می‌رسد. همچنین، مشاهده می‌شود درصد حذف COD در فرایند لجن فعال متعارف به‌صورت میانگین برابر ۹۰ درصد و در فرایند OSA، ۸۶ درصد است؛ یعنی علی‌رغم کاهش شایان توجه میزان لجن تولیدی، تغییرات در میزان حذف COD بسیار محدود است.

شکل ۶ و جدول ۲ نشانگر تغییرات ضریب Y و متغیرهای بهره‌برداری از سامانه در شرایط اعمال دماهای ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه سانتیگراد طی فرایند OSA است. میانگین ضریب Y در دماهای بالا به‌ترتیب برابر با ۰/۲۴، ۰/۲۱ و ۰/۱۸ تعیین شد. همان‌طور که



شکل ۵. تغییرات ضریب Y و درصد حذف COD در دو حالت لجن فعال متعارف و فرایند OSA



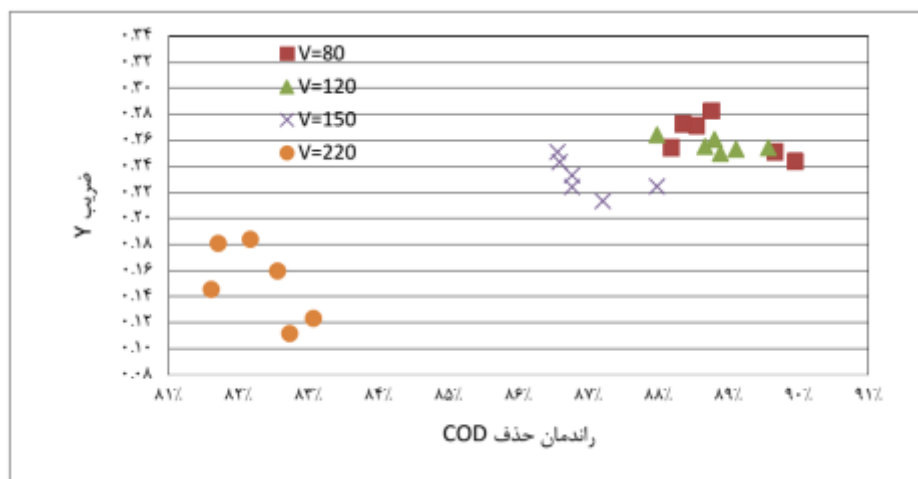
شکل ۶. تغییرات ضریب Y و درصد حذف COD در شرایط اعمال دماهای مختلف در فرایند OSA

جدول ۲. مقادیر متوسط متغیرهای بهره‌برداری اندازه‌گیری شده در حالت OSA همراه با حرارت‌دهی

دمای لجن (°C)			متغیر اندازه‌گیری شده (mg/l)
۹۰	۷۰	۵۰	
۲۵۶	۲۵۵	۲۶۰/۷	COD ورودی
۳۸/۳	۳۸/۲	۳۳/۷	COD خروجی
۲۱۶۷/۸	۲۱۸۶/۵	۲۱۸۶/۵	VSS ورودی
۲۲۰۸	۲۲۱۴/۷	۲۲۴۲/۲	VSS خروجی

در شکل ۷، نحوه تغییرات بازده حذف COD در حالات مختلف اعمال تنش برشی نشان داده می‌شود. طبق شکل ۷ و جدول ۳ در ولتاژ ۲۲۰ ولت میزان بازده حذف COD به صورت میانگین برابر ۸۲ درصد است که نسبت به حالت لجن فعال متعارف به‌طور شایان توجهی کمتر است. در این حالت، میانگین COD خروجی به عدد ۴۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌رسد که قابل قبول نیست. بدون در نظر گرفتن ولتاژ ۲۲۰ ولت، کمترین ضریب Y مربوط به ولتاژ ۱۵۰ ولت و زمان ماند ۱۰ ثانیه است.

در مرحله بعد، لجن تحت تنش برشی قرار می‌گیرد. مقدار انرژی وارده به سامانه با استفاده از پارامترهای ولتاژ و مدت‌زمان اعمال تنش برشی کنترل می‌شود. ولتاژهای بررسی شده در این مرحله از تحقیق ۸۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۲۲۰ ولت هستند و زمان ماند لجن در راکتور برش مکانیکی نیز ده ثانیه در نظر گرفته شد. زمان ماند ده ثانیه براساس مقدار انرژی که به سامانه در این مدت وارد می‌شود و ملاحظات اجرایی انتخاب شد. تنظیم کارکرد سامانه در زمان ماندهای کمتر دشوار است و در زمان ماندهای بیشتر نیز مقدار انرژی وارده به سامانه افزایش می‌یابد که ممکن است موجب افت عملکرد آن شود.



شکل ۷. بررسی تغییرات بازده حذف COD در اثر اعمال تنش برشی به سامانه

جدول ۳. مقادیر متوسط متغیرهای بهره‌برداری اندازه‌گیری شده در حالت OSA به همراه برش مکانیکی

ولتاژ (ولت)				متغیر اندازه‌گیری شده (mg/l)
۲۲۰	۱۵۰	۱۲۰	۸۰	
۲۵۶/۲	۲۵۷/۳	۲۵۶/۸	۲۶۲	COD ورودی
۴۵/۳	۳۳/۵	۲۸/۷	۲۹	COD خروجی
۱۹۸۱/۸	۲۱۷۸/۲	۲۱۸۴/۳	۲۱۷۰/۳	VSS ورودی
۲۰۱۳/۷	۲۲۳۰	۲۲۴۲/۸	۲۲۳۲	VSS خروجی

۴. جمع‌بندی

کاهش در ضریب Y یا به عبارت دیگر کاهش در حجم لجن ۳۴ درصد است. میزان COD جریان خروجی در حالت OSA به صورت میانگین برابر ۳۸ میلی گرم در لیتر است که این مقدار در حالت استفاده از حرارت‌دهی به همراه OSA دچار تغییرات محسوسی نمی‌شود، ولی در حالت OSA به همراه برش مکانیکی مقدار مذکور به ۳۴ میلی گرم در لیتر کاهش می‌یابد؛ بنابراین به نظر می‌رسد می‌توان با حرارت‌دهی لجن برگشتی میزان لجن تولیدی را به میزان شایان توجهی کاهش داد، در حالی که بازدهی فرایند برش مکانیکی به اندازه حرارت‌دهی مشهود نیست؛ بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده از حرارت‌دهی راهکار مناسب‌تری از لحاظ هزینه و عملکرد برای استفاده در تصفیه‌خانه‌ها باشد. شایان ذکر است بررسی شاخص‌های آبدی لجن تصفیه‌شده و امکان‌سنجی اجرایی فرایند بحث‌شده در این تحقیق اهمیت بسیار بالایی دارد که در مطالعات آتی باید مد نظر قرار گیرد.

در این تحقیق، اثر ترکیبی استفاده از روش OSA با حرارت‌دهی و نیز اعمال تنش برشی در کاهش میزان لجن تولیدی در فرایند تصفیه لجن فعال فاضلاب بررسی شد. نتایج نشانگر این است که با استفاده از فرایند OSA، به‌تنهایی می‌توان به ۲۴ درصد کاهش حجم لجن دست یافت. در صورت افزودن تصفیه گرمایی به فرایند OSA این میزان کاهش، افزایش می‌یابد که در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد به ۴۸ درصد می‌رسد. میزان حذف COD در لجن فعال و فرایند OSA به ترتیب برابر با ۹۰ و ۸۵ درصد است که این مقدار در پالایش گرمایی در دماهای ۵۰، ۷۰، ۹۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۸۷، ۸۵ و ۸۵ درصد تعیین شد. این ارقام نشانگر کاهش حجم قابل قبولی در میزان تولید لجن همراه با افت جزئی در مشخصات پساب خروجی است. در مقایسه بین حالت لجن فعال متعارف و حالت OSA به همراه تنش برشی میزان

مراجع

- [1]. Laurent, J., Jaziri, K., Guignard, R., Casellas, M., Dagot, C. (2011). "Comprehensive insight of the performances of excess sludge reduction by 90 °C thermal treatment coupled with activated sludge at pilot scale: COD and Nremoval, bacterial populations, fate of heavy metals", *Process Biochemistry*, 46, 1808–1816.
- [2]. Perez, E.S., Nieto Diez, I., Polanco, P.F. (2006). "Sludge minimization technologies", *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 5, 375–398.
- [3]. Riedel, J.R., (2009). "An investigation into the mechanisms of sludge reduction technologies", M.s Thesis Virginia Polytechnic Institute, USA.
- [4]. Renze, T.Y., Houtenb, V., Borgerb, A.R., Eikelboomb, D.H., Fana, Y. (2003). "Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment," *Water Research Journal*, 37, 4453-4467.
- [5]. Low, E.W., Howard, A. (1998). "Reducing production of excess biomass during wastewater treatment", *Water Research Journal*, 33(5), 1119-1132.
- [6]. Novak, J.T., Chon, D.H., Curtis, B., Doyle, M. (2007). "Biological solids reduction using the cannibal process", *Water Environment Research*, 79(12), 2380-2386.
- [7]. Ramesh, K., Goel, D., Noguera, R. (2006). "Evaluation of sludge yield and phosphorus removal in a cannibal solids reduction process", *Journal of Environmental Engineering*, 132(10), 1331-1337.
- [8]. Mohammadi, A., Mehrdadi, N., Nabi Bidhendi, G., Torabian, A. (2011). "Excess sludge reduction using ultrasonic waves in biological wastewater treatment", *Desalination*, 275(1-3), 67-73.
- [9]. Wang, J., Zhao, Q., Jin, W., Lin, J. (2008). "Mechanism on minimization of excess sludge in oxic-settling anaerobic (OSA) process", *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, 2(1), 36–43.
- [10]. Felodari, P., Andreottola, G., Ziglio, G. (2010). "Sludge reduction technologies in wastewater treatment plant", First Ed., IWA Pub. Co., New York, USA.
- [11]. Ye, X., Li, Y. (2010). "Oxic-settling-anoxic (OSA) process combined with 3,3,4,5-tetrachlorosalicylanilide (TCS) to reduce excess sludge production in the activated sludge system", *Biochemical Engineering Journal*, 49, 229–234.

- [12]. Ye, F.X., Fen Zhu, R., Li, Y. (2010). "Effect of sludge retention time in sludge holding tank on excess sludge production in the oxic-settling-anoxic (OSA) activated sludge process", *Biochemical Engineering Journal*, 49, 229–234.
- [13]. Chon, D.H., Rome, M.N., Kim, Y.M., Park, K.Y., Park, C. (2011). "Investigation of the sludge reduction mechanism in the anaerobic side-stream reactor process using several control biological wastewater treatment processes," *Water Research Journal*, 4(5), 6021-6029.
- [14]. Sun, L., Randall, W.C., Novak, J.T. (2010). "The influence of sludge interchange times on oxic settling anoxic process", *Water Environment Research*, 82, 519–523.
- [15]. Strüinkmann, G.W., Muller, J.A., Albert, F., Schwedes, J. (2006). "Reduction of excess sludge production using mechanical disintegration devices", *Water Science and Technology*, 54(5), 69-76.
- [16]. APHA, (2005). "Standard methods for the examination of water and wastewater", 18th Ed., American Public Health Association, Washington, DC, USA.