



# Performance and Economic Evaluation of Municipal Wastewater Treatment Plant using Extended Aeration Activated Sludge Technology and its Comparison with Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Technology

Meysam Soleymani <sup>a\*</sup>, Mohammad Velashjerdi <sup>b\*</sup>

<sup>a</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, 38156-88349, Arak, Iran.


<sup>b</sup> Department of Material Science and Engineering, Faculty of Engineering, Arak University, 38156-88349, Arak, Iran.

## Original Article

Use your device to scan and read the article online



**Citation:** Soleymani M, Velashjerdi M. Performance and Economic Evaluation of Municipal Wastewater Treatment Plant using Extended Aeration Activated Sludge Technology and its Comparison with Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) Technology. *Industrial Innovations*. 2024;2(3):212-224.

 <https://doi.org/10.61882/jii.2.3.212>

## KEYWORDS

Moving bed biofilm reactor;  
Activated sludge;  
Municipal wastewater treatment plant;  
Simulation.

## ABSTRACT

Among the municipal and industrial wastewater treatment processes, the moving bed biofilm reactor (MBBR) technology has attracted much attention due to its ability to remove organic matter, nutrients, and some resistant compounds. In this study, technical performance and economic evaluation of a municipal wastewater treatment plant in Tehran, Iran, with the extended aeration activated sludge (EAAS) technology and its comparison with the MBBR technology were evaluated by process simulation using CapdetWorks software. The simulation results showed that the characteristics of the effluents from the wastewater treatment plant are in accordance with the FAO and Iranian Environmental Organization standards for green space irrigation. Also, economic analyses indicated that the total project cost of a wastewater treatment plant utilizing MBBR technology is approximately 14% less than that of EAAS technology, which could be due to the significant reduction in the volume of the moving bed biofilm reactor (649.2 m<sup>3</sup>) compared to the EAAS reactor (4148.1 m<sup>3</sup>). The results also indicated that the operating, maintenance, and chemical costs required in the MBBR method are 9.2, 16.4, and 18.3% lower, respectively, compared to the EAAS technology, whereas the amount of energy consumed in both technologies is almost the same. The effect of the media fill fraction (biofilm carrier) on the total project cost in the MBBR technology was also investigated. The results revealed that by increasing the media fill fraction from 30% to 70%, the total project cost decreases from \$9.37 to \$9.16 million, highlighting the significant role of the media fill fraction in the economic costs and performance of biofilm reactors.

## Extended Abstract

### 1. Introduction

The use of microorganisms for the treatment of municipal wastewater and industrial effluents has been widely considered worldwide [1]. The activated sludge process is one of the most common biological processes for wastewater treatment due to the possibility of controlling parameters and designing the process on an industrial scale. Moving bed biofilm reactor (MBBR) technology effectively improves the performance of wastewater treatment processes based on activated sludge. In MBBR technology, due to the higher accumulation of microorganisms in the bioreactor, the volume of the reactor tank is

\* Corresponding author,

E-mail address: [m-soleymani-chem@araku.ac.ir](mailto:m-soleymani-chem@araku.ac.ir), [m-velashjerdi@araku.ac.ir](mailto:m-velashjerdi@araku.ac.ir)

DOI: <https://doi.org/10.61882/jii.2.3.212>

Received: March 2, 2025; Received in revised form: April 22, 2025; Accepted: April 27, 2025.

Article type: Research Paper



smaller compared to the conventional method and it is also more resistant to pollutant and hydraulic shocks. These factors have led to increased attention towards the use of MBBR technology for the treatment of municipal and industrial wastewater.

In this study, the performance and economic evaluation of a municipal wastewater treatment plant in Tehran, Iran, using the EAAS method and its comparison with MBBR technology have been investigated. To this end, the wastewater treatment plant was first simulated using CapdetWorks 4.0 software and its results were validated with the actual effluent data. After ensuring the created model, replacing the bioreactor with a moving bed biofilm reactor (MBBR) was investigated in the prepared model. Then, the plant performance and economic parameters including total project cost, operating cost, maintenance, chemicals and energy consumption were compared with the EAAS process and the optimal technology was introduced.

## 2. Methods

### 2-1 Case Study

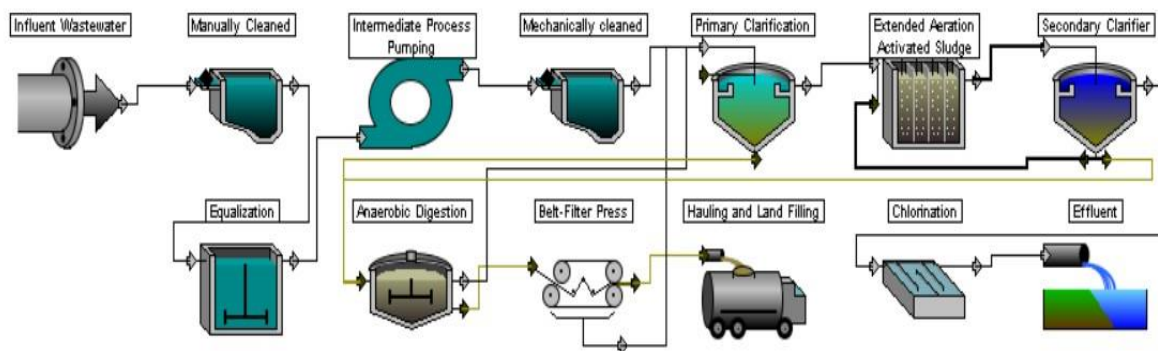
A wastewater treatment plant in Tehran, Iran, with EAAS technology was selected as the basis for simulation. The characteristics of the influent wastewater, including the mean influent flow, mean influent COD, mean influent BOD, total suspended solid (TSS), and total organic carbon (TOC) values, were extracted from data published in other study and used for the simulation of the wastewater treatment plant (Table 1) [2]. Other parameters, including soluble BOD, soluble COD, total Kjeldahl nitrogen (TKN), soluble TKN, ammonia, total phosphorus, oil and grease, pH, and average winter and summer temperatures were estimated by authors.

**Table 1** The characteristics of influent wastewater

Parameter	Value	Unit
Mean influent flow	2400	(m <sup>3</sup> /d)
Minimum Flow	2000	(m <sup>3</sup> /d)
Maximum Flow	2800	(m <sup>3</sup> /d)
Mean Influent COD	312	(mg/L)
Soluble COD	202	(mg/L)
Mean Influent BOD	285	(mg/L)
Soluble BOD	114	(mg/L)
Total Suspended Solid (TSS)	515	(mg/L)
Total Organic Carbon (TOC)	135	(mg/L)
Total Kjeldahl Nitrogen	38	(mgN/L)
Soluble TKN	30	(mgN/L)
Ammonia	25	(mgN/L)
Total Phosphorous	10	(mgP/L)
pH	7.6	-
Oil and Grease	80	(mg/L)
Average Summer Temperature	25.5	°C
Average Winter Temperature	10	°C

### 2-2 Wastewater treatment process with EAAS method

Wastewater treatment using the EAAS method is one of the most efficient methods for removing organic pollutants. In this method, wastewater with a low organic loading rate and a high hydraulic retention time (HRT~12-36 h) enters the wastewater treatment plant, which leads to high pollutant removal and high process efficiency. In order to evaluate the performance and estimate the costs of the industrial unit, the equipment used in the EAAS process was first modeled in CapdetWorks 4.0 software. The process flow diagram along with the equipment layout is shown in Figure 1. The design specifications of each equipment are given in Table 2.



**Figure 1** Process flow diagram of the EAAS wastewater treatment plant

Table 2 The characteristics of each equipment in EAAS process

Unit Process	Design Criteria	Value	Unit
Manually Cleaned Screening	Average Velocity	0.762	m/s
	Mechanically Cleaned Screening	Average Velocity	0.762 m/s
Equalization	Oxygen Requirement	360.01	g/m <sup>3</sup> /d
	Basin Type	Concrete	
	Alpha Factor for Oxygen Transfer in Wastewater	0.9	
	Beta Factor for Oxygen Transfer in Wastewater	0.95	
Primary Clarifier	Surface Over Flow	40.74	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)
	Side Water Depth	2.74	m
	Specific Gravity	1.05	
	Underflow Conc.	4.0	%
	Weir Overflow Rate	186.3	m <sup>3</sup> /(m.d)
Extended Aeration Tank	Design SRT	25	d
	Max. Heterotrophic Specific Growth rate		1/d
	Heterotrophic Decay Rate		1/d
	Max. Autotrophic Specific Growth rate		1/d
	Autotrophic Decay Rate		1/d
Secondary Clarifier	Biomass Yield	0.5	
	Surface Overflow Rate	20	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)
	Max. Solid Loading Rate	117.18	kg/(m <sup>2</sup> .d)
	Sidewater depth	2.74	m
	Specific Gravity	1.03	
	Underflow Conc.	1	%
Aerobic Digestion	Weir Overflow Rate	186.3	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)
	Detention Time	18	d
	Mixed Liquor Solid	12000	mg/L
	Digested Sludge Conc.	2.5	%
	Temperature	23	°C
Belt Filter Press	Cake Solid Content	19	%
	Density of Cake	1200	kg/m <sup>3</sup>
	Hydraulic Loading per Meter of Belt Press Width	381.58	m <sup>3</sup> /d
	Polymer Dose	1	%
	Filtrate Solid Conc.	100	mg/L
Chlorination	Contact Time at Peak Flow	30	min
	Chlorine Dose	10	mg/L
	Influent Coliform Count	10 <sup>7</sup>	/100mL

2-3 Wwastewater treatment process with MBBR technology

In order to investigate the possibility of replacing the bioreactor of wastewater plant with a moving bed film reactor (MBBR), the layout of all equipment was kept as before and only the replacement of the bioreactor was applied in the process. Figure 2 shows the process flow diagram in the proposed model of the treatment plant. The technical specifications of the moving bed film bioreactor are given in Table 3.

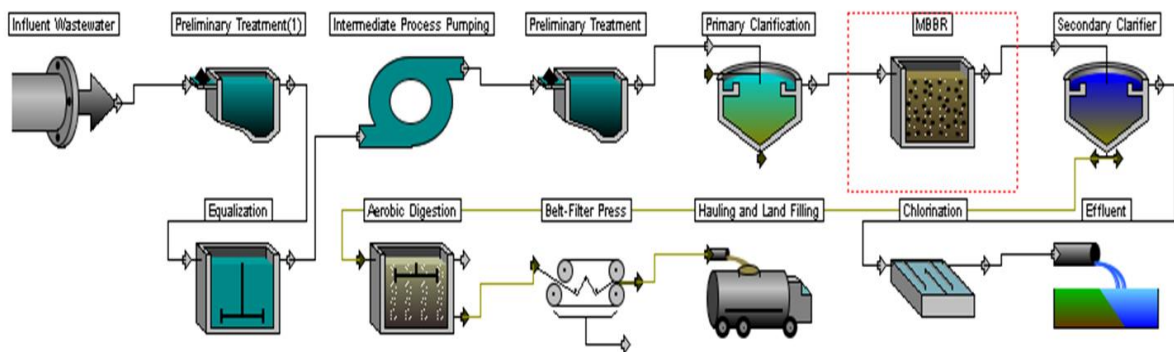


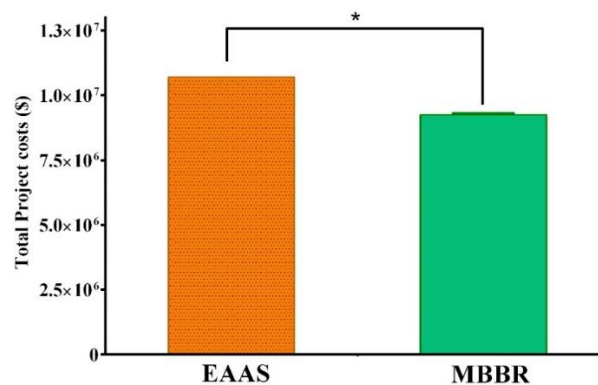
Figure 2 Process flow diagram of the MBBR wastewater treatment plant

**Table 3 Characteristics of moving bed biofilm reactor**

Parameter	Value	Unit
Surface area of media	300	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Biofilm thickness	0.25	mm
Media fill fraction	0.3-0.7	
Use media	500	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Maximum heterotrophic Specific growth rate	6.0	1/d
Heterotrophic decay rate	0.24	1/d
Maximum Autotrophic Specific growth rate	0.5	1/d
Autotrophic decay rate	0.04	1/d
Alpha factor for oxygen transfer in wastewater	0.5	
Beta factor for oxygen transfer in wastewater	0.95	
Coarse bubble minimum air flow	0.33	L/s/m <sup>3</sup>

### 3. Results and discussion

The total project cost of the wastewater treatment plant using the EAAS and MBBR technologies is shown in Figure 3. As can be seen, the total project cost of MBBR technology (carrier filling fraction 0.5) is about \$9,210,000 which is almost 14% less than EAAS technology (total project cost \$10,700,000). This can be due to the significant reduction in the volume of the moving bed biofilm reactor (21,649 m<sup>3</sup>) compared to the extended aeration activated sludge reactor with volume of 1,4148 m<sup>3</sup>. Also, according to the t-test statistical analysis, the observed difference in total project costs is statistically significant (Pvalue <0.05).



**Figure 3 Total project costs for wastewater treatment plant with EAAS and MBBR technologies, \* indicates P<sub>value</sub> <0.05**

### 4. Conclusion

In this study, the economic and technical performance of a wastewater treatment plant using the EAAS technology and its replacement with the moving bed biofilm reactor (MBBR) technology has been evaluated. The simulation results showed that the characteristics of the effluents from both technologies are in accordance with the FAO standard for green space irrigation. Economic evaluations revealed that the total project cost of the MBBR technology is about 14% less than the EAAS technology. The results also showed that the operating, maintenance, and the chemicals costs required in the MBBR technology are 9.2, 16.4 and 18.3% lower compared to the EAAS method, respectively, but the amount of energy consumed in both technologies is almost the same. The results obtained from this study can help the engineers for decision-making to select the optimal technology for urban wastewater treatment.



## بررسی عملکرد و ارزیابی اقتصادی فرایند تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال با هوادهی گسترده و مقایسه آن با تکنولوژی راکتور بیوفیلمی بستر متحرک (MBBR)

میثم سلیمانی الف\*، محمد ولاشجردی ب\*

الف گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸۳۴۹۸، اراک، ایران.  
ب گروه مهندسی مواد و متالورژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اراک، کد پستی ۳۸۱۵۶-۸۳۴۹۸، اراک، ایران.

چکیده	واژگان کلیدی
<p>در بین فرآیندهای تصفیه پساب‌های شهری و صنعتی، تکنولوژی راکتور بیوفیلمی بستر متحرک (MBBR) با قابلیت حذف مؤثر مواد آلی، مواد مغذی و برخی از ترکیبات مقاوم به حذف، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. در این مطالعه، عملکرد فنی و اقتصادی یکی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر تهران با دبی <math>2400 \text{ m}^3/\text{d}</math> به روش لجن فعال با هوادهی گسترده (EAAS) و مقایسه آن با تکنولوژی MBBR، توسط شبیه‌سازی فرایند با استفاده از نرم‌افزار CapdetWorks مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مشخصات جریان‌های خروجی از تصفیه‌خانه منطبق بر استاندارد FAO و سازمان محیط‌زیست ایران جهت رهاسازی در طبیعت و یا آبیاری فضای سبز می‌باشد. همچنین محاسبات اقتصادی نشان داد که کل هزینه ساخت تصفیه‌خانه با استفاده از تکنولوژی MBBR حدود ۱۴٪ کمتر از تکنولوژی EAAS می‌باشد، که این امر تواند به دلیل کاهش قابل‌ملاحظه حجم راکتور بیوفیلمی بستر متحرک (<math>649/21 \text{ m}^3</math>) در مقایسه با راکتور لجن فعال با هوادهی گسترده (<math>4148/1 \text{ m}^3</math>) باشد. همچنین نتایج نشان داد، هزینه‌های عملیاتی، تعمیر و نگهداری، و مواد شیمیایی مورد نیاز در روش MBBR در مقایسه با روش EAAS به ترتیب ۹/۲، ۱۶/۴ و ۱۸/۳ درصد کمتر، درحالی‌که مقدار انرژی مصرفی تقریباً برابر می‌باشد. همچنین تأثیر کسر پرکننده (حامل بیوفیلیم) بر روی هزینه کل ساخت پروژه در تکنولوژی MBBR مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش مقدار کسر پرکننده از ۳۰٪ به ۷۰٪ کل هزینه پروژه از ۹/۳۷ به ۹/۱۶ میلیون دلار کاهش می‌یابد، که نشان از اهمیت بالای کسر پرکننده در هزینه‌های اقتصادی و عملکرد راکتورهای بیوفیلمی دارد.</p>	<p>راکتور بیوفیلمی بستر متحرک؛ لجن فعال؛ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری؛ شبیه‌سازی.</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۱۲ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۷</p>

### ۱- مقدمه

امروزه استفاده از میکروارگانیسم‌ها بطور گسترده‌ای برای تصفیه فاضلاب و پساب‌های صنعتی در سرتاسر جهان مورد توجه قرار گرفته است [۱]. فرایند لجن فعال<sup>۱</sup> به دلیل امکان کنترل پارامترها و طراحی فرایند در مقیاس صنعتی یکی از رایج‌ترین فرایندهای بیولوژیک برای تصفیه پساب می‌باشد. اصل اساسی در پشت همه فرآیندهای لجن فعال، رشد میکروب‌ها در مواد آلی متابولیزه کننده (ترکیبات آلاینده موجود در جریان پساب) و تشکیل توده<sup>۲</sup> می‌باشد. در این سیستم‌ها هوادهی/هم‌زدن به طور پیوسته در راکتور بیولوژیک اکسیژن مورد نیاز میکروارگانیسم‌ها را فراهم می‌کند. سپس به جریان خروجی از راکتور که ترکیبی از پساب تصفیه شده و لجن فعال است، اجازه ته‌نشین شدن داده می‌شود تا توده‌های لجن فعال از پساب تصفیه‌شده جدا شوند.

<sup>1</sup> Activated Sludge Process (ASP)

<sup>2</sup> Biomass

کل فرآیند لجن فعال شامل یک سری تجهیزات به هم مرتبط شامل تانک متعادل ساز، مخزن ته‌نشین، راکتور بیولوژیک همراه با منبع هوادهی، زلال ساز و سیستم جمع‌آوری لجن می‌باشد [۲]. در فرآیند لجن فعال مرسوم (CAS<sup>1</sup>)، جریان پساب بصورت پیوسته وارد یک بیوراکتور با جریان قالبی می‌شود. اصلاحات زیادی شامل تغییر الگوی جریان پساب در راکتور، سیستم هوادهی، شرایط عملیاتی و نوع بیوراکتور به‌منظور ارتقاء عملکرد فرآیند لجن فعال مرسوم تاکنون انجام شده است. از جمله فرایندهای لجن فعال اصلاح‌شده می‌توان به سیستم لجن فعال با اختلاط کامل، لجن فعال با هوادهی گسترده<sup>۲</sup> (EAAS)، راکتور ناپیوسته متوالی، بیوراکتور غشایی و راکتور بیوفیلمی بستر متحرک اشاره کرد [۳-۵].

تکنولوژی راکتور بیوفیلمی بستر متحرک<sup>۳</sup> (MBBR) بطور موثری عملکرد سیستم‌های تصفیه پساب به روش لجن فعال را ارتقاء می‌بخشد [۶]. در این روش به دلیل حذف جریان برگشتی لجن، پیچیدگی کمتری از لحاظ عملیاتی نسبت به روش مرسوم لجن فعال وجود دارد [۷]. همچنین به دلیل انباشتگی بالاتر میکروارگانیسم‌ها در بیوراکتور، حجم مخازن راکتور در مقایسه با روش مرسوم کمتر بوده و همچنین در برابر شوک‌های هیدرولیکی و نیز شوک‌های آلاینده مقاوم‌تر است [۷]. این عوامل باعث شده که توجه به سمت استفاده از تکنولوژی MBBR برای تصفیه پساب‌های انسانی و صنعتی بیشتر شود [۸]. مطالعات نشان داده است که تکنولوژی MBBR توانایی بالاتری در حذف نیتروژن کل در مقایسه با روش لجن فعال مرسوم را دارد [۹]. همچنین استفاده ترکیبی از فرایندهای هیدرولیز، MBBR، و برکه اکسیداسیون برای تصفیه پساب صنایع داروسازی بسیار امیدبخش گزارش شده است. Havala و همکاران به‌منظور تعیین تکنولوژی بهینه جهت ارتقاء یک تصفیه‌خانه، دو فرآیند لجن فعال مرسوم و MBBR را شبیه‌سازی کردند [۱۰]. پس از کالیبراسیون مدل با داده‌های پایلوت، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که روش MBBR در مقایسه با روش لجن فعال مرسوم عملکرد بهتری در حذف نیتروژن کل در دماهای پایین نشان می‌دهد. در نتیجه فرآیند MBBR جهت ارتقاء سیستم تصفیه‌خانه معرفی شد [۱۰].

امروزه استفاده از شبیه‌سازی و مدل‌سازی دینامیک، برای ارزیابی عملکرد، بهینه‌سازی و برآورد اقتصادی تصفیه‌خانه‌های پساب بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۱۳]. در کنار مباحث مهندسی، برآورد اقتصادی پروژه‌ها نقش بسیار مهمی در انتخاب یک تکنولوژی مناسب برای تصفیه یک پساب مشخص دارد. هزینه کل یک فرآیند تصفیه شامل هزینه ساخت، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری می‌باشد. برآورد این هزینه‌ها از طریق داده‌های مربوط به تصفیه‌خانه‌های مشابه ساخته‌شده و در حال کار، امری مفید ولی بسیار زمان‌بر می‌باشد. نرم‌افزارهای تخصصی شبیه‌سازی سیستم‌های تصفیه همچون SIMPA، GPS-X، AQUASIM و CapdetWorks ارزیابی عملکرد و برآورد اقتصادی تصفیه‌خانه‌های شهری و یا صنعتی را با دقت و سرعت بالا امکان‌پذیر می‌سازد.

در این پژوهش، به بررسی عملکرد و ارزیابی اقتصادی یکی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر تهران به روش EAAS و مقایسه آن با تکنولوژی MBBR پرداخته شده است، که با توجه به اهمیت کاهش هزینه‌ها و بهبود عملکرد تصفیه‌خانه بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بدین منظور ابتدا تصفیه‌خانه مربوطه با استفاده از نرم‌افزار CapdetWorks 4.0 شبیه‌سازی و نتایج آن با کیفیت پساب واقعی خروجی از آن صحت‌سنجی شد. پس از اطمینان از مدل ایجادشده، جایگزینی بیوراکتور با یک راکتور بیوفیلمی بستر متحرک (MBBR) در محیط شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. سپس عملکرد سیستم و پارامترهای اقتصادی شامل هزینه‌های ساخت، هزینه‌های عملیاتی، تعمیرات و نگهداری، مواد شیمیایی و انرژی مصرفی در مقایسه با فرآیند EAAS مقایسه و تکنولوژی بهینه معرفی گردید.

## ۲- روش‌ها

### ۲-۱- مطالعه موردی

به‌منظور بررسی عملکرد و مقایسه اقتصادی تکنولوژی پیشنهادشده، یک تصفیه‌خانه فاضلاب در تهران با تکنولوژی EAAS

<sup>1</sup> Conventional Activated Sludge (CAS)

<sup>2</sup> Extended aeration activated sludge (EAAS)

<sup>3</sup> Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR)

به‌عنوان مبنای شبیه‌سازی انتخاب گردید. مشخصات جریان فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه، شامل متوسط دبی جریان ورودی، متوسط مقادیر COD، BOD، TSS، و TOC از داده‌های منتشرشده در دیگر مراجع استخراج و برای شبیه‌سازی تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱) [۱۴]. سایر پارامترها شامل مقادیر BOD و COD محلول، نیتروژن کل کج‌دال<sup>۱</sup>، نیتروژن کل کج‌دال محلول، آمونیا، فسفر کل، روغن و گیریس، pH و دمای متوسط زمستان و تابستان با توجه به داده‌های میدانی تخمین زده شده است.

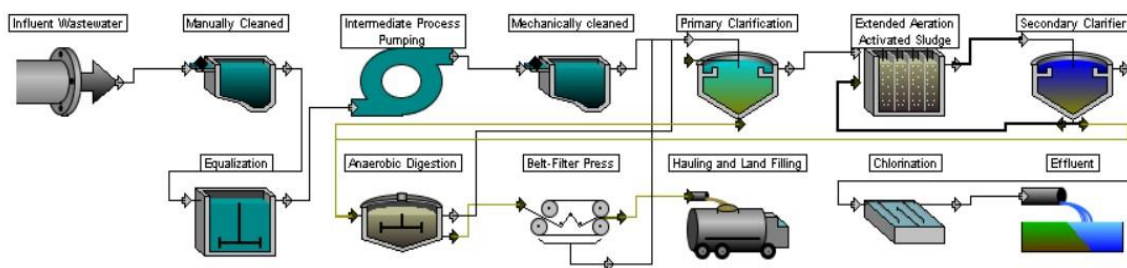
جدول ۱ مشخصات جریان ورودی به تصفیه‌خانه

Parameter	Value	Unit
Mean influent flow	2400	(m <sup>3</sup> /d)
Minimum Flow	2000	(m <sup>3</sup> /d)
Maximum Flow	2800	(m <sup>3</sup> /d)
Mean Influent COD	312	(mg/L)
Soluble COD	202	(mg/L)
Mean Influent BOD	285	(mg/L)
Soluble BOD	114	(mg/L)
Total Suspended Solid (TSS)	515	(mg/L)
Total Organic Carbon (TOC)	135	(mg/L)
Total Kjeldahl Nitrogen	38	(mgN/L)
Soluble TKN	30	(mgN/L)
Ammonia	25	(mgN/L)
Total Phosphorous	10	(mgP/L)
pH	7.6	-
Oil and Grease	80	(mg/L)
Average Summer Temperature	25.5	°C
Average Winter Temperature	10	°C

## ۲-۲- مشخصات فرایند تصفیه فاضلاب با تکنولوژی لجن فعال با هوادهی گسترده

تصفیه پساب با استفاده از روش لجن فعال با هوادهی گسترده یکی از روش‌های بسیار کارآمد در حذف آلاینده‌های آلی می‌باشد. در این روش پساب با نرخ پایین بارگذاری آلی نسبت به میکروارگانیسم‌ها و همچنین زمان ماند بالای هیدرولیکی (HRT~12-36 h) وارد سیستم تصفیه می‌شود که منجر به حذف بالای آلاینده و بازدهی بالای سیستم می‌شود. در طرح کلی یک تصفیه‌خانه با روش هوادهی گسترده، فاضلاب ابتدا در ورودی تصفیه‌خانه از واحد آشغال‌گیر دانه‌درشت عبور می‌کند و سپس جهت تنظیم دبی ورودی به واحد تصفیه وارد یک تانک متعادل ساز می‌شود. سپس توسط پمپ‌های لجن‌کش وارد بخش آشغال‌گیر مکانیکی شده و در ادامه وارد بخش ته‌نشین کننده اولیه به‌منظور حذف ذرات ریز جامد می‌شود. در ادامه جریان پساب جهت حذف آلاینده‌های موجود وارد راکتور بیولوژیک شده و پس از طی زمان ماند هیدرولیکی مشخص به همراه لجن فعال جهت جداسازی به سمت حوضچه ته‌نشینی ثانویه هدایت می‌شود. پس از جداسازی جریان پساب تصفیه‌شده از توده‌های میکروارگانیسمی، از طریق کانال‌های انتقال وارد بخش کلر زنی می‌شود. پس از انجام فرایند گندزدایی، جریان پساب تصفیه‌شده از تصفیه‌خانه خارج می‌گردد. جهت ارزیابی عملکرد و تخمین هزینه‌های واحد صنعتی، ابتدا تجهیزات بکار رفته در فرایند EAAS در نرم‌افزار CapdetWorks 4.0 مدل‌سازی شد که نمودار جریان فرایندی به همراه چیدمان تجهیزات در شکل ۱ نشان داده شده است. مشخصات طراحی هر یک از تجهیزات در جدول ۲ آورده شده است.

<sup>1</sup> Kjeldahl nitrogen



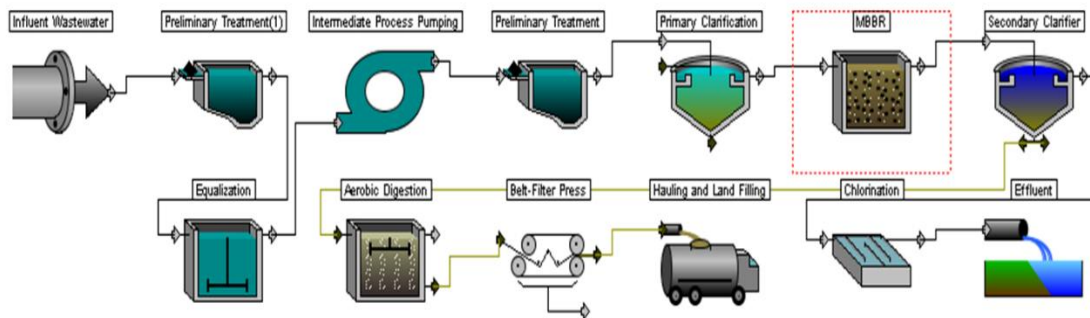
شکل ۱ جانمایی تجهیزات در یک تصفیه‌خانه فاضلاب به روش EAAS

جدول ۲ مشخصات طراحی هر یک از تجهیزات در تصفیه‌خانه به روش EAAS

Unit Process	Design Criteria	Value	Unit
Manually Cleaned Screening	Average Velocity	0.762	m/s
	Mechanically Cleaned Screening	Average Velocity	0.762 m/s
Equalization	Oxygen Requirement	360.01	g/m <sup>3</sup> /d
	Basin Type	Concrete	
	Alpha Factor for Oxygen Transfer in Wastewater	0.9	
	Beta Factor for Oxygen Transfer in Wastewater	0.95	
Primary Clarifier	Surface Over Flow	40.74	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)
	Side Water Depth	2.74	m
	Specific Gravity	1.05	
	Underflow Conc.	4.0	%
	Weir Overflow Rate	186.3	m <sup>3</sup> /(m.d)
	Design SRT	25	d
Extended Aeration Tank	Max. Heterotrophic Specific Growth rate		1/d
	Heterotrophic Decay Rate		1/d
	Max. Autotrophic Specific Growth rate		1/d
	Autotrophic Decay Rate		1/d
Secondary Clarifier	Biomass Yield	0.5	
	Surface Overflow Rate	20	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)
	Max. Solid Loading Rate	117.18	kg/(m <sup>2</sup> .d)
	Sidewater depth	2.74	m
	Specific Gravity	1.03	
	Underflow Conc.	1	%
Aerobic Digestion	Weir Overflow Rate	186.3	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d)
	Detention Time	18	d
	Mixed Liquor Solid	12000	mg/L
	Digested Sludge Conc.	2.5	%
Belt Filter Press	Temperature	23	°C
	Cake Solid Content	19	%
	Density of Cake	1200	kg/m <sup>3</sup>
	Hydraulic Loading per Meter of Belt Press Width	381.58	m <sup>3</sup> /d
Chlorination	Polymer Dose	1	%
	Filtrate Solid Conc.	100	mg/L
	Contact Time at Peak Flow	30	min
	Chlorine Dose	10	mg/L
	Influent Coliform Count	10 <sup>7</sup>	/100mL

### ۳-۲- مشخصات فرایند تصفیه فاضلاب با تکنولوژی MBBR

جهت بررسی امکان تبدیل بیوراکتور با هوادهی گسترده به راکتور فیلمی بستر متحرک، چیدمان تمامی تجهیزات به صورت قبل ثابت نگه داشته شد و صرفاً جایگزینی بیوراکتور در سیستم اعمال گردید. شکل ۲ نمودار جریان فرایندی و تجهیزات را در مدل پیشنهادی تصفیه‌خانه نشان می‌دهد. مشخصات فنی بیوراکتور فیلمی بستر متحرک در جدول ۳ آورده شده است.



شکل ۲ جانمایی تجهیزات در یک تصفیه‌خانه فاضلاب به روش MBBR

جدول ۳ مشخصات بیوراکتور فیلمی بستر متحرک

Parameter	Value	Unit
Surface area of media	300	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Biofilm thickness	0.25	mm
Media fill fraction	0.3-0.7	
Use media	500	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
Maximum heterotrophic Specific growth rate	6.0	1/d
Heterotrophic decay rate	0.24	1/d
Maximum Autotrophic Specific growth rate	0.5	1/d
Autotrophic decay rate	0.04	1/d
Alpha factor for oxygen transfer in wastewater	0.5	
Beta factor for oxygen transfer in wastewater	0.95	
Coarse bubble minimum air flow	0.33	L/s/m <sup>3</sup>

به منظور مقایسه عملکرد و ارزیابی اقتصادی دو تکنولوژی MBBR و EAAS در تصفیه فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه و ارزیابی تفاوت مشاهده شده در نتایج حاصل، از آنالیز t-test در نرم‌افزار GraphPad Prism 7.0 استفاده شده است و مقادیر  $P_{value} < 0.05$  به عنوان تفاوت معنادار<sup>۱</sup> آماری گزارش شده است.

### ۳- نتایج و تفسیر

پس از انجام مدل‌سازی تصفیه‌خانه با دو روش EAAS و MBBR در نرم‌افزار، ابتدا عملکرد هر دو روش در حذف آلاینده‌های موجود در جریان فاضلاب و مقایسه آن با داده‌های واقعی مورد مقایسه قرار گرفت. مشخصات جریان خروجی شامل COD، BOD<sub>5</sub>، TSS، NH<sub>4</sub>-N از هر دو تصفیه‌خانه تحت شرایط پایدار در جدول ۴ آورده شده است.

1 Significant statistical difference

جدول ۴ مشخصات جریان خروجی از تصفیه‌خانه به روش EAAS و MBBR

Parameter	Unit	MBBR	EAAS	Reported value [14]	FAO <sup>2</sup> standard [15]	استاندارد سازمان محیط‌زیست ایران <sup>۱</sup>
COD	mg/L	11.0	9.8	12.8	200	200
Soluble COD	mg/L	2.98	2.15	-	-	-
BOD	mg/L	2.83	1.89	4.5	100	100
Soluble BOD	mg/L	1.98	1.44	-	-	-
TSS	mg/L	8.0	8.0	8.0	-	100
Ammonia N	mg-N/L	1.27	0.263	-	5	-
Nitrate	mg-N/L	21.6	25.0	-	10	-
Total TKN	mg-N/L	8.09	7.01	-	30	30
Phosphate	mg-P/L	8.21	0.102	-	2	-
pH	-	7.6	7.6	-	6.5-8.5	6.0 - 8.5

با مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی برای هر دو روش با مقادیر آلاینده‌های موجود در جریان پساب ورودی به تصفیه‌خانه، مشاهده می‌شود که درصد حذف پارامترهای COD، BOD، و TSS برای روش EAAS به ترتیب ۹۶/۸، ۹۹/۳ و ۹۸/۴ درصد و برای روش MBBR به ترتیب ۹۶/۴، ۹۹/۰ و ۹۸/۴ درصد می‌باشد. همچنین مقادیر استاندارد هر یک از پارامترهای پساب تصفیه‌شده جهت آبیاری فضای سبز یا رهاسازی در طبیعت بر طبق استاندارد FAO در جدول ۴ آورده شده است [۱۵]. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد هر دو سیستم تصفیه جهت استانداردسازی پارامترها مطلوب بوده و جریان تصفیه خروجی می‌تواند برای رهاسازی در طبیعت و یا آبیاری فضای سبز مورد استفاده قرار گیرد.

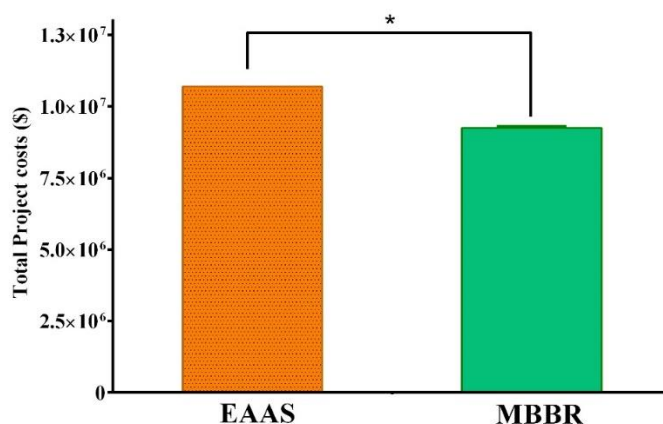
استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز و مدل‌سازی اقتصادی کمک بسیار شایانی در جهت تصمیم‌گیری‌های مهندسی جهت ارتقاء و یا انتخاب یک تکنولوژی برای یک فرایند صنعتی می‌کند. در این مطالعه، نرم‌افزار Capdet Works 4.0 با پایگاه داده‌ای Hydromantis 2014 برای تخمین هزینه‌های مربوط به ساخت، راه‌اندازی، تعمیرات، مواد شیمیایی موردنیاز، انرژی، و استهلاک در یک تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار گرفت.

کل هزینه ساخت پروژه برحسب دلار برای ساخت تصفیه‌خانه با تکنولوژی‌های EAAS و MBBR (شکل ۳) و مقایسه هزینه‌های مربوط به عملیات فرایندی، تعمیرات و نگهداری، مواد شیمیایی مورد نیاز و انرژی در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود کل هزینه‌های ساخت پروژه با تکنولوژی EAAS حدود ۱۰/۷۰۰/۰۰۰ دلار و در صورت استفاده از تکنولوژی MBBR (کسر پر شدن حامل ۰/۷-۰/۳) حدود ۹/۲۱۰/۰۰۰ دلار می‌باشد که حدود ۱۴٪ هزینه کمتری نسبت به تکنولوژی EAAS می‌باشد. این امر می‌تواند به دلیل کاهش قابل‌ملاحظه حجم راکتور بیوفیلمی بستر متحرک (m<sup>3</sup>) در مقایسه با راکتور لجن فعال با هوادهی گسترده (۴۱۴۸/۱ m<sup>3</sup>) می‌باشد. کاهش حجم راکتور به دلیل وجود پکینگ‌ها در راکتور و امکان ایجاد مقادیر بالاتر MLSS<sup>3</sup> از مزایای مهم روش MBBR در مقایسه با دیگر روش‌ها می‌باشد [۱۷]. همچنین با توجه به تحلیل آماری t-test، تفاوت هزینه‌های ایجاد شده در روش MBBR نسبت به روش EAAS از لحاظ آماری معنادار می‌باشد (P<sub>value</sub> < 0.05).

۱ معاونت عمران و محیط‌زیست سازمان صنایع کوچک و شهرک‌های صنعتی ایران، ۱۳۹۰، آشنایی با سیستم‌های استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده در آبیاری فضای سبز شهرک‌ها و نواحی صنعتی

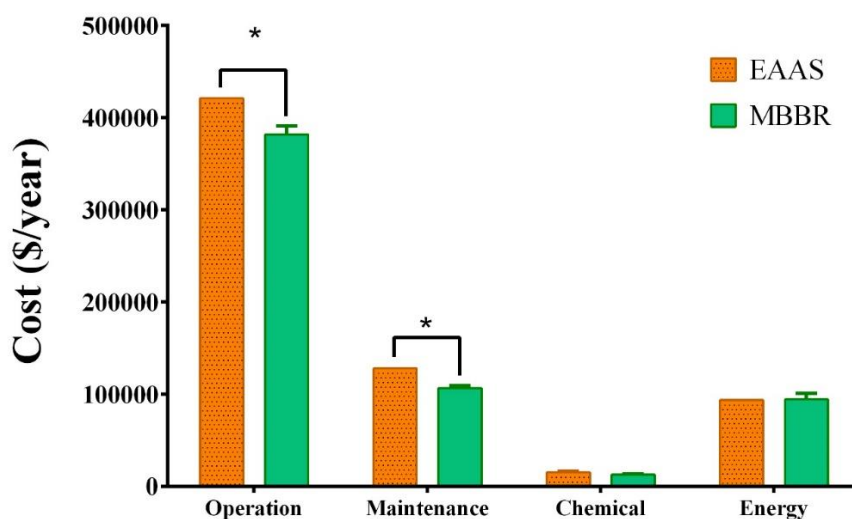
<sup>2</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

<sup>3</sup> Mixed liquor suspended solid (MLSS)



شکل ۳ کل هزینه ساخت پروژه برحسب دلار برای ساخت تصفیه‌خانه با تکنولوژی‌های EAAS و MBBR. \* نشان‌دهنده  $P_{value} < 0.05$

همچنین همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، متوسط هزینه‌های مربوط به راه‌اندازی، تعمیر و نگهداری و مواد شیمیایی مورد نیاز در روش MBBR در مقایسه با روش EAAS (با تغییرات دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه در محدوده ۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰ m<sup>3</sup>/d) به ترتیب ۹/۲، ۱۶/۴، ۱۸/۳ درصد کمتر و مقدار انرژی مصرفی تقریباً برابر می‌باشد، که این امر می‌تواند به دلیل پیچیدگی کمتر روش MBBR، عدم نیاز به جریان برگشتی و در نهایت عملکرد بهتر روش MBBR در مقایسه با روش EAAS ارتباط داده شود. همچنین تفاوت هزینه‌های ایجادشده در راه‌اندازی و تعمیر و نگهداری در روش MBBR نسبت به روش EAAS از لحاظ آماری معنادار می‌باشد ( $P_{value} < 0.05$ ).

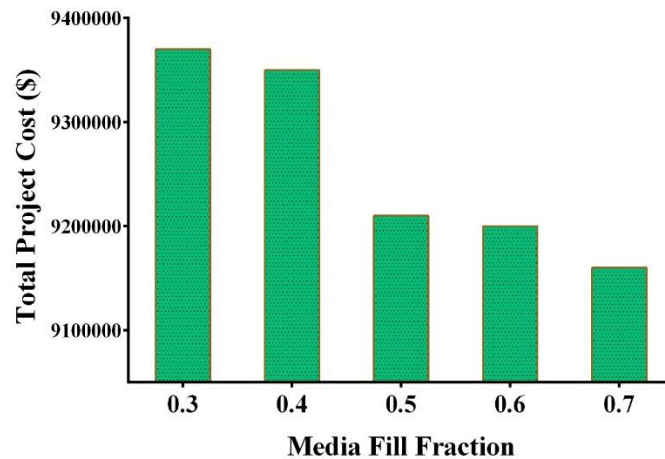


شکل ۴ هزینه‌های مربوط به راه‌اندازی، تعمیرات و نگهداری، مصالح مورد نیاز، انرژی و استهلاک در دو سیستم EAAS و MBBR. \*

نشان‌دهنده  $P_{value} < 0.05$

نسبت پر شدن یا کسر پر شدن (٪) حامل‌ها در راکتورهای MBBR یکی از پارامترهای مهم در بازدهی عملکرد آنهاست. میزان کسر پرکننده در راکتورهای MBBR به‌طور معمول کمتر از ۷۰ درصد است که دلیل آن اجازه حرکت آزادانه حامل‌ها و جلوگیری از مشکلات راکد ماندن زیست‌توده است [۱۸]. سوکو و همکارانش در نسبت کسر حجمی ۵۵٪ پرکننده، میزان حذف ۹۰ درصد COD برای تصفیه یک پساب پالایشگاهی را گزارش کرده‌اند [۱۹]. همچنین مطالعات نشان داده است که افزایش

کسر پرکننده (بالتر از ۳۰٪) به نفع حذف مواد آلی و مغذی است، اما کسر پرکننده بالاتر (بیش از ۷۰٪) اثر منفی در فرآیند حذف مواد آلی دارد [۲۰]. با توجه به تأثیر مهم کسر پرکننده بر عملکرد راکتورهای MBBR که می‌تواند مستقیماً بر روی حجم آنها و به دنبال آن هزینه‌های ساخت آنها مؤثر باشد، مقدار هزینه کل ساخت تصفیه‌خانه با تکنولوژی MBBR در مقادیر متفاوت کسر پرکننده مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵). همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود زمانی که کسر پرکننده ۳۰٪ می‌باشد هزینه کل ساخت پروژه ۹۳۷۰۰۰۰ دلار است، درحالی‌که با افزایش کسر پرکننده به ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰٪، این مقدار به ترتیب به ۹۳۵۰۰۰۰، ۹۲۱۰۰۰۰، ۹۲۰۰۰۰۰ و ۹۱۶۰۰۰۰ دلار کاهش می‌یابد، که به بررسی‌های دقیق مهندسی جهت تعیین مقدار بهینه کسر پرکننده در راکتور تأکید دارد.



شکل ۵ تأثیر کسر پر شدن حامل در راکتور MBBR بر روی کل هزینه ساخت پروژه

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، عملکرد فنی و اقتصادی یک سیستم تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال با هوادهی گسترده<sup>۱</sup> (EAAS) و جایگزینی آن با تکنولوژی راکتور فیلمی بستر متحرک<sup>۲</sup> (MBBR)، توسط شبیه‌سازی فرایند در مقیاس صنعتی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که مشخصات جریان‌های خروجی از هر دو تصفیه‌خانه منطبق بر استاندارد FAO و استاندارد سازمان محیط‌زیست ایران جهت رهاسازی در طبیعت و یا آبیاری فضای سبز می‌باشد. محاسبات اقتصادی نشان داد که هزینه کل ساخت در تکنولوژی MBBR حدود ۱۴٪ کمتر از تکنولوژی EAAS می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد هزینه‌های عملیاتی، تعمیرات و نگهداری و مواد شیمیایی مورد نیاز در روش MBBR در مقایسه با روش EAAS به ترتیب ۹/۲، ۱۶/۴ و ۱۸/۳ درصد کمتر، ولی مقدار انرژی مصرفی تقریباً برابر می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه می‌تواند به تصمیم‌گیری مهندسی جهت انتخاب تکنولوژی بهینه برای ایجاد و راه‌اندازی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری کمک کند.

#### ۵- مراجع

- [1] Sikosana ML, Sikhwivilu K, Moutloali R, Madyira DM. Municipal wastewater treatment technologies: A review. *Procedia Manufacturing*. 2019;35:1018-24.
- [2] Rajesh Banu J, Kaliappan S. Treatment of tannery wastewater using hybrid upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Journal of Environmental Engineering and Science*. 2007;6:415-21.
- [3] di Biase A, Kowalski MS, Devlin TR, Oleszkiewicz JA. Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment: a review. *Journal of environmental management*. 2019;247:849-66.

<sup>1</sup> Extended aeration activated sludge (EAAS)

<sup>2</sup> Moving bed biofilm reactor (MBBR)

- [4] Cao C-Y, Zhao Y-H. The comparison of MBBR and ASP for treatment on petrochemical wastewater. *Petroleum science and technology*. 2012;30:1461-7.
- [5] Leyva-Díaz J, Calderón K, Rodríguez F, González-López J, Hontoria E, Poyatos J. Comparative kinetic study between moving bed biofilm reactor-membrane bioreactor and membrane bioreactor systems and their influence on organic matter and nutrients removal. *Biochemical Engineering Journal*. 2013;77:28-40.
- [6] Chattopadhyay I, Usman TM, Varjani S. Exploring the role of microbial biofilm for industrial effluents treatment. *Bioengineered*. 2022;13:6420-40.
- [7] Saidulu D, Majumder A, Gupta AK. A systematic review of moving bed biofilm reactor, membrane bioreactor, and moving bed membrane bioreactor for wastewater treatment: Comparison of research trends, removal mechanisms, and performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2021;9:106112.
- [8] Bering S, Mazur J, Tarnowski K, Janus M, Mozia S, Morawski AW. The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment. *Science of the Total Environment*. 2018;627:1638-43.
- [9] Bhattacharya R, Mazumder D. Simultaneous nitrification and denitrification in moving bed bioreactor and other biological systems. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 2021;44:635-52.
- [10] Hvala N, Vrečko D, Burica O, Strazžar M, Levstek M. Simulation study supporting wastewater treatment plant upgrading. *Water science and technology*. 2002;46:325-32.
- [11] Wondim TT, Dzwauro RB, Aklog D, Janka E, Samarakoon G. Enhancing Textile Wastewater Treatment Performance: Optimization and Troubleshooting (Decision Support) via GPS-X Model. *Processes*. 2023;11:2995.
- [12] Jafarnejad S. Simulation for the performance and economic evaluation of conventional activated sludge process replacing by sequencing batch reactor technology in a petroleum refinery wastewater treatment plant. *ChemEngineering*. 2019;3:45.
- [13] Abbasi N, Ahmadi M, Naseri M. Quality and cost analysis of a wastewater treatment plant using GPS-X and CapdetWorks simulation programs. *Journal of environmental management*. 2021;284:111993.
- [14] Mohagheghian A, Nabizadeh R, Mesdghinia A, Rastkari N, Mahvi AH, Alimohammadi M, et al. Distribution of estrogenic steroids in municipal wastewater treatment plants in Tehran, Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2014;12:1-7.
- [15] Aquastat F. Global Information System on Water and Agriculture. URL: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html>. 2010.
- [16] Biswas A, Mailapalli DR, Raghuvanshi NS. Treated municipal wastewater to fulfil crop water footprints and irrigation demand—a review. *Water Supply*. 2021;21:1398-409.
- [17] Dezotti M, Lippel G, Bassin JP, Bassin JP, Dezotti M. Moving bed biofilm reactor (MBBR). *Advanced biological processes for wastewater treatment: Emerging, consolidated technologies and introduction to molecular techniques*. 2018:37-74.
- [18] Salvetti R, Azzellino A, Canziani R, Bonomo L. Effects of temperature on tertiary nitrification in moving-bed biofilm reactors. *Water Research*. 2006;40:2981-93.
- [19] Sokół W. Treatment of refinery wastewater in a three-phase fluidised bed bioreactor with a low density biomass support. *Biochemical engineering journal*. 2003;15:1-10.
- [20] Bakar SNHA, Hasan HA, Mohammad AW, Abdullah SRS, Ngteni R, Yusof KMM. Performance of a laboratory-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) and its microbial diversity in palm oil mill effluent (POME) treatment. *Process Safety and Environmental Protection*. 2020;142:325-35.