



## تأثیر میدان الکتریکی بر عملکرد راکتورهای زیستی غشایی و کاهش گرفتگی غشا

آسیه مهدی زاده<sup>۱</sup> حسن امینی‌راد<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل

Email: h.a.rad@nit.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۷/۲۷]

### چکیده

تصفیه انواع فاضلاب با هدف استفاده مجدد و به دلیل کمبود منابع آب شیرین امری لازم و ضروری است. از میان روشهای تصفیه فاضلاب، روش های بیولوژیکی جایگاه خود را در سیستمهای تصفیه فاضلاب تثبیت کرده اند. ترکیب سیستم لجن فعال به همراه غشای داخلی و یا خارجی، یک راکتور زیستی غشایی را تشکیل می دهد. راکتورهای زیستی غشایی از جمله روش های تصفیه فاضلاب هستند که استفاده از آن به دلیل مزایایی از جمله کیفیت بالاتر پساب خروجی، جای پای اکولوژیکی کمتر، تولید لجن مازاد کمتر، هزینه های راهبری پایین تر، نرخ بالاتر حذف مواد مغذی و نبود مشکلات حجیم شدگی و افزایش لجن (bulking and rising)، در حال افزایش روز افزون است. با وجود مزایای بسیار، مشکل گرفتگی به ویژه گرفتگی بیولوژیکی (biofouling)، از جمله مشکلاتی است که کاربرد این روش را با محدودیت مواجه کرده است. گرفتگی بیولوژیکی از طریق روش های متعددی کنترل می شود از جمله این روش ها می توان به رویکردهای ضد چسبندگی (استفاده از پلیمرهای آب دوست)، پلیمرهای ضد باکتری (استفاده از نانو ذرات ضد باکتری)، گرانول سازی لجن، شستشوی شیمیایی و فیزیکی، انعقاد شیمیایی اشاره کرد. روش های اشاره شده دارای معایبی از جمله افزایش هزینه ها، تولید آلاینده های ثانویه، کاهش تولید عمر و دوام غشا کاهش فلاکس عبوری و افزایش فشار نفوذی غشا اشاره کرد. بر همین اساس، انتخاب روشی با کارایی مناسب، راهبری ساده، عدم تولید لجن شیمیایی، هزینه پایین، تولید لجن مازاد و آلاینده های کمتر، برای کنترل گرفتگی لازم و ضروری است. پیشینه: براساس تحقیقات مختلف گرفتگی غشا می تواند ناشی از مواد آلی یا غیر آلی باشد و مواد پلیمری خارج سلولی (EPS) بیشترین تأثیر را بر گرفتگی بیولوژیکی دارند. به همین دلیل حذف و یا کنترل تولید این مواد می تواند به عنوان راهکاری کلیدی در جهت کنترل گرفتگی استفاده گردد. در سال های اخیر استفاده از روش انعقاد الکتریکی به عنوان روشی جهت کاهش گرفتگی غشا در راکتورهای زیستی غشایی مورد استفاده قرار گرفته است. الکترو-راکتورهای زیستی غشایی مستغرق (SMEBR) سیستم نوینی است که با ترکیب تصفیه بیولوژیکی، فیلتراسیون غشایی و میدان الکتریکی سبب بهبود عملکرد راکتورهای زیستی غشایی شده و همچنین گرفتگی غشا را کاهش داده است. همچنین نتایج تحقیقات مختلف نشان دهنده کاهش غلظت ترکیبات پلیمری خارج سلولی تحت اثر میدان الکتریکی در این راکتورها می باشد. روش: در این تحقیق یک راکتور زیستی غشایی معمول در مقایسه با الکترو-راکتورهای زیستی غشایی با استفاده از الکترودهای متفاوت مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایشها بر روی یک راکتور MBR و دو راکتور SMEBR با الکترودهای آلومینیوم و استیل انجام گرفت. تأثیر میدان الکتریکی به شکل جریان مستقیم (DC) و با ولتاژ پایین (۱/۵ ولت بر سانتی متر) بر روی مشخصات پساب خروجی (شامل COD، نیترات و فسفات) و ترکیبات پلیمری خارج سلولی (EPS و SMP) و همچنین گرفتگی غشا مورد بررسی قرار گرفت. یافته ها: نتایج آزمایشها نشان داد اعمال میدان الکتریکی در این حالت سبب بهبود مشخصات پساب خروجی (کاهش میزان اکسیژن خواهی شیمیایی (COD)، نیترات و فسفات) و کاهش غلظت محصولات پلیمری خارج سلولی (EPS) و کاهش غلظت پروتئین در محصولات میکروبی محلول (SMP) می شود. همچنین اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR سبب کاهش گرفتگی و بهبود فلاکس خروجی از غشا می شود.

**واژگان کلیدی:** راکتور زیستی غشایی، میدان الکتریکی، گرفتگی بیولوژیکی، تصفیه فاضلاب، استفاده مجدد از آب.

## ۱-مقدمه

تصفیه انواع فاضلاب با اهداف استفاده مجدد به دلیل کمبود منابع آب شیرین امری لازم و ضروری است. روش های متنوعی جهت تصفیه اولیه و ثانویه فاضلاب استفاده می شود، از آن میان می توان به روش های لجن فعال، فیلتراسیون، انعقاد شیمیایی، تعویض یونی، روش های غشایی، اسمز معکوس و غیره اشاره کرد [1]. استفاده از راکتورهای زیستی غشایی به عنوان روشی مناسب جهت تصفیه فاضلاب در حال افزایش است. راکتورهای زیستی غشایی ترکیبی از سیستم لجن فعال معمول و تکنولوژی غشایی است [2, 3]. به دلیل مزایای متعدد سیستم MBR<sup>1</sup> از جمله کیفیت بالاتر پساب خروجی، جای پای اکولوژیکی کمتر، کاهش هزینه های راهبری، تولید لجن مازاد کمتر، راهبری و مدیریت آسان و غیره به سرعت در حال جایگزینی سیستم های لجن فعال متعارف می باشد [3-6]. با وجود تمامی مزایای سیستم MBR، این راکتورها دارای معایبی از جمله هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی بالا، هزینه های بالای پاک سازی، گرفتگی غشا، مشکل ایجاد کف در راکتورهای زیستی است [5, 7]. گرفتگی غشا شامل ۴ دسته بندی گرفتگی بیولوژیکی (biofouling)، گرفتگی آلی، گرفتگی غیرآلی و گرفتگی کلوییدی می باشد [5, 8]. از میان انواع گرفتگی، گرفتگی بیولوژیکی بر روی سطح غشا پیچیدگی های بیشتری در مقایسه با سایر گرفتگی ها از جمله گرفتگی ذره ای (particulate)، گرفتگی آلی و غیرآلی دارد [6]. مهم ترین روش های مورد استفاده جهت کنترل گرفتگی شامل (۱) پیش تصفیه فاضلاب ورودی، (۲) شستشوی معکوس، (۳) پاک سازی شیمیایی غشا، (۴) شستشوی معکوس شیمیایی، (۵) شستشوی غشا از طریق حباب درشت هوادهی، (۶) اصلاح شیمیایی مخلوط لجن می باشد [9]. با این وجود استفاده از روش های معمول در کاهش نرخ گرفتگی کافی نبوده و توان مقابله با پدیده گرفتگی بیولوژیکی را ندارند [6]. در نتیجه استفاده از روشی با کارایی مناسب، هزینه پایین و بدون تولید لجن اضافه و مواد آلاینده جهت کنترل گرفتگی لازم و ضروری است. بر اساس تحقیقات مختلف کلویدهای آلی و ترکیبات پلیمری

خارج سلولی (EPS<sup>2</sup>)، موادی هستند که بیشترین تأثیر را بر گرفتگی بیولوژیکی غشا دارند [3]. در نتیجه حذف و یا کنترل تولید این مواد می تواند راه حلی کلیدی جهت کنترل گرفتگی محسوب شود [10]. استفاده از میدان الکتریکی از ابداعات نسبتاً جدید مورداستفاده در سیستم تصفیه غشایی است. میدان الکتریکی از سه راه سبب کنترل گرفتگی غشا می شود: (۱) میدان الکتریکی مانع از رسوب ذرات لجن و ترکیبات کلوییدی با بار منفی بر روی سطح غشا می شود، (۲) شدت مناسبی از میدان الکتریکی سبب افزایش متابولیسم لجن چسبیده می گردد، (۳) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> تولید شده در سیستم بیو الکتروشیمیایی در راکتورهای زیستی غشایی گرفتگی غشا را اکسید می کند [3]. الکترو-راکتورهای زیستی غشایی مستغرق (SMEBR<sup>3</sup>) از ترکیب راکتورهای زیستی غشایی (MBR) و واحد انعقاد الکتریکی (EC) تشکیل شده اند. این روش نخستین بار توسط گروه تحقیقاتی الکتروویکز<sup>۴</sup> ابداع شد. در این سیستم الکترودها دورتا دور غشا قرار می گیرند و در اثر انحلال آند آلومینیومی، هیدروکسید آلومینیوم تولید می شود. ترکیب فرآیند بیولوژیکی، فیلتراسیون غشایی و الکتروکینتیک سبب پتانسیل بالای این سیستم در حذف COD<sup>۵</sup>، فسفر و آمونیاک و هم چنین کاهش گرفتگی شده است [10, 11]. سازوکار کاهش گرفتگی با توجه به تحقیقات آیبید ناشی از حذف مواد پلیمری خارج سلولی و کلویدهای آلی عنوان شده است [12]. اما در خصوص تأثیرات میدان الکتریکی بر سایر ترکیبات پلیمری خارج سلولی (LB-EPS<sup>6</sup>, TB-EPS<sup>7</sup>) تحقیقاتی انجام نگرفته است. با توجه به تحقیقات سایر ترکیبات پلیمری خارج سلولی از جمله LB-EPS بر روی گرفتگی اثرگذارند [13]. در نتیجه لازم است تأثیرات میدان الکتریکی بر روی این مواد بررسی گردد. در این پژوهش با راهبری الکترو-راکتورهای زیستی غشایی مستغرق در مقیاس آزمایشگاهی به بررسی اثرات میدان الکتریکی بر سیستم MBR، تأثیر بر کاهش گرفتگی غشا و تأثیرات بر ترکیبات پلیمری

2 Extracellular polymeric substances

3 Submerged Membrane Electro Bioreactor

4 Electrowicez

5 Chemically oxygen demand

6 Loosely bound- Extracellular polymeric substances

7 Tightly bound-Extracellular polymeric substances

1 Membrane Bioreactor

خارج سلولی پرداخته شده است.

جدول ۳. مشخصات مواد مورد استفاده در فاضلاب مصنوعی

Micronutrient solution (g/l)	Concentration (mg/l)	Chemical symbol	Name
2.73	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	NH <sub>4</sub> CL	Ammonium Chloride
1.5	FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	Ammonium bicarbonate
0.25	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Potassium dihydrogen phosphate
0.15	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	KHSO <sub>4</sub>	Potassium sulphate
0.12	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	NaHCO <sub>3</sub>	Carbonate sodium
0.06	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	Chloride calcium
0.03	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	MgSO <sub>4</sub>	Magnesium sulphate
0.03	CoCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> NaO <sub>2</sub>	sodium acetate
0.03	NiCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O		Peptone water
0.03	KI		Nutrient solution

Table 3- Specifications of materials used in synthetic waste water

#### ۱- مواد و روش‌ها

##### ۱-۲. مواد مورد استفاده

مشخصات فاضلاب مصنوعی ورودی و مواد مورد استفاده در تهیه فاضلاب مصنوعی و در آزمایشات تحلیلی در جدول (۱)، ۲ و ۳ آورده شده است. COD فاضلاب مصنوعی ساخته شده برابر ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر بوده است که براساس تحقیق آید و همکاران، این مقدار COD انتخاب شد. با توجه به نسبت تقریبی ۱:۲ بین COD و BOD مقدار BOD برای فاضلاب ورودی در حدود ۵۰۰ میلی گرم در لیتر است که تقریباً دو برابر مقدار آن در فاضلاب‌های خانگی است. با توجه به توضیحات گفته شده می توان BOD فاضلاب مصنوعی مورد استفاده در این تحقیق را در رده متوسط طبقه‌بندی کرد.

##### جدول ۱. مشخصات فاضلاب ورودی به راکتورها

Concentration	Unit of measurement	Name
1000	mg/l	COD
72	mg/l	Ammonia
14.5	mg/l	phosphate

Table 1- Influent characteristics of the reactors

##### جدول ۲. مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمایش‌ها

Manufacturer	Chemical symbol	Name
Scharlau	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulphonic Acid
Merck	phenol	Fenol
TetraChem	NaOH	Sodium hydroxide
Merck	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Phosphoric Acid

Table 2- The chemicals used in the tests

تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده در ساخت فاضلاب مصنوعی محصول شرکت مرک آلمان با گرید آزمایشگاهی (خلوص بیشتر از ۹۷٪) بوده است.

#### ۲-۲. ساخت و راه اندازی پایلوت آزمایشگاهی

در این پژوهش از سه پایلوت آزمایشگاهی به شکل استوانه با قطر ۱۵/۵ و ارتفاع ۲۷ سانتی متر و باحجم موثر ۳ لیتر استفاده شده است. راکتورها به صورت راکتور شاهد، راکتور ۱ و راکتور ۲ نام گذاری شده اند. منظور از راکتور شاهد، راکتور متعارف MBR و منظور از راکتورهای ۱ و ۲ راکتورهای SMEBR است. تفاوت راکتور ۱ و ۲ تنها در جنس الکترودها بوده که در راکتور ۱ هردو الکترودها از جنس استیل و در راکتور ۲ آند آلومینیومی و کاتد استیل استفاده شده است. با توجه به آنکه در فرآیند انعقاد الکتریکی عموماً از آند از جنس آلومینیوم، آهن، استیل و یا آلیاژهای آلومینیوم به عنوان آند فداشونده استفاده می شود و غالباً از ترکیب آلومینیوم-آلومینیوم، آهن آلومینیوم و یا آهن-آهن برای الکترودها استفاده می شود. به دلیل آنکه هر دو فلز آهن و آلومینیوم، رسانایی الکتریکی بالایی داشته، غیرسمی و ارزان هستند [14]. هم چنین با توجه به آنکه در اکثر تحقیقات گذشته در راکتورهای SMEBR از الکترودهای آلومینیوم (آند) و استیل (کاتد) استفاده شده بود در این تحقیق نیز از همین جنس الکترودها

آزمایش های اندازه گیری غلظت پروتئین به روش برادفورد [15] و اندازه گیری غلظت پلی ساکارید به روش فنول-اسید سولفوریک [16] انجام شد. هم چنین آزمایش های اندازه گیری COD محلول، نترات و فسفات با استفاده از روش های کتاب استاندارد متد انجام شد [17]. برای اندازه گیری فلاکس، مقدار حجم پساب خروجی در واحد زمان و در فشار ثابت اندازه گیری شد و از رابطه (۱) مقدار فلاکس خروجی محاسبه شد.

$$\text{flux} = \frac{v}{t \times s} \quad (1) \text{ رابطه (۱)}$$

$v$  = حجم پساب خروجی به مترمکعب

$t$  = زمان بر حسب ساعت

مساحت سطح موثر غشا بر حسب متر مربع

## ۱. نتایج و بحث

### ۱-۳. نتایج تغییرات محصولات میکروبی خارج سلولی

مواد پلیمری خارج سلولی یکی از عوامل موثر بر گرفتگی غشا در سیستم MBR هستند [13-18]. تحقیقات متعددی اثر میدان الکتریکی بر EPS (Soluble & bound) محلول و بصورت چسبیده را بررسی کرده اند [19-21]. نتایج تحقیقات نشان داد اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR سبب کاهش غلظت EPS شده است [22, 23]. استفاده از آنند آلومینیومی باعث آزادسازی یون های آلومینیوم از سطح آنند و همچنین تشکیل هیدروکسیدهای آلومینیوم می شود. [12]. از آنجاکه بار سطحی پلی ساکارید EPS منفی است لذا به وسیله ی هیدروکسید آلومینیوم جذب سطحی می شود [22]. در تحقیقات مختلف وجود رابطه مستقیم بین EPS و AHLs اثبات شده است [22-26]. به نحوی که تجزیه، کاهش تولید و یا غیرفعال سازی AHLs منجر به کاهش تولید EPS می شود [24]. سازوکار حذف EPS در تحقیقات بورآ و همکاران، جذب سطحی به وسیله هیدروکسیدهای آلومینیوم عنوان شده است [22]. جیانگ و همکاران کاهش غلظت EPS را ناشی از تجزیه سیگنال های AHLs تحت اثر میدان الکتریکی دانسته اند [23].

برای راکتور شماره ۲ استفاده شد. به منظور مقایسه اثر جنس الکتروود روی مشخصات فاضلاب خروجی از یک راکتور دیگر (راکتور ۱) با جنس الکتروود متفاوت (آنند و کاتد استیل) استفاده شد. نوع غشای مورد استفاده در هر سه راکتور از غشای اولترا از جنس پلی پروپیلن با ابعاد روزنه های ۱۰۰ نانومتر، به طول ۲۰ سانتی متر و تعداد ۱۰۰ عدد می باشد. در پایلوت ۱ ابعاد کاتدها ۱۰×۱۸ سانتی متر و ضخامت ۱ میلی متر بود که در فاصله ۵ سانتی متر از مرکز پایلوت قرار گرفته بودند. ابعاد آندهای استیل نیز ۱۵×۱۸ سانتی متر و ضخامت ۱ میلی متر بوده که در کنار یا محیط دیواره های پایلوت قرار گرفتند.

شکل ۱. شماتیک پایلوت غشا بیولوژیکی با میدان الکتریکی

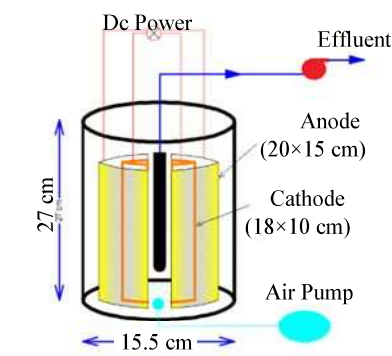


Fig 1- Pilot schematic electro membrane reactor

در پایلوت سوم از آنند آلومینیوم به ابعاد ۱۵×۲۵ سانتی متر (ارتفاع موثر ۲۰) در کنار دیواره های پایلوت و کاتد استیل به ابعاد ۱۰×۱۸ سانتی متر در فاصله ۵ سانتی متر از مرکز پایلوت استفاده شد. برای اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای ۱ و ۲ از منبع تغذیه DC ۳۰ ولت و شدت جریان ۲ آمپر DAZHENG مدل PS-302D استفاده شد. در شکل ۱ شماتیک پایلوت مورد استفاده در این تحقیق را نشان می دهد آورده شده است. پارامتر های راهبری مانند زمان ماند هیدرولیکی و COD فاضلاب ورودی به ترتیب برای هر سه راکتور ۴۸ ساعت و ۱۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شد.

۲-۳. روش ها

چسبیده در اثر الکترواسموز است که سبب کاهش اندازه فلاک‌ها می‌شود [11, 27, 28]. لایه دوبل الکترونی از ذرات لجن با بار منفی تشکیل شده است که به وسیله لایه‌ای از یون‌های با بار مثبت احاطه شده است. هنگامی که بار الکتریکی به محلول اعمال می‌شود، ذرات با بار مثبت به سمت کاتد جذب می‌شوند و هم‌زمان با حرکت این ذرات، سبب حرکت مولکول‌های آب به سمت کاتد می‌شوند. در نتیجه منجر به خروج آب از بین ذرات لجن می‌شود [11]. نتایج حسن و همکاران نشان داد اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR سبب کاهش اندازه فلاک‌ها از ۶۹ میکرومتر به ۱۷/۵ میکرومتر می‌شود [29].

آیید و همکاران کاهش اندازه فلاک‌ها در راکتورهای SMEBR را ناشی از الکترواسموز و هم‌چنین تشکیل ذرات غیر آلی هیدروکسید آلومینیوم و یا ذرات با ساختار آلی/غیر آلی دانسته‌اند [30]. این نتایج با تحقیقات تفتی و همکاران نیز مطابقت دارد که در جریان‌های بالا تشکیل هیدروکسیدهای آهن منجر به کاهش اندازه ذرات می‌شود [31]. نتایج تحقیقات گیوا و همکاران نشان داد در ۱۹ روز ابتدایی راهبری راکتور افزایش اندازه ذرات لجن مشاهده می‌شود که ناشی از پدیده انعقاد الکتریکی بوده و پس از آن کاهش اندازه ذرات مشاهده شد که به دلیل پدیده الکترواسموز اتفاق افتاد [28]. به طور مشابه نتایج خوان و همکاران بر روی راکتورهای SMEBR (QQ) نشان داد توزیع اندازه ذرات پس از دو هفته راهبری راکتور افزایش داشته است که ناشی از پدیده انعقاد الکتریکی بوده است. اما در ادامه راهبری این راکتور اندازه ذرات فلاک کاهش یافته‌اند که علت این امر غلبه پدیده الکترواسموز بر پدیده انعقاد الکتریکی عنوان شده است [27]. با توجه به آنکه راکتورهای مورد آزمایش برای مدت ۱۰ روز راهبری شده‌اند، افزایش نسبی متوسط اندازه ذرات در راکتور ۱ با نتایج این تحقیقات هم‌راستا بوده و ناشی از پدیده انعقاد الکتریکی است.

با توجه به شکل (۲) اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR سبب کاهش غلظت EPS (مجموع پروتئین و پلی ساکارید با الحاق ضعیف و قوی (LB و TB) می‌شود. با توجه به نتایج تحقیقات گذشته می‌توان گفت سازوکار احتمالی حذف EPS در راکتورهای ۱ و ۲، تجزیه سیگنال‌های AHLs و در نتیجه کاهش غلظت EPS بوده است. همچنین جذب سطحی EPS به وسیله هیدروکسیدهای آلومینیوم دیگر سازوکار حذف در راکتور ۲ بوده است که این موضوع سبب راندمان حذف بالاتر آن در مقایسه با راکتور ۱ شده است.

شکل ۲. تغییرات محصولات میکروبی خارج سلولی

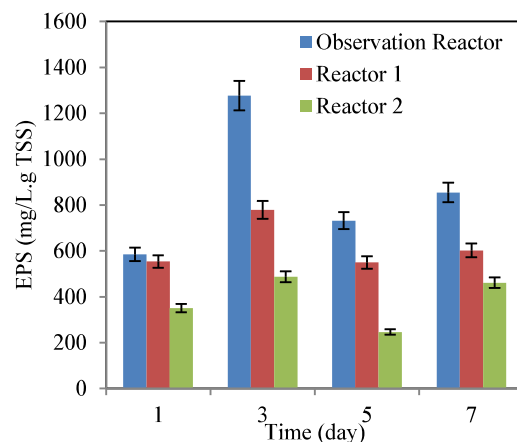


Fig 2- Changes in extracellular microbial products

### ۲-۳. توزیع اندازه ذرات (PSD<sup>8</sup>)

با توجه به شکل ۳ اعمال میدان الکتریکی سبب تغییراتی در اندازه فلاک‌ها و توزیع اندازه‌ها می‌شود. با توجه به شکل (۳-الف) متوسط اندازه فلاک‌ها در راکتور شاهده‌است. و راکتورهای ۱ (با الکترودهای استیل) ۲ (با الکترودهای آلومینیوم) متوسط اندازه ذرات به ترتیب حدود ۵۰، ۶۰ و ۲۰ میکرومتر است. در راکتورهای SMEBR دو سازوکار سبب تغییر اندازه فلاک‌ها می‌شود. سازوکار اول انعقاد الکتریکی و کاهش پتانسیل زتا در اثر اعمال میدان الکتریکی است که سبب افزایش اندازه فلاک‌ها می‌شود. دومین سازوکار استخراج آب

حذف SMP در SMEBR با استفاده از الکترودهای استیل ناشی از تولید یون‌های  $Fe^{2+}$  از الکترواکسیداسیون آند و خنثی‌سازی ذرات با بار سطحی منفی می‌باشد [31]. روند تغییرات برای هر سه راکتور کاهش یافته است اما در راکتورهای ۲ و ۳ یک افزایش ناگهانی در مقدار پلی ساکارید SMP در روزهای سوم و پنجم آزمایش مشاهده می‌شود. همچنین مقدار پروتئین SMP در این راکتورها پایان راهبری افزایش ناگهانی و قابل ملاحظه‌ای داشته است. افزایش ناگهانی غلظت SMP می‌تواند ناشی از مرگ و میسر باکتری‌ها (Cell lysis) ناشی از شوک حاصل از اعمال میدان الکتریکی باشد [32].

شکل ۴. تغییرات محصولات میکروبی خارج سلولی

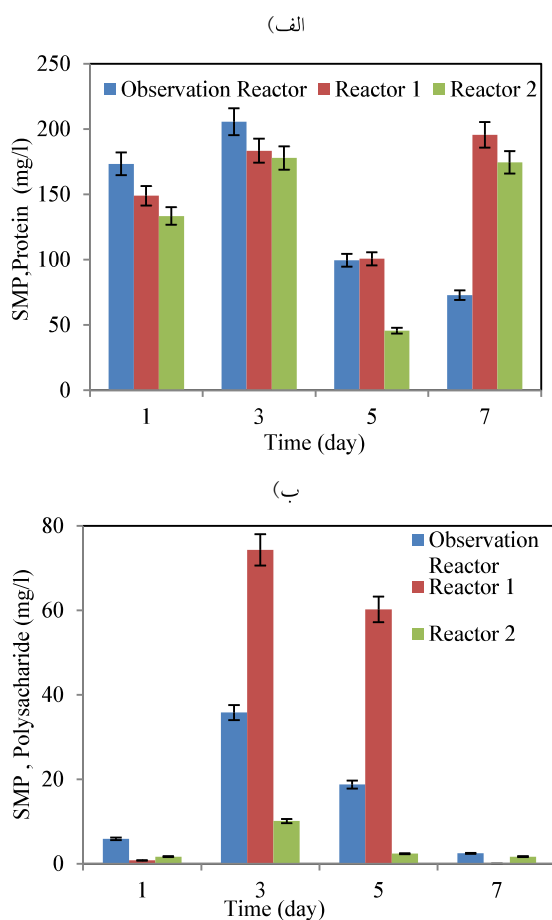


Fig. 4. Changes in extracellular microbial products

در تحقیقات آبی و همکاران در بررسی حالات مختلف اعمال

شکل ۳. توزیع اندازه ذرات فلاک‌ها (الف) راکتور شاهد، (ب) راکتور (ا و ب) راکتور ۲.

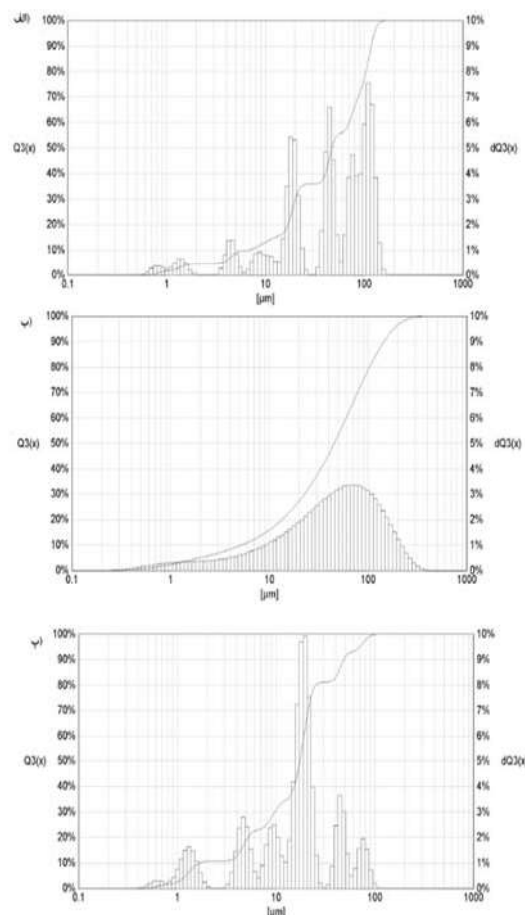


Fig 3- Particle size distribution of a) control reactor, b) reactor 1 and c) reactor 2.

### ۳-۳. تغییرات محصولات میکروبی محلول ( $SMP^9$ )

با توجه به شکل (۴ الف و ب) اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR سبب کاهش غلظت (افزایش حذف) پروتئین و پلی ساکارید SMP می‌شود. میزان کاهش در راکتور ۲ (راکتور با آند آلومینیوم و کاتد استیل) از راکتور ۱ (هر دو الکتروده استیل) بیشتر است. علت این حالت آزاد شدن یون  $Al^{3+}$  و تولید آلومینیوم هیدروکسید در راکتور ۲ است. مطابق آنچه پیش‌تر توضیح داده شد، آزاد شدن یون آلومینیوم سبب کاهش پروتئین و پلی ساکارید SMP می‌شود [12]. همچنین

بر مترمربع و حالت ۱۸۵ ثانیه روشن-۴۱۵ ثانیه خاموش، راندمان حذف COD ۴٪ بیشتر از راکتور MBR و برابر ۹۵ درصد بوده است. از دلایل بالا بودن راندمان حذف COD در راکتور SMEBR فعال بودن بسیار زیاد بایومس در این راکتورها می‌باشد [31]. الکتروویکز و همکاران در تحقیق خود روی استفاده از الکترو-راکتور زیستی غشایی (MEBR) در سیستم‌های تصفیه فاضلاب کوچک مقیاس به ۹۹ درصد حذف COD دست یافتند. [36] براساس نتایج تحقیقات خوان و همکاران، استفاده از میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR(QQ) سبب افزایش ۳/۵ درصدی میانگین حذف COD در مقایسه با راکتور SMBR (QQ) شده است. علت این امر افزایش جمعیت برخی از جوامع باکتریایی از جمله Nitrospir, Nitrospiraceae Rhodobacteraceae و Rhodocyclaceae, Dechloromonas ناشی از اعمال میدان الکتریکی می‌باشد [27]. نتایج تحقیقات آکایا و همکاران در تصفیه شیرابه جوان با استفاده از راکتور SMEBR نشان داد میزان حذف COD در این راکتور حدود ۶ تا ۱۵ درصد بیشتر از راکتور SMBR بوده است. بهبود حذف COD به دلیل واکنش یون‌های آلومینیوم با کلویدهای منفی و فرآیند انعقاد الکتریکی بوده است [37].

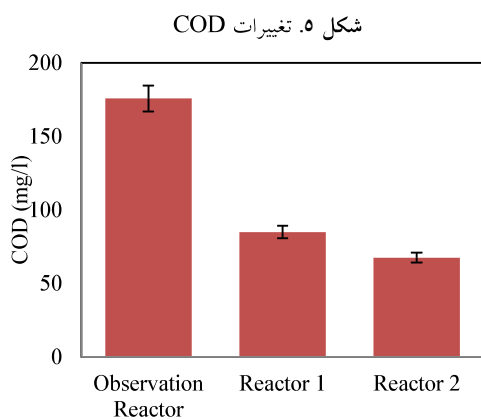


Fig. 5- COD changes

#### ۳-۵. تغییرات نیتروژن نیتراتی

با توجه به شکل (۶) اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR سبب کاهش غلظت نیترات می‌شود. مقادیر غلظت

میدان الکتریکی از ۴۳ تا ۹۰ درصد حذف SMP در راکتورهای SMEBR در مقایسه با MBR گزارش شده است. سازوکار حذف پدیده انعقاد الکتریکی (electrocoagulation) و سایر پدیده‌های الکتروکیتیک عنوان شده است [33]. حسن و همکاران تا بیش از ۶۳٪ کاهش soluble EPS را در راکتورهای SMEBR گزارش کردند که این کاهش ناشی از ناپایداری و خنثی سازی بار منفی soluble EPS محلول به وسیله یون‌های  $Al^{3+}$  عنوان شده است [34]. تحقیقات بورا و همکاران نشان داد اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR سبب کاهش ۹۲/۲۵ درصدی پلی ساکارید در ترکیبات محلول میکروبی (SMP) و کاهش ۷۶ درصدی پروتئین در ترکیبات محلول میکروبی (SMP) شده است. سازوکار حذف SMP، جذب سطحی به وسیله‌ی هیدروکسیدهای آلومینیوم، که در آند تشکیل شده اند، عنوان شده است [22]. نتایج تحقیقات جیانگ و همکاران نشان داد افزایش ولتاژ اعمالی در راکتورهای EMBR سبب کاهش قابل ملاحظه EPS و SMP می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان داد تجزیه سیگنال‌های AHLs سبب کاهش غلظت EPS شده است [23].

#### ۴-۳. تغییرات COD

تغییرات COD در شکل (۵) آمده است. با توجه به شکل اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR سبب بهبود عملکرد سیستم از نظر حذف COD می‌شود. میانگین راندمان حذف COD برای راکتورهای شاهد، ۱ و ۲ به ترتیب برابر ۸۲٪، ۹۱٪ و ۹۳٪ است. در تحقیق انجام شده توسط بانی و همکاران، اعمال ولتاژ ثابت ۱ ولت بر سانتی‌متر و حالت برقراری جریان ۱۵ دقیقه روشن-۴۵ دقیقه خاموش در سیستم SMEBR (الکتروبايو راکتور غشایی مستغرق)، راندمان حذف COD تا ۹۵٪ افزایش یافت. افزایش راندمان حذف COD ناشی از فرآیند انعقاد الکتریکی می‌باشد. [35] در تحقیقات انجام شده توسط تفتی و همکاران، از الکترودهای استیل در راکتورهای SMEBR استفاده شد. در این تحقیق تأثیر تغییر مقدار جریان الکتریکی اعمالی و حالت‌های زمانی اعمال جریان بررسی شد. نتایج نشان داد در شرایط بهینه با شدت جریان اعمالی ۱۲.۵ آمپر

(یون فریک) و فسفر محلول عنوان شده است. همچنین رسوب فسفر بر روی سطح الکترودها نیز دیگر سازوکار حذف فسفر در این راکتورها محسوب شد [31]. بانی و الکتروویکز با اعمال میدان الکتریکی به حالت ۱۵ دقیقه روشن ۴۵ دقیقه خاموش در راکتور SMEBR به ۹۸٪ حذف فسفر دست یافتند [35]. تفتی و همکاران با استفاده از الکترودهای استیل در راکتور SMEBR و اعمال میدان الکتریکی به حالت ۴۱۵ ثانیه خاموش، ۱۸۵ ثانیه روشن به ۴۳٪ حذف بیشتر فسفر در مقایسه با راکتور MBR دست یافتند [31]. گیوا و همکاران با اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR به ۹۹٪ حذف فسفر دست یافتند [39]. در تحقیق خوان و همکاران روی راکتورهای SMEBR(QQ) تا ۹۰ درصد حذف فسفر مشاهده شد، این در حالی است که راندمان حذف در راکتور SMBR(QQ) حدود ۶۴٪ بوده است. اکسایش الکتریکی آند و کاهش الکتریکی کاتد منجر به تشکیل  $AlPO_4$  و  $Al(OH)_3$  می شود که باعث افزایش جذب فسفر بر سطح فلاک ها می گردد. همچنین افزایش جمعیت برخی از گونه‌های باکتریایی، تحت اثر میدان الکتریکی، منجر به بهبود راندمان حذف شده است [27].

شکل ۷. تغییرات فسفات

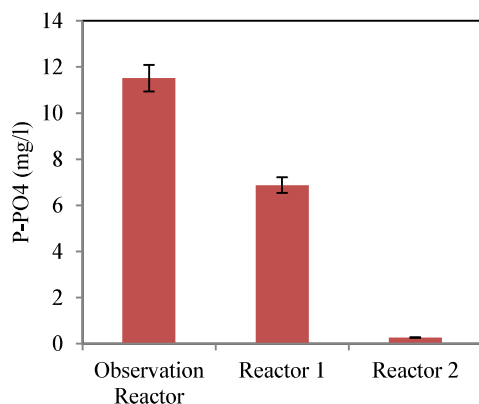


Fig 7- Phosphate Changes

مطابق با نتایج تحقیق مندرس پردلین و همکاران استفاده از راکتور SMEBR در تصفیه فاضلاب شهری منجر به افزایش ۳۴/۶ درصدی راندمان حذف فسفر شده است. انعقاد الکتریکی به عنوان اصلی‌ترین عامل افزایش راندمان حذف فسفر عنوان

نیترات در راکتور ۲ پایین‌تر از مقدار آن در راکتور ۱ می‌باشد. سازوکار حذف نیترات، تغییرات متناوب ORP و ایجاد شرایط هوازی/آنوکسیک است. تفتی و همکاران با اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR با استفاده از الکترودهای استیل به ۷۰٪ راندمان حذف نیتروژن دست یافتند [31]. نتایج این تحقیق با نتایج بورآ و همکاران نیز مطابقت دارد [22]. در تحقیقات آید و الکتروویکز بر روی حذف نیتروژن در غلظت های پایین کربن مشخص شد استفاده از راکتورهای SMEBR منجر به افزایش ۵۵ تا ۸۹ درصدی راندمان حذف نیترات در مقایسه با راکتور MBR می‌گردد [38].

شکل ۶. تغییرات نیتروژن نیتراتی

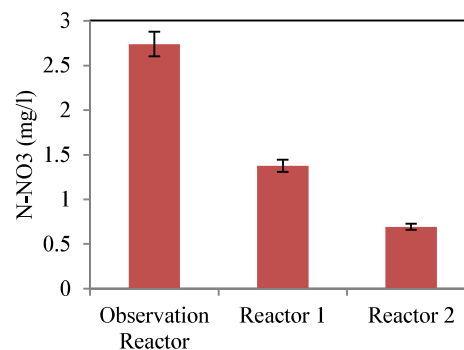


Fig. 6. Nitrate changes

## ۶-۳. تغییرات فسفات

تغییرات فسفات خروجی در شکل (۷) آورده شده است. با توجه به شکل اعمال میدان الکتریکی سبب کاهش غلظت فسفات در راکتور MBR می‌شود. میزان کاهش (راندمان حذف) در راکتور ۲ با آند آلومینیومی بیشتر از میزان کاهش در راکتور ۱ (با الکترودهای استیل) است. علت حذف فسفر در راکتور ۲ همانند آنچه در راکتورهای فاز دوم اتفاق افتاد، آزاد شدن یون  $Al^{3+}$  و تولید هیدروکسید آلومینیوم در راکتور ۲ است که جذب سطحی بالایی دارد. همچنین دیگر مکانیزم حذف فسفر واکنش با یون آلومینیوم و تشکیل رسوب و ته‌نشینی آن بوده است. در تحقیقات تفتی و همکاران سازوکار حذف در راکتورها با الکترودهای استیل نیز ناشی از واکنش بین یون‌های آهن



روز از راهبری راکتور هیچ گونه گرفتگی‌ای مشاهده نشد). [31]. براساس نتایج تحقیقات بورا و همکاران اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR منجر به کاهش میزان گرفتگی از طریق کاهش سیگنال‌های AHLs می‌شود [22]. در تحقیقات خون و همکاران نیز کاهش غلظت SMP و واکنش هیدروکسیدهای آلومینیوم با مواد آلی به عنوان دلایل کاهش نرخ گرفتگی عنوان شده است [37]. با توجه به نتایج تحقیقات مختلف، اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای MBR سبب کاهش غلظت EPS شده است [3]. همچنین EPS و SMP از مهم ترین عوامل موثر بر گرفتگی بیولوژیکی غشا هستند [18]. می توان گفت سازوکار کاهش گرفتگی در این تحقیق نیز کاهش غلظت EPS و SMP بوده است.

شکل ۸. تغییرات فلاکس عبوری از غشا

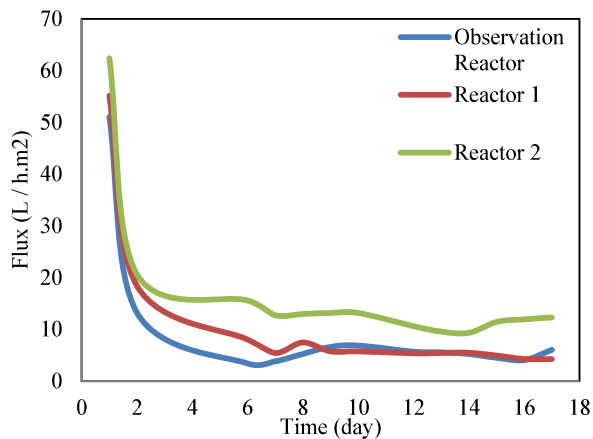


Fig. 8. Flux changes from the membrane

## ۲- نتیجه گیری

در این پژوهش اثرات میدان الکتریکی بر روی سیستم راکتور زیستی غشایی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. با توجه به نتایج آزمایشات می توان گفت اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR نتایج زیر را در پی دارد. اعمال میدان الکتریکی موجب کاهش سیگنال‌های تولیدی AHL، لخته سازی، افزایش دوره تناوب شستشوی غشا و در نهایت سبب بهبود مشخصات پساب خروجی مانند کاهش COD، کاهش نیترات و فسفات بدلیل انعقاد الکتریکی شد. همچنین اعمال

شده است [40]. نتایج تحقیق آید و الکتروویکتر نیز نشان دهنده کاهش غلظت فسفر در راکتور SMEBR در مقایسه با MBR به دلیل تشکیل کمپلکس های آلومینیوم و فسفر و رسوب آن بر سطح آند بوده است [38].

## ۷-۳. تغییرات فلاکس خروجی

با توجه به شکل (۸) اعمال میدان الکتریکی در راکتورهای SMEBR سبب بهبود عملکرد غشا و کاهش گرفتگی در مقایسه با راکتور MBR (راکتور شاهد) می‌شود. همان‌گونه که از شکل مشخص است در هر سه راکتور ابتدا مقدار اولیه فلاکس بالا بوده و با شیب تنیدی کاهش می‌یابد. شیب این مرحله برای نمودار فلاکس راکتورهای ۱ و ۲ کمتر است. همچنین بعد از کاهش سریع فلاکس و رسیدن به شرایط پایدار (steady state) در مقدار فلاکس، در راکتور ۱ و ۲ بالاتر از مقدار آن در راکتور شاهد است. در شرایط پایدار شدن فلاکس‌ها به ترتیب ۵، ۷ و ۱۳ لیتر بر ساعت مترمربع شده که یعنی در راکتور ۲ تا ۶۱٪ بهبود فلاکس مشاهده می‌شود. از مهم‌ترین دلایل کاهش گرفتگی در اثر اعمال میدان الکتریکی، حذف مواد پلیمری خارج سلولی (SMP) در اثر انعقاد الکتریکی است. همچنین حذف سیگنال‌های AHLs در اثر اعمال میدان الکتریکی، منجر به کاهش تولید EPS و همچنین کنترل گرفتگی بیولوژیکی در غشا می‌شود [22]. لذا در راکتورهای ۱ و ۲ در اثر اعمال میدان الکتریکی و کاهش غلظت SMP میزان گرفتگی و کاهش فلاکس کم‌تر است. تحقیقات بانی و همکاران نشان داد اعمال میدان الکتریکی تا ۱۳٪ میزان گرفتگی غشا را کاهش می‌دهد [41]. بر اساس تحقیقات آید و همکاران اعمال میدان الکتریکی سبب کاهش حدوداً ۷۰ درصدی نرخ گرفتگی غشا می‌شود. از دلایل کاهش گرفتگی حذف کلونیدهای آلی و SMP ناشی از انعقاد الکتریکی و سایر پدیده‌های الکتروکینتیک عنوان شده است [۳۳]. تفتی و همکاران با اعمال میدان الکتریکی به وسیله الکترودهای استیل و اعمال جریان ۱۲/۵ آمپر بر متر مربع به حالت ۱۸۵ ثانیه روشن/۴۱۵ ثانیه خاموش موفق به کنترل گرفتگی در طول دوره ۱۵ روزه راهبری گشتند (با شرایط راهبری ذکر شده پس از ۱۵

9. Ghernaout D. New Configurations and Techniques for Controlling Membrane Bioreactor (MBR) Fouling. *OALib*. 2020;07(07):1–18.

10. Hosseini S. Novel Submerged Membrane Electro-Bioreactor-Anaerobic/Anoxic Ammonia Oxidation (SMEBR-Anammox). 2016.

11. Arian Z. New configuration of submerged electro-bioreactor (SMEBR) for nutrient removal in water recovery. 2014.

12. Enhancement of the submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR) for nutrient removal and membrane fouling control Sharif Ibeid. 2011.

13. Liu Y, Liu Z, Zhang A, Chen Y, Wang X. The role of EPS concentration on membrane fouling control: Comparison analysis of hybrid membrane bioreactor and conventional membrane bioreactor. *Desalination*. 2012 Nov 1;305:38–43.

14. Shahedi A, Darban AK, Taghipour F, Jamshidi-Zanjani A. A review on industrial wastewater treatment via electrocoagulation processes. Vol. 22, *Current Opinion in Electrochemistry*. Elsevier B.V.; 2020. p. 154–69.

15. He F. Bradford Protein Assay [Internet]. Available from: <http://www.bio-protocol.org/e45>

16. Nielsen SS. Phenol-Sulfuric Acid Method for Total Carbohydrates. In 2010. p. 47–53.

17. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1999.

18. Lee K, Lee S, Lee J, Zhang X, Lee SH. Roles of soluble microbial products and extracellular polymeric substances in membrane fouling. In: *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Advanced Membrane Separation Processes for Sustainable Water and Wastewater Management - Aerobic Membrane Bioreactor Processes and Technologies*. Elsevier; 2020. p. 45–79.

19. Su F, Liang Y, Liu G, Mota Filho CR, Hu C, Qu J. Enhancement of anti-fouling and contaminant removal in an electro-membrane bioreactor: Significance of electrocoagulation and electric field. *Sep Purif Technol*. 2020 Oct 1;248.

20. Yin X, Li X, Hua Z, Ren Y. The growth process of the cake layer and membrane fouling alleviation mechanism in a MBR assisted with the self-generated electric field. *Water Res*. 2020 Mar 15;171.

21. Yin X, Li J, Li X, Hua Z, Wang X, Ren Y. Self-generated electric field to suppress sludge production and fouling development in a membrane bioreactor for wastewater treatment. *Chemosphere*. 2020 Dec 1;261.

میدان الکتریکی در سیستم MBR سبب کاهش غلظت‌های پلی ساکارید و پروتئین محصولات میکروبی (EPS و SMP) شد که همین امر سبب کاهش گرفتگی غشا و بهبود عملکرد بیولوژیکی و هیدرولیکی سیستم MBR متعارف شد.

#### ۵. تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل که زمینه انجام این تحقیق را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود.

#### ۶. اعلام تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ نوع تعارض منافی وجود ندارد.

#### ۷. مراجع

1. Yousuf M, Mollah A, Schennach R, Parga JR, Cocke DL. Electrocoagulation (EC)-science and applications. Vol. 84, *Journal of Hazardous Materials*. 2001.

2. Mashhad NS. Investigation of Activated Sludge Properties under Different Electrical Field and in the Presence of Calcium. 2010.

3. Cui Y, Gao H, Yu R, Gao L, Zhan M. Biological-based control strategies for MBR membrane biofouling: A review. Vol. 83, *Water Science and Technology*. IWA Publishing; 2021. p. 2597–614.

4. Oh HS, Lee CH. Origin and evolution of quorum quenching technology for biofouling control in MBRs for wastewater treatment. Vol. 554, *Journal of Membrane Science*. Elsevier B.V.; 2018. p. 331–45.

5. Liu Q, Ren J, Lu Y, Zhang X, Roddick FA, Fan L, et al. A review of the current in-situ fouling control strategies in MBR: Biological versus physicochemical. Vol. 98, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. Korean Society of Industrial Engineering Chemistry; 2021. p. 42–59.

6. Aslam M, Ahmad R, Kim J. Recent developments in biofouling control in membrane bioreactors for domestic wastewater treatment. Vol. 206, *Separation and Purification Technology*. Elsevier B.V.; 2018. p. 297–315.

7. Sari Erkan H, Bakaraki Turan N, Önköl Engin G. Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment. In: *Comprehensive Analytical Chemistry*. Elsevier B.V.; 2018. p. 151–200.

8. Cui Y, Gao H, Yu R, Gao L, Zhan M. Biological-based control strategies for MBR membrane biofouling: A review. Vol. 83, *Water Science and Technology*. IWA Publishing; 2021. p. 2597–614.

32. Ibeid S, Elektorowicz M, Oleszkiewicz JA. Modification of activated sludge properties caused by application of continuous and intermittent current. *Water Res.* 2013 Feb 1;47(2):903–10.
33. Ibeid S, Elektorowicz M, Oleszkiewicz JA. Novel electrokinetic approach reduces membrane fouling. *Water Res.* 2013 Oct 5;47(16):6358–66.
34. Hasan SW, Elektorowicz M, Oleszkiewicz JA. Start-up period investigation of pilot-scale submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR) treating raw municipal wastewater. *Chemosphere* [Internet]. 2014;97:71–7. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.009>
35. Bani-Melhem K, Elektorowicz M. Performance of the submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR) with iron electrodes for wastewater treatment and fouling reduction. *J Memb Sci.* 2011 Sep 1;379(1–2):434–9.
36. Elektorowicz M, Ibeid S, Belanger A, Oleszkiewicz JA. Membrane electro-bioreactor for small wastewater treatment systems. In: *Lecture Notes in Civil Engineering.* Springer; 2017. p. 182–7.
37. Kurtoğlu Akkaya G, Bilgili MS. Evaluating the performance of an electro-membrane bioreactor in treatment of young leachate. *J Environ Chem Eng.* 2020 Aug 1;8(4).
38. Ibeid S, Elektorowicz M. Enhancement of wastewater nutrient removal at low carbon/nitrogen ratio using a submerged membrane electro-bioreactor. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2021 Oct 1;18(10):2905–12.
39. Giwa A, Daer S, Ahmed I, Marpu PR, Hasan SW. Experimental investigation and artificial neural networks ANNs modeling of electrically-enhanced membrane bioreactor for wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering.* 2016 Jun 1;11:88–97.
40. Mendes Predolin L, Moya-Llamas MJ, Vásquez-Rodríguez ED, Trapote Jaume A, Prats Rico D. Effect of current density on the efficiency of a membrane electro-bioreactor for removal of micropollutants and phosphorus, and reduction of fouling: A pilot plant case study. *J Environ Chem Eng.* 2021 Feb 1;9(1).
41. Bani-Melhem K, Smith E. Grey water treatment by a continuous process of an electrocoagulation unit and a submerged membrane bioreactor system. *Chemical Engineering Journal.* 2012 Aug 1;198–199:201–10.
22. Borea L, Naddeo V, Belgiorno V, Choo KH. Control of quorum sensing signals and emerging contaminants in electrochemical membrane bioreactors. *Bioresour Technol.* 2018 Dec 1;269:89–95.
23. Jiang B, Zeng Q, Hou Y, Li H, Liu J, Xu J, et al. Impacts of long-term electric field applied on the membrane fouling mitigation and shifts of microbial communities in EMBR for treating phenol wastewater. *Science of the Total Environment.* 2020 May 10;716.
24. Shi Y, Huang J, Zeng G, Gu Y, Chen Y, Hu Y, et al. Exploiting extracellular polymeric substances (EPS) controlling strategies for performance enhancement of biological wastewater treatments: An overview. Vol. 180, *Chemosphere.* Elsevier Ltd; 2017. p. 396–411.
25. Tan CH, Koh KS, Xie C, Tay M, Zhou Y, Williams R, et al. The role of quorum sensing signalling in EPS production and the assembly of a sludge community into aerobic granules. *ISME Journal.* 2014;8(6):1186–97.
26. Zhang X, Lee K, Yu H, Mameda N, Choo KH. Photolytic quorum quenching: A new anti-biofouling strategy for membrane bioreactors. *Chemical Engineering Journal.* 2019 Dec 15;378.
27. Khan M, Khan SJ, Hasan SW. Quorum sensing control and wastewater treatment in quorum quenching/submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR(QQ)) hybrid system. *Biomass Bioenergy.* 2019 Sep 1;128.
28. Giwa A, Ahmed I, Hasan SW. Enhanced sludge properties and distribution study of sludge components in electrically-enhanced membrane bioreactor. *J Environ Manage.* 2015 Aug 5;159:78–85.
29. Hasan SW, Elektorowicz M, Oleszkiewicz JA. Start-up period investigation of pilot-scale submerged membrane electro-bioreactor (SMEBR) treating raw municipal wastewater. *Chemosphere.* 2014;97:71–7.
30. Ibeid S, Elektorowicz M, Oleszkiewicz JA. Electro-conditioning of activated sludge in a membrane electro-bioreactor for improved dewatering and reduced membrane fouling. *J Memb Sci.* 2015 Nov 5;494:136–42.
31. Tafti AD, Seyyed Mirzaii SM, Andalibi MR, Vossoughi M. Optimized coupling of an intermittent DC electric field with a membrane bioreactor for enhanced effluent quality and hindered membrane fouling. *Sep Purif Technol.* 2015 Aug 12;152:7–13.

# The effect of electric field on membrane bioreactors performance and membrane fouling reduction

Asie Mahdizadeh<sup>1</sup>, Hassan Amini Rad<sup>\*2</sup>

1 M. SC Graduated, Environment group. Faculty of civil and environmental Eng., Noshirvani University of technology

2 Assistant professor, Environment Group., Faculty of civil and environmental Eng., Noshirvani University of technology

Email: h.a.rad@nit.ac.ir\*

## Abstract

Treatment of all types of wastewater with the purpose of reuse is necessary due to the lack of freshwater resources. Among the methods of wastewater treatment, biological methods have established their place in wastewater treatment. The combination of activated sludge with internal and external membrane forms a membrane bioreactor (MBR). Membrane bioreactors are one of the biological treatment methods that are increasingly used due to advantages such as higher effluent quality, less ecological footprint, less excess sludge production, lower management costs, higher nutrient removal and not having the bulking or rising of sludge problems. But despite many of the advantages, the problem of clogging of membranes, especially biological clogging (biofouling) is one of the problems that has limited the use of this method largely. Membrane Biofouling is carried out by several methods such as anti-adhesion approaches (natural hydrophilic polymer) and antimicrobial polymer (antimicrobial Nanoparticles), sludge granulation, chemical and physical washing, chemical and electrocoagulation. The above-mentioned methods have some disadvantages such as increasing the cost, producing secondary pollutants, reducing the life span and durability of the membrane reducing the permeation flux, increasing the pressure, etc. Based on this, it is necessary to choose a method with proper efficiency, simple operation, no chemical sludge, low cost, and low production of additional sludge and pollutants in the control of the clogging process.

Background: Based on various research, the clogging can be due to several sources such as organic, inorganic, and extracellular polymeric substances (EPS) have the most effect on biological clogging. As a result, removing or controlling the production of these substances can be considered a key solution to control clogging. In recent years, the use of the electrocoagulation method has been considered as a method to reduce membrane clogging in membrane bioreactors (MBR). Submerged membrane electro-bioreactor stays as a new system that, by combining biological treatment, membrane filtration, and electric field, improves the performance of membrane bio-reactors (MBR) and also reduces membrane clogging. Also, various researches have shown a decrease in the amount of extracellular polymeric substances under the effect of the electric field in these reactors.

Method: In this research, the conventional membrane reactor and submerged membrane reactor under an electric field by different electrodes are experimentally evaluated. In this experimental investigation, the two conventional MBR and MBR with two sets of electrodes (aluminum iron and steel) were compared. In this study, the effect of an electric field in the form of direct current (DC) and with low voltage (1.5 V/cm), on the characteristics of the effluent (including COD, nitrate, and phosphate), extracellular polymer compounds (EPS and SMP) as well as membrane clogging were investigated. The results of the experiments showed that an application of the electric field, in this case, improved the characteristics of the effluent (reducing the amount of chemical oxygen demand (COD), nitrate, and phosphate) and reducing the concentration of extracellular polymer products (EPS) and reducing the concentration of protein in soluble microbial products (SMP) becomes Also, applying an electric field in MBR reactors reduces clogging and improves the flux permeation through the membrane.

**Keywords:** Membrane bioreactor, Electric Field, Biofouling, reuse, wastewater treatment.