

Performance of Attached Growth Biological Reactor in Wastewater Treatment in Small Communities

Aran Akbari, Ramin Arjmand, Dariush Naghipour, Esmail Rouhbakhsh, Jalil Jaafari*

Department of Environmental Health Engineering, Research Center of Health and Environment, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, Rasht, Iran

* *Corresponding author.* Tel/Fax: +981333822877, E-mail: jalil.jaafari@yahoo.com

Received: May 05, 2024

Accepted: Sep 23, 2024

ABSTRACT

Background & objectives: The attached growth process is an aerobic method for wastewater treatment where microorganisms grow on the surface of a substrate. In this study, a small-scale attached growth reactor was used for wastewater treatment for eight weeks in rural and small communities.

Methods: The average operational parameters of HRT, DO, MLSS, and MLVSS were measured in the pilot-scale reactor. The reactor's ability to remove suspended solids, organic materials such as BOD₅, COD, and nutrients like TP, TKN, 4NH-N, as well as coliforms, was also analyzed. Coliform tests were conducted using the MPN method and dilution, BOD₅ tests were performed with a BOD measuring device, and COD tests were carried out using the COD Set-Ups COD VARIO method and purchased kits.

Results: The average removal efficiency for BOD₅, COD, TP, TKN, NH₄-N, TSS, fecal coliforms, and total coliforms was 73.1%, 82.5%, 48.9%, 58%, 82%, 92.8%, 85%, and 81%, respectively.

Conclusion: The results of this study indicated that the stability of the microbial biomass present in the biofilm is observed after several weeks of system operation, and the attached growth system effectively reduces solids and organic compounds during its various stages. Additionally, acceptable results regarding total and fecal coliforms were obtained in the absence of any disinfection, indicating that the attached growth system can be a suitable option for wastewater treatment in small communities.

Keywords: Small Scale Attached Growth Reactor; Coliform Removal; BOD₅ and COD Removal; Nutrient Removal

عملکرد راکتور بیولوژیکی رشد چسبیده در تصفیه فاضلاب اجتماعات کوچک

آران اکبری، رامین ارجمند، داریوش نقی پور، اسماعیل روح بخش، جلیل جعفری *

گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت و محیط زیست، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران
* نویسنده مسئول. تلفکس: ۰۱۳۳۳۸۲۲۸۷۷ ایمیل: jalil.jaafari@yahoo.com

چکیده

زمینه و هدف: فرآیند رشد چسبیده یک روش هوازی برای تصفیه فاضلاب است که میکروارگانیسم‌ها در سطح بستر رشد می‌کنند. در این پژوهش از راکتور رشد چسبیده در مقیاس کوچک برای تصفیه فاضلاب به مدت هشت هفته در جوامع روستایی و کوچک استفاده شد.

روش کار: میانگین پارامترهای عملیاتی HRT، DO، MLSS و MLVSS در راکتور نصب شده در مقیاس آزمایشی اندازه‌گیری شد. همچنین توانایی راکتور در حذف مواد معلق، مواد آلی مانند BOD₅، COD و مواد مغذی مانند TP، TKN، NH₄-N و همچنین کلیفرم‌ها نیز مورد آنالیز قرار گرفت. آزمایشات کلیفرم با استفاده از روش MPN و رقت، آزمایش BOD₅ با دستگاه اندازه‌گیری BOD و آزمایش COD با استفاده از روش COD Set-Ups COD VARIO و کیت‌های خریداری شده اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: متوسط راندمان حذف برای BOD₅، COD، TP، TKN، TSS، N-NH₄، کلیفرم مدفوعی و کلیفرم کل به ترتیب ۷۳/۱، ۸۲/۵، ۴۸/۹، ۵۸، ۸۲، ۹۲/۸، ۸۵ و ۸۱ درصد بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که پایداری بیومس میکروبی موجود در بیوفیلم پس از چند هفته از راه‌اندازی سیستم مشاهده می‌شود و سیستم رشد چسبیده طی مراحل مختلف خود باعث کاهش مواد جامد و ترکیبات آلی می‌شود. همچنین نتایج قابل قبولی از نظر کلی فرم کل و مدفوعی در صورت نبود هرگونه ضدعفونی به دست آمد، که نشان می‌دهد سیستم رشد چسبیده می‌تواند بعنوان سیستم مناسب جهت تصفیه فاضلاب در اجتماعات کوچک استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: راکتور رشد چسبیده، حذف کلیفرم، حذف BOD₅ و COD، حذف مواد مغذی

دریافت: ۱۴۰۳/۲/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲

مقدمه

در دو دهه گذشته، استفاده از روش‌های بیولوژیکی برای تصفیه فاضلاب تولیدی در شهرها و جوامع کوچک به طور چشمگیری افزایش یافته است. طراحی اولیه و راه‌اندازی سامانه رشد چسبیده همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است به طوری که اگر شرایط اولیه راه‌اندازی راکتور در حالت بهینه نبود، رسیدن به راندمان مناسب غیرممکن بود. سیستم

مورد استفاده (رشد چسبیده) باید اقتصادی، پایدار و سازگار با محیط زیست باشد. سیستم‌های تصفیه فاضلاب باید اهدافی فراتر از سلامت انسان و حتی محیط زیست داشته باشند زیرا کمبود آب یکی از مشکلات اصلی بشر امروزی است. بنابراین، محتوای پساب باید با ایجاد حالت بهینه برای جلوگیری از پدیده اوتروفیکاسیون در رودخانه‌ها حذف شود (۵-۱). تصفیه فاضلاب در جوامع کوچک عمدتاً مبتنی بر

سیستم (رشد چسبیده) از بخش آنوکسیک و هوازی با هم برای حذف نیتروژن و از بخش بی هوازی- هوازی برای حذف فسفر از فاضلاب استفاده می‌شود و این فسفر به صورت PHB (پلی هیدروکسی بیورات) در ساختار باکتریایی ذخیره می‌شود (۲۱-۱۸).

از آنجایی که تصفیه فاضلاب در جوامع نیمه متمرکز با استفاده از روش رشد چسبیده به اندازه کافی مورد مطالعه قرار نگرفته است و هنوز مطالعات کافی بر روی میکروارگانیسم‌های معلق و متصل درگیر در فرآیند رشد چسبیده انجام نشده است، هدف این مطالعه ارزیابی کارایی مقیاس کامل سیستم رشد چسبیده برای حذف مواد مغذی و مواد آلی در فاضلاب جوامع کوچک است.

روش کار

راکتور رشد چسبیده در مقیاس آزمایشی

برای این مطالعه، راکتور رشد چسبیده در یک جامعه کوچک خانگی (در رشت، گیلان، ایران) قرار گرفت. راکتور از فولاد ساخته شده بود و حاوی بستر ساخته شده از پلی پروپیلن پوشیده از باکتری بود. سطح ویژه محیط (SSA^2) در تشکیل زیست توده میکروبی و عملکرد سیستم رشد چسبیده بیشترین اهمیت را دارد. این راکتورها به عنوان راکتورهای هوازی- آنوکسیک و بی‌هوازی برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌شوند.

شکل راکتور مستطیلی است. بستر رشد چسبیده در راکتور در حوض هوادهی را می‌توان به راحتی جدا کرد و هر زمان که نیاز به بررسی کیفیت آن باشد از راکتور خارج می‌شوند. مانند سایر روش‌های تصفیه طبیعی، MLSS سیستم هوادهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. خصوصیات پایلوت مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. فاضلاب در سیستم مورد مطالعه در واحدهای متوالی آنوکسیک و بی‌هوازی جریان می‌یابد و سپس در راکتورهای هوازی

روش‌های غیرمتمرکز است و از فناوری‌های طراحی شده برای چنین اهدافی استفاده می‌کند. در جوامع کوچک حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد آب مصرفی به فاضلاب تبدیل می‌شود (۶،۷). فاضلاب هم از آب سیاه و هم از آب خاکستری تشکیل شده است. آب خاکستری شامل دوش، حمام، دستشویی، آشپزخانه و لباسشویی است. ۷۰ درصد آب خاکستری پس از تصفیه قابل شرب است تا بتوان از آن برای آبیاری پارک‌ها یا فلاش تانک‌ها استفاده کرد (۸). پیشرفت‌های رایج در فناوری رشد چسبیده از نظر تنوع میکروبی و حذف نیتروژن و ترکیبات آلی از فاضلاب انجام شده است. یکی از سیستم‌های دیگر مورد استفاده در تصفیه فاضلاب در جوامع کوچک، روش رشد چسبیده است که از تنوع بالایی در میکروارگانیسم‌ها و راندمان حذف نسبتاً قابل قبولی برخوردار است (۹،۱۰).

استفاده از بستر پشتیبان در راکتورهای رشد چسبیده یا فناوری بیوفیلیم در پردازش بیولوژیکی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. توسعه فناوری بیوفیلیم برای تصفیه فاضلاب در سطح جهانی با استفاده از مواد، شکل‌ها و اندازه‌های مختلف با هدف به دست آوردن مساحت سطح ویژه بزرگ است به طوری که می‌تواند تعداد زیادی میکروارگانیسم را به هم متصل کند و بر عملکرد راکتور تأثیر بگذارد (۱۱-۱۳).

رشد چسبیده یک روش هیبریدی تصفیه فاضلاب می‌باشد که ترکیبی از سیستم‌های رشد معلق با رشد چسبیده میکروارگانیسم‌ها است (۱۴،۱۵). برخلاف لجن فعال، این نوع سیستم نیازی به برگشت لجن ندارد. این سیستم در نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون همزمان کارایی بالایی از خود نشان می‌دهد. برخی از پارامترها مانند زمان ماند هیدرولیکی (HRT^1) و اکسیژن محلول (DO) در عملکرد این فرآیند موثر هستند. این روش (رشد چسبیده) تراکم باکتریایی کمتری نسبت به روش MBBR دارد (۱۶،۱۷). در این

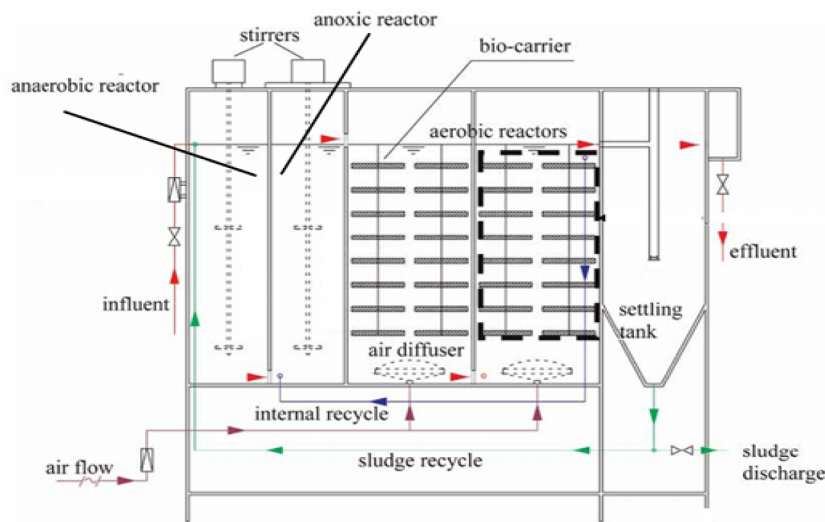
² Specific Surface Area

¹ Hydraulic Retention Time

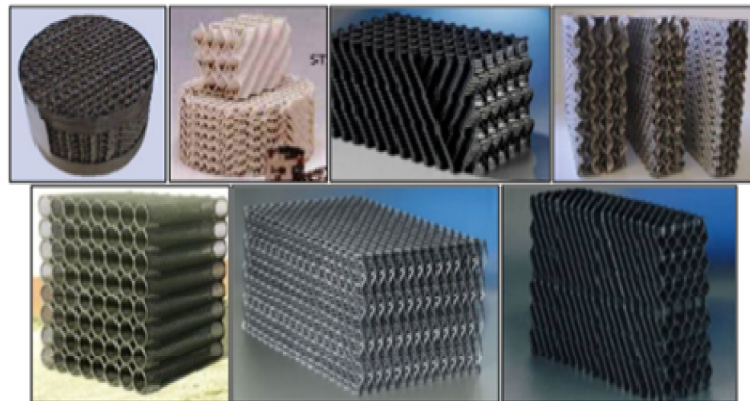
جدول ۱. مشخصات راکتور نصب شده در سیستم رشد چسبیده

مقدار	پارامتر
۱۳-۲۰	جمعیت (نفر)
۳	تعداد خانوار
۱/۶-۲	دبی فاضلاب (مترمکعب در روز)
۰/۴ - ۰/۵	بارگذاری آلی بر حسب کیلوگرم BOD ₅ در روز
۷/۹۳	حجم موثر راکتور (مترمکعب)
۸/۲	حجم کلی پکیج تصفیه فاضلاب (مترمکعب)

با استفاده از دیفیوزرهای واقع در پایین آنها هواده می شود. جریان فاضلاب در این سیستم به صورت متناوب در واحدهای آنوکسیک و بی هوازی مبادله می شود. نمودار شماتیک داخلی راکتور در شکل ۱ نشان داده شده است و مشخصات راکتورهای طراحی شده در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱. شماتیک فرآیند رشد چسبیده نصب شده



شکل ۲. بستر نصب شده در راکتور رشد چسبیده

تکراری نیز برای اطمینان از مقادیر به دست آمده انجام شد و در نهایت مقدار میانگین آن‌ها در بخش نتایج گزارش شد. نمونه برداری از ژوئن تا سپتامبر ۲۰۱۸ به مدت هشت هفته انجام شد و از یک راکتور رشد چسبیده استفاده شد. نتایج تجزیه و تحلیل انجام

جمع آوری و تجزیه و تحلیل نمونه

نمونه برداری در هشت هفته انجام شد و نمونه‌ها از راکتور جمع آوری شد. برای اندازه‌گیری ترکیباتی که در فاضلاب محلول هستند، نمونه را با کاغذ صافی ۰/۲۲ میکرومتر فیلتر کردیم. نمونه‌گیری به صورت

جدول ۲. شناسایی فاضلاب ورودی به راکتور

پارامتر	واحد	میانگین
PH	-	۷
دما	°C	۲۸/۳
هدایت الکتریکی	μS/cm	۸۵۵
کدورت	NTU	۷۵
قلیابیت	mg/L	۲۸۴
BOD5	mg/L	۱۳۹
COD	mg/L	۳۶۲/۵۷۵
TSS	mg/L	۲۴۹/۸۳
NH3-N	mg/L	۱۲/۲
TKN	mg/L	۳۷/۵
TP	mg/L	۱۰/۲

یافته‌ها و بحث

مقادیر میانگین پارامترهای بهره‌برداری سیستم مورد مطالعه در مقیاس پایلوت در جدول ۳ مشاهده می‌شود. در دو هفته اول بهره‌برداری، راکتورها در حالت ناپیوسته کار می‌کردند و HRT برای تطبیق با شرایط، بالا نگه داشته شد. در طول دوره آزمایش، پارامترهای بهره‌برداری تغییر کرده است، همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است. این تغییرات مربوط به HRT، MLSS، MLVSS، DO است به طوری که میانگین HRT راکتور ابتدا ۱۷/۷ ساعت بود و سپس به ۷/۱ ساعت کاهش یافت.

جدول ۳. مقادیر میانگین پارامترهای عملیاتی در شرایط اولیه اعمال شده در راکتورهای نصب شده در مقیاس آزمایشی

پارامتر	هفته اول	هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم	هفته ششم	هفته هفتم	هفته هشتم
HRT (h)	۱۷/۷	۱۳/۲	۹/۴	۷/۳	۵/۶	۴/۲	۷/۲	۷/۱
DO (mg/l)	۶/۵	۵/۱	۲/۰	۲/۸	۲/۳	۳/۵	۲/۵	۲/۸
MLSS (mg/l)	۴۷۰	۷۳۰	۸۹۰	۱۲۷۰	۱۳۵۰	۱۸۱۰	۱۹۲۰	۱۸۸۰
MLVSS	۲۶۰	۶۴۰	۶۳۰	۸۸۰	۹۲۰	۱۳۹۰	۱۶۱۰	۱۵۲۰

میلی گرم در لیتر رسید. کیفیت بیومس چسبیده در این سیستم در هفته چهارم به بعد نسبتاً بالا بود به طوری که کارایی نسبتاً خوبی در تصفیه فاضلاب داشت. در هفته‌های پایانی، وزن بیومس نهایی به ۳۰۰۰ میلی گرم در لیتر رسید. جدول ۴ مقادیر

شده بر روی ورودی و خروجی راکتور به صورت مقادیر متوسط گزارش شد. برای تعیین عملکرد راکتورها آزمایشات مختلفی مانند pH، دما، COD، BOD_۵، NH₃-N، TKN، TSS، NO₃-N، MLSS، MLVSS، فسفر کل، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی به صورت هفتگی اندازه گیری شد.

ابزار

pH و غلظت DO به صورت آنلاین در محل نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه قابل حمل Hach (مدل Sension-159) اندازه گیری شد. تمام آنالیزهای رنگ سنجی برای پارامترهایی مانند مرئی-فرابنفش^۱ (مدل: ۵۰۰۰) توسط کیت اندازه‌گیری hach و TKN با هضم و به روش کیت اندازه‌گیری شد. آزمایشات میکروبی با استفاده از روش MPN و رقت و آزمایش BOD_۵ با روش استاندارد و دستگاه اندازه‌گیری BOD (مدل BD 600, AQUALITIC) انجام شد. COD با استفاده از روش COD Set-Ups COD VARIO و کیت‌های خریداری شده از AQUALITIC اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های فاضلاب ورودی به راکتور در جدول ۲ خلاصه شده است.

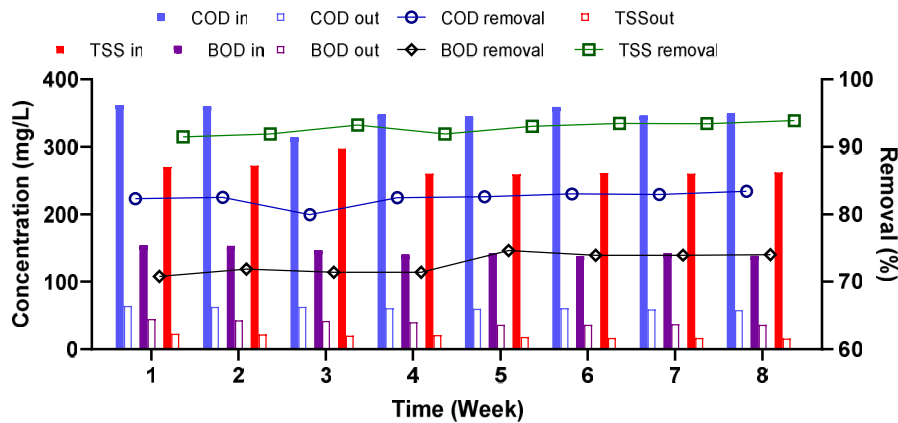
داشتهن بیومس غنی از میکروارگانیزم‌ها در راکتورهای رشد چسبیده در طول تصفیه فاضلاب، به ویژه در مراحل اولیه تصفیه، اهمیت ویژه‌ای دارد. به طوری که در هفته‌های پنجم و ششم فعالیت راکتورها، میانگین بیوفیلم چسبیده به حدود ۲۵۰۰

¹ Ultraviolet Visible Spectrophotometer

میانگین پارامترهای مختلف ورودی و خروجی راکتورهای نصب شده را نشان می‌دهد.

حذف ترکیبات آلی

شکل ۳ کارایی حذف ترکیبات آلی و جامدات مختلف را در روش رشد چسبیده در هفته‌های مختلف عملیات پایلوت نشان می‌دهد.



شکل ۳. راندمان حذف ترکیبات آلی و جامدات مختلف به روش رشد چسبیده در طول ۸ هفته آزمایش

سوم رسید که کمترین راندمان در طول این هشت هفته بود و بعد از آن مجدداً افزایش یافته و در هفته پایانی پروژه به حدود ۸۳ درصد رسید. نتایج بدست آمده از مطالعه بر روی تصفیه فاضلاب روغن پالم با استفاده از رشد چسبیده ثابت نشان داد که عملکرد حذف COD ۹۶/۵، ۹۱/۲، ۸۹/۱، ۸۶/۵ و ۸۱ درصد با کاهش HRT در ۷۲، ۴۸، ۲۴، ۱۲ و ۶ ساعت بود. در تمام شرایط HRT (۶-۷۲ ساعت)، حداقل و حداکثر حذف COD به ترتیب ۸۰ و ۹۵/۴ درصد بود، که نشان می‌دهد راندمان حذف COD در این مطالعه نسبت به مطالعه حاضر بالاتر بوده است (۲۲). راندمان حذف BOD در هفته اول پروژه با حدود ۷۰ درصد، کمترین راندمان در طول هشت هفته بود و در هفته دوم تا چهارم با راندمان حذف حدود ۷۱ درصد ثابت ماند و در هفته پنجم به حدود ۷۴ درصد رسید و در هفته پایانی پروژه نیز راندمان در حدود ۷۴ درصد بود.

راندمان حذف TSS در دو هفته اول ثابت و حدود ۹۱ درصد بود و سپس به حدود ۹۳ درصد در هفته سوم رسید. در هفته چهارم راندمان حذف کاهش یافت و

همان طور که از نمودارهای شکل ۳ مشاهده می‌شود، راندمان حذف پارامترهای مختلف از هفته دوم به بعد به شرایط ایده‌آل رسیده و کارایی عالی دارد. پس از تثبیت شرایط ایده‌آل در راکتور از نظر پارامترهای عملیاتی مانند DO، HRT، MLSS، میانگین مقادیر خروجی COD، BOD و TSS در راکتور به ترتیب به ۶۱، ۳۹ و ۱۹ میلی گرم در لیتر رسید. با این حال، بخش هوایی رشد چسبیده مهمترین بخش از نظر حذف مواد آلی است. در طول دوره هوادهی در سیستم رشد چسبیده، میانگین غلظت COD ورودی در راکتور ۳۴۸ mg/L و میانگین غلظت COD خروجی ۶۱ mg/L گزارش شد. این نشان‌دهنده تأثیر سیستم رشد چسبیده در حذف ترکیبات آلی است. شکل ۳ راندمان حذف ترکیبات آلی (COD و BOD₅) را در زمان‌های مختلف در راکتور نصب شده نشان می‌دهد. سطوح حذف COD در طول هشت هفته و عملکرد دستگاه نصب شده در شکل ۳ نشان داده شده است. راندمان حذف COD در دو هفته اول تقریباً ثابت و حدود ۸۲ درصد بود و سپس شروع به کاهش کرد به طوری که به حدود ۸۰ درصد در هفته

افتاد. به دلیل کمبود اکسیژن در سیستم‌های رشد چسبیده، معمولاً محدودیت‌هایی برای نیتروفیکاسیون ایجاد می‌شود با این حال راکتور عملکرد مناسبی را از نظر نیتروفیکاسیون و حذف NH_3 از خود نشان داد. طبق شکل ۴، بیشترین راندمان دینتروفیکاسیون و حذف نیترات در هفته اول و سوم مشاهده می‌شود که راندمان راکتور در این دو هفته حدود ۴۰ درصد بود. غلظت NO_3 ورودی به راکتور طی هشت هفته از ۱۰ تا ۲۲ میلی گرم در لیتر و غلظت NO_3 خروجی از ۶ تا ۲۵ میلی گرم در لیتر متغیر بود. طی دو هفته پایانی مقادیر NO_3 خروجی بیشتر از NO_3 ورودی بود که نشان‌دهنده پدیده نیتروفیکاسیون همراه با دینتروفیکاسیون است (۲۵).

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین راندمان حذف TN مربوط به هفته‌های اولیه و میانی پروژه (هفته دوم، سوم و چهارم) بود که در این بین هفته دوم با ۷۹ درصد بیشترین راندمان را داشت. کمترین راندمان حذف TN در هفته هفتم با راندمان ۵۱/۷ درصد بود. این نتایج همچنین مشابه نتایج بدست آمده توسط رابرتسون^۲ است که راندمان حذف را ۶۷/۳ درصد گزارش کرد که نشان می‌دهد حذف N_2 نسبتاً مناسب بوده است. این امر می‌تواند ناشی از تشکیل بیوفیلم‌های میکروبی هوازی به دلیل وجود سودوموناس و آلکالیژنس باشد که از باکتری‌های نیتروفاایر غالب در محیط هستند و نشان‌دهنده نیتروفیکاسیون و دینتروفیکاسیون مناسب است (۲۶).

شکل ۴ نشان می‌دهد که این سیستم در حذف فسفر از فاضلاب راندمان کمتری نسبت به حذف نیتروژن دارد. این می‌تواند به دلیل حرکت مکرر از سیستم بی هوازی به سیستم هوازی باشد زیرا گونه‌های خاصی از باکتری‌ها در بیوفیلم مسئول حذف فسفر از محیط هستند (باکتری‌های PAQS). بنابراین، فاضلاب ابتدا باید از مسیر بی هوازی عبور کند و سپس این

به مقدار اولیه خود یعنی ۹۱ درصد رسید و از هفته پنجم تا هشتم با ۹۳ درصد ثابت ماند. نتایج مطالعه الدهوی^۱ و همکاران از عملکرد راکتور رشد چسبیده، راندمان پایین‌تر این راکتور را در حذف TSS نشان می‌دهد. در این مطالعه حذف TSS در محدوده ۸۶ تا ۸۰ درصد با کاهش زمان ماند هیدرولیکی متغیر بود (۲۲). مشاهده غلظت COD در ورودی به راکتور حاکی از عدم نوسان است و ورودی فاضلاب دارای مقادیر نسبتاً ثابتی از مواد آلی در طول دوره طراحی است در شرایط بی هوازی، بوهای نامطبوع از راکتورها متصاعد می‌شود که می‌تواند باعث نگرانی و مشکلاتی در حین کار شود. مقادیر TSS ورودی و خروجی راکتور مشابه مقادیر COD و BOD_5 در شکل ۳ نشان داده شده است.

حذف نیتروژن و فسفر

یکی از مشکلات عمده فاضلاب در کشورهای در حال توسعه، تخلیه نیتروژن و فسفر از مواد غذایی و کارخانه‌های شیمیایی است که توسط فعالیت‌های انسانی در بخش کشاورزی و دامداری تولید می‌شود. شکل ۴ مقدار پارامترهای مختلف نیتروژن و فسفر را از راکتورهای مختلف در طول هشت هفته آزمایش را نشان می‌دهد. علائم اولیه نیتروفیکاسیون تقریباً در پایان هفته اول بهره برداری از راکتور مشاهده شده است. همچنین، افزایش تدریجی نیتروفیکاسیون در هفته‌های اولیه پروژه اتفاق می‌افتد، اما زمان دقیق مورد نیاز برای نیتروفیکاسیون نامشخص است (۲۳). در سال‌های اخیر تحقیقات زیادی در زمینه شناسایی همزمان نیتروفیکاسیون و دینتروفیکاسیون انجام شده است (۲۴).

مقدار NH_3 در پساب ورودی و خروجی در شکل ۴ نشان داده شده است. مقادیر NH_3 ورودی به راکتور از ۱۰/۹ تا ۱۳/۲ و NH_3 خروجی از ۱/۸۴ تا ۲/۸۱ متغیر بود. بیشترین راندمان نیتروفیکاسیون و حذف NH_3 در هفته هفتم با راندمان حدود ۸۴ درصد اتفاق

^۲ Robertson

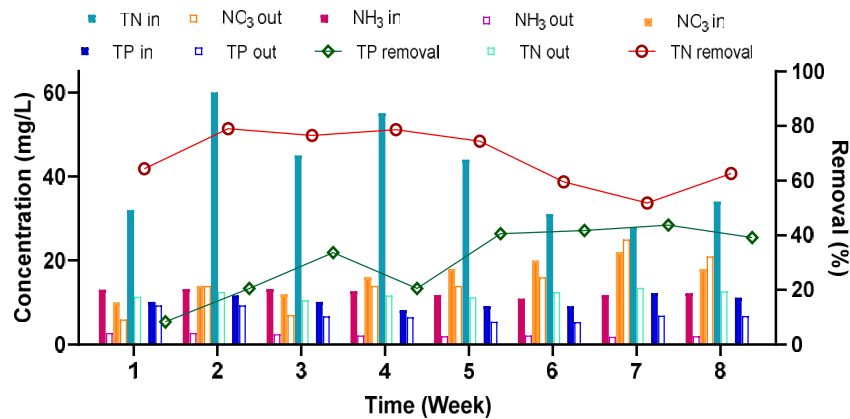
^۱ Al-dhawi

کلیفرم‌های مدفوعی و کل مورد بررسی قرار گرفت. میانگین کلیفرم‌های کل و مدفوعی در ورودی فاضلاب به راکتور به ترتیب $5/2 \times 10^5$ و $7/3 \times 10^5$ بود. سایر محققانی که مطالعاتی در این زمینه انجام داده‌اند، تعداد باکتری‌ها را نزدیک به این محدوده شناسایی کرده‌اند (۳۲،۳۱).

در پساب راکتور، میانگین غلظت کلی فرم کل و مدفوع به ترتیب $1/1 \times 10^5$ و 7×10^4 بود. میزان حذف برای کلیفرم‌های مدفوعی و کل به ترتیب ۸۵ و ۸۱ درصد برآورد شد. لازم به ذکر است که هیچ ماده ضد عفونی کننده‌ای برای تصفیه بیولوژیک استفاده نشده است. البته سیستم رشد چسبیده قابلیت کاهش سایر پاتوژن‌ها مانند سالمونلا، شیکلا و لپتوسپیروز را نیز آشکار کرده است. این تحقیق نشان داده است که سیستم رشد چسبیده قادر به کاهش میکروارگانیزم‌های مختلف از پساب، در غیاب گذردایی است (۳۰، ۳۳).

باکتری‌ها فسفر را در بخش هوازی خود انباشته کنند که در این مطالعه مشاهده شد که این مناطق از بیوراکتور برای حذف نامناسب هستند (۲۹-۲۷). مقدار فسفات در فاضلاب ورودی می‌تواند از $8/14 \text{ mg/L}$ تا $12/22 \text{ mg/L}$ میلی گرم در لیتر متغیر باشد و مقدار آن در پساب سیستم تصفیه از $5/32 \text{ mg/L}$ تا $9/33 \text{ mg/L}$ میلی گرم متغیر است. این نشان می‌دهد که سیستم رشد چسبیده برای حذف فسفات طراحی نشده است. البته راندمان حذف فسفر در راکتور در طول دوره مورد مطالعه با افزایش قابل توجهی در هفته‌های پایانی مطالعه همراه است. بنابراین، استفاده از روش‌های دیگر مانند استفاده از منعقدکننده‌ها یا استفاده از روش‌های تصفیه تکمیلی پس از رشد چسبیده برای دستیابی به راندمان حذف فسفر بهتر توصیه می‌شود (۳۰).

وجود میکروارگانیزم‌های شاخص در پساب معمولاً مورد توجه محققین نیست (۲۵). در این مطالعه



شکل ۴. راندمان حذف پارامترهای مختلف نیتروژن و فسفر به روش رشد چسبیده در طول هشت هفته آزمایش

نتیجه گیری

در این مطالعه، از یک پایلوت تصفیه بیولوژیکی رشد چسبیده برای تصفیه خانه فاضلاب خانگی در جوامع کوچک استفاده شد. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های پساب خروجی از این راکتور مطابق با استانداردهای محیطی محلی بود. نیتریفیکاسیون نسبتاً مناسبی توسط این سیستم

از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به راه‌اندازی اولیه بیوفیلم اشاره کرد که می‌بایست شرایطی مناسب برای بقای میکروارگانیزم‌های چسبنده مهیا کرد تا بصورت جمعیت غالب بتوانند فعالیت داشته باشند که این امر در بهره‌برداری بسیاری از راکتورهای بیولوژیکی رشد چسبیده مشکلاتی را ایجاد می‌کند.

نشان می‌دهد سیستم رشد چسبیده می‌تواند بعنوان سیستم مناسب جهت تصفیه فاضلاب در اجتماعات استفاده شود.

تشکر و قدردانی

با سپاس فراوان از دانشگاه علوم پزشکی گیلان جهت حمایت از طرح تحقیقاتی صورت گرفته، این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی گیلان (شماره طرح ۹۳۱۲۰۴۱۶) می‌باشد.

مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که سیستم مذکور در حذف فسفر از فاضلاب ناکارآمد بوده و استفاده از سیستم‌های کمکی برای حذف فسفر ضروری است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که پایداری بیومس میکروبی موجود در بیوفیلم پس از چند هفته از راه‌اندازی سیستم مشاهده می‌شود و سیستم رشد چسبیده طی مراحل مختلف خود باعث کاهش مواد جامد و ترکیبات آلی می‌شود. همچنین نتایج قابل قبولی از نظر کلی فرم کل و مدفوعی در صورت عدم وجود هرگونه ضدعفونی به دست آمد، که

References

- 1- Jaafari J, Barzanouni H, Mazloomi S, Farahani NAA, Sharafi K, Soleimani P, et al. Effective adsorptive removal of reactive dyes by magnetic chitosan nanoparticles: kinetic, isothermal studies and response surface methodology. *International journal of biological macromolecules*. 2020;164:344-55.
- 2- Naghipour D, Taghavi K, Ashournia M, Jaafari J, Arjmand Movarrek R. A study of Cr (VI) and NH₄⁺ adsorption using greensand (glauconite) as a low-cost adsorbent from aqueous solutions. *Water and Environment Journal*. 2020;34(1):45-56.
- 3- Jaafari J, Yaghmaeian K. Response surface methodological approach for optimizing heavy metal biosorption by the blue-green alga *Chroococcus disperses*, *Desalin. Water Treat.* 2019;142: 225–234.
- 4- Lu H, Chandran K. Diagnosis and quantification of glycerol assimilating denitrifying bacteria in an integrated fixed-film activated sludge reactor via ¹³C DNA stable-isotope probing. *Environmental science & technology*. 2010;44(23):8943-9.
- 5- Naghipour D, Hoseinzadeh L, Taghavi K, Jaafari J. Characterization, kinetic, thermodynamic and isotherm data for diclofenac removal from aqueous solution by activated carbon derived from pine tree. *Data in brief*. 2018;18:1082-7.
- 6- Sharafi K, Fazlzadehdavil M, Pirsaeheb M, Derayat J, Hazrati S. The comparison of parasite eggs and protozoan cysts of urban raw wastewater and efficiency of various wastewater treatment systems to remove them. *Ecological engineering*. 2012;44:244-8.
- 7- Pirsaeheb M, Fazlzadehdavil M, Hazrati S, Sharafi K, Khodadadi T, Safari Y. A survey on nitrogen and phosphor compound variation processes in wastewater stabilization ponds. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2014;23(3):831-4.
- 8- Abdel-Shafy HI, Al-Sulaiman AM, Mansour MS. Greywater treatment via hybrid integrated systems for unrestricted reuse in Egypt. *Journal of Water Process Engineering*. 2014;1:101-7.
- 9- Falahti-Marvast H, Karimi-Jashni A. Performance of simultaneous organic and nutrient removal in a pilot scale anaerobic–anoxic–oxic membrane bioreactor system treating municipal wastewater with a high nutrient mass ratio. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2015;104:363-70.
- 10- Zinatizadeh A, Ghaytooli E. Simultaneous nitrogen and carbon removal from wastewater at different operating conditions in a moving bed biofilm reactor (MBBR): Process modeling and optimization. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2015;53:98-111.
- 11- Yang J, Hou Z, Chen Z, Ma Z, Li S, Wang Y, et al. Comprehensive analysis of diverse biochemical treatment technologies of fixed-bed coal gasification wastewater from the perspective of different weight dimensions. *Separation and Purification Technology*. 2021;257:117889.
- 12- Shahi PB, Manandhar S, Angove MJ, Paudel SR. Performance evaluation of species varied fixed bed biofilm reactor for wastewater treatment of dhobi Khola outfall, Setopul, Kathmandu, Nepal. *Science of The Total Environment*. 2024:173752.

- 13- Abyar H, Namroodi S, Gharekhani Z, Hajimoradloo F. Life cycle and efficiency assessment of fixed-bed bioreactor using recycled shredded plastics compared with conventional activated sludge bioreactor for dairy wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*. 2024;64:105676.
- 14- Abtahi M, Naddafi K, Mesdaghinia A, Yaghmaeian K, Nabizadeh R, Jaafarzadeh N, et al. Removal of dichloromethane from waste gas streams using a hybrid bubble column/biofilter bioreactor. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2014;12:1-7.
- 15- Saeedi R, Naddafi K, Nabizadeh R, Mesdaghinia A, Nasserri S, Alimohammadi M, et al. Denitrification of drinking water using a hybrid heterotrophic/autotrophic/BAC bioreactor. *Desalination and Water Treatment*. 2012;45(1-3):1-10.
- 16- Wang X-J, Xia S-Q, Chen L, Zhao J-F, Renault N, Chovelon J-M. Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. *Process Biochemistry*. 2006;41(4):824-8.
- 17- Silva CJ, Gübitz G, Cavaco-Paulo A. Optimisation of a serine protease coupling to Eudragit S-100 by experimental design techniques. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology*. 2006;81(1):8-16.
- 18- Zhou Y, Pijuan M, Yuan Z. Development of a 2-sludge, 3-stage system for nitrogen and phosphorous removal from nutrient-rich wastewater using granular sludge and biofilms. *Water research*. 2008;42(12):3207-17.
- 19- Kurita T, Mogi T, Kimura K. Influence of different biofilm carriers on the operation and membrane fouling of submerged membrane bioreactors. *Separation and Purification Technology*. 2016;169:43-9.
- 20- Ge S, Wang S, Yang X, Qiu S, Li B, Peng Y. Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review. *Chemosphere*. 2015;140:85-98.
- 21- Khan SJ, Ahmad A, Nawaz MS, Hankins NP. Membrane fouling and performance evaluation of conventional membrane bioreactor (MBR), moving biofilm MBR and oxic/anoxic MBR. *Water science and technology*. 2014;69(7):1403-9.
- 22- Al-dhawi BNS, Kutty SRM, Ghaleb AAS, Almahbashi NMY, Saeed AAH, Al-Mekhlafi A-BA, et al. Pretreated palm oil clinker as an attached growth media for organic matter removal from synthetic domestic wastewater in a sequencing batch reactor. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 2023;7:100294.
- 23- Cosenza A, Bella GD, Mannina G, Torregrossa M, Viviani G. Biological nutrient removal and fouling phenomena in a University of Cape Town membrane bioreactor treating high nitrogen loads. *Journal of Environmental Engineering*. 2013;139(6):773-80.
- 24- Sriwiriyarat T, Randall CW. Evaluation of integrated fixed film activated sludge wastewater treatment processes at high mean cells residence time and low temperatures. *Journal of environmental engineering*. 2005;131(11):1550-6.
- 25- Leyva-Díaz J, González-Martínez A, González-López J, Muñoz M, Poyatos J. Kinetic modeling and microbiological study of two-step nitrification in a membrane bioreactor and hybrid moving bed biofilm reactor–membrane bioreactor for wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*. 2015;259:692-702.
- 26- Robertson LA, Kuenen JG. Combined heterotrophic nitrification and aerobic denitrification in *Thiosphaera pantotropha* and other bacteria. *Antonie van Leeuwenhoek*. 1990;57:139-52.
- 27- Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*. 1996;5:961-1010.
- 28- Naghipour D, Rouhbakhsh E, Jaafari J. Application of the biological reactor with fixed media (IFAS) for removal of organic matter and nutrients in small communities. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(17):5811-21.
- 29- Seyedsalehi M, Jaafari J, Hélix-Nielsen C, Hodaifa G, Manshouri M, Ghadimi S, et al. Evaluation of moving-bed biofilm sequencing batch reactor (MBSBR) in operating A 2 O process with emphasis on biological removal of nutrients existing in wastewater. *International journal of environmental science and technology*. 2018;15:199-206.

- 30- Singh NK, Kazmi AA, Starkl M. Environmental performance of an integrated fixed-film activated sludge (IFAS) reactor treating actual municipal wastewater during start-up phase. *Water Science and Technology*. 2015;72(10):1840-50.
- 31- Botturi A, Daneshgar S, Cordioli A, Foglia A, Eusebi A, Fatone F. An innovative compact system for advanced treatment of combined sewer overflows (CSOs) discharged into large lakes: Pilot-scale validation. *Journal of environmental management*. 2020;256:109937.
- 32- Davidson J, Summerfelt S, Schrader KK, Good C. Integrating activated sludge membrane biological reactors with freshwater RAS: Preliminary evaluation of water use, water quality, and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* performance. *Aquacultural engineering*. 2019;87:102022.
- 33- Wang Y, Wang W-H, Wang R-Q. Simultaneous nitrification and denitrification in biofilm of a model distribution pipe fed with disinfected reclaimed water. *Journal of Water Process Engineering*. 2020;35:101207.