# تأثیر زمان ماند هیدرولیکی بر عملکرد بیوراکتور غشایی در تصفیه فاضلاب شهری

هادی فلاحتی مروست'، ایوب کریمی جشنی'، غلامرضا رخشندهرو"

۱ - دانشجوی دکترای مهندسی عمران - محیط زیست، دانشگاه شیراز ۲- استادیار، بخش عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز akarimi@shirazu.ac.ir(۰۷۱) ۳۶۱۳۳۵۷۳ (نویسنده مسئول) ۳- استاد، بخش عمران و محیط زیست، دانشگاه شیراز

(دريافت ٩٤/٢/١٩ پذيرش ٩٥/١/٣١)

### چکيده

استانداردهای کیفی پسابها نسبت به گذشته سختگیرانهتر شده و لذا نیاز به بهبود کیفیت خروجی فاضلابهای تصفیه شده روز به روز در حال افزایش است. از طرفی با افزایش فشار بر منابع اَب سراسر جهان، لازم است بازیافت و استفاده مجـدد از خروجـی فاضـلاب مـورد توجه قرار گیرد. اخیراً بیوراکتورهای غشایی که از محبوبیت و توجه زیادی برخورداراند به عنوان یک فناوری امیدبخش در تصفیه فاضلاب مطرح شدهاند. در راستای بهبود کیفیت خروجی تصفیهخانه فاضلاب شهری شیراز، تصفیه فاضلاب شـهری توسـط تکنولـوژی بیوراکتـور غشایی در مقیاس پایلوت میدانی در تصفیهخانه فاضلاب شهری شیراز به مدت ۹ ماه مورد مطالعه قرار گرفت. پایلوت ساخته شده در این تحقیق از یک راکتور هوادهی به حداکثر حجم مفید ۲۳۰ لیتر و یک حوضچه غشایی به حجم ۱۱۰ لیتر تشکیل شـد و یـک غشـا بـه فـرم الیاف توخالی درون حوضچه غشایی استفاده شد. ۷ زمان ماند هیدرولیکی متفاوت هوادهی از ۲ تا ۱۲ ساعت بـر روی ایـن پـایلوت مـورد آزمایش قرار گرفت و عملکرد سیستم در حذف مواد آلی، نیتروژن آمونیاکی، مواد معلق و کدورت و همچنین ظرفیت غشاء بررسـی شـد. بازدهی سیستم در حذف مواد ألی در تمام دوره به جز زمان ماند هیدرولیگی ۲ ساعت کاملاً پایدار و ثابت بود. بهطوری که کـاهش COD و BOD به ترتیب به بیش از ۹۵ و ۹۹ درصد رسید. نیتریفیکاسیون به طور کامل انجام شد و در تمام دوره به جـز زمـان مانـد هیـدرولیکی ۲ ساعت پایدار و ثابت بود. غلظت مواد معلق خروجی سیستم تقریباً برابر صفر و میزان کدورت کمتـر از NTU ۱ بـهدسـت أمـد. همچنـین بررسی ظرفیت غشا نشان داد که فلاکس متوسط h-1 b در خلا متوسط m/+ اتمسفر قابل دستیابی است. نتایج نشان داد که عملکرد سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه در تصفیه فاضلاب شهری شیراز در مقایسه با سایر سیستمهای تصفیه فاضلاب شهری رایج خیلی بالاتر بود و بازدهی سیستم تحت تأثیر زمان ماندهای هیدرولیکی ۳ تا ۱۲ ساعت راکتور هوادهی نبـود. بنـابراین بـا توجـه بـه کیفیتی که پساب خروجی این سیستم دارد به طور یقین می تواند جهت مصارف بسیار زیادی در صنعت و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد.

*واژههای کلیدی*: بیوراکتور غشایی، فاصلاب شہری، *ز*مان ماند هیدرولیکی، COD، نیتروژن آمونیاکی

### ۱ – مقدمه

امروزه با افزایش فشار بر منابع آب در سراسر جهان، به طور ویژه ایران لازم است که بازیافت و استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده مورد توجه قرار گیرد و کیفیت خروجی تصفیه خانه های فاضلاب بهبود یابد. بنابراین روش هایی که به منظور تصفیه فاضلاب استفاده می شوند باید توانایی این را داشته باشند که فاضلاب را تا حدی تصفیه نمایند که قابل استفاده مجدد باشد. از طرفی هزینه فرایند تصفیه، شامل هزینه های سرمایه گذاری اولیه و هزینه های جاری، حداقل شود.

یکی از روش هایی که در چندین سال اخیر مورد توجه قرار گرفته است بیوراکتور غشایی <sup>۱</sup> است که تلفیقی از فرایندهای بیولوژیکی و غشایی است. عملیات هضم و تجزیه در داخل بیوراکتور انجام میگیرد ولی جداسازی فاضلاب تصفیه شده از لجن تولیدی توسط غشا صورت می پذیرد. این روش مزایای هر دو سیستم بیوراکتور و غشایی را شامل می شود. مهم ترین مزیت های بیوراکتور غشایی نسبت به سایر روش های متداول تصفیه فاضلاب که باعث برتری ارزشمند این روش شده است، در ادامه بیان شده

۹۳ مجله آب و فاضلاب

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Membrane Bioreactor

است Mohammed et al. 2008; Wen et al. 2004; Davis et. al. 1998; Rosenberger et al. 2002) • تمام ذرات معلق و برخي از مواد محلول داخل بيوراكتور باقي

مىماند و خروجى با كيفيت عالى و پايدار توليد مىكند. • امکان حذف تمام ویروس ها و باکتری ها از خروجی بیوراکتور غشایی وجود دارد. بنابراین واحد گندزدایی پرهزینه، و در راستای آن، خطرات ناشى از محصولات توليدى توسط گندزدايي حذف مي شو د.

• امکان افزایش غلظت بیومس درون بیوراکتور تا مقادیر نزدیک ۳۰ گرم در لیتر بدون نیاز به حوضچه تهنشینی وجود دارد. بنابراین در این سیستمها فاضلابهای داری آلودگی بالا با نرخ تولید لجن کم قادر به تصفیه میباشند.

• سیستمهای بیوراکتور غشایی نسبت به سیستمهای تصفیه رایج متراكمتر هستند و حجم كمترى اشغال ميكنند، همچنين مصرف انرژی کمتری دارند و سازگار با اهداف بازیافت آب می باشند. • دوره راهاندازی بیوراکتورهای غشایی خیلی سریع تر به پایداری مىرسد و بهرهبردارى از اين سيستمها بهعلت اتوماتيك بودن بيشتر مراحل فرايند، آسان است.

مهمترین معایب بیوراکتورهای غشایی بیستر مربوط به هزينههاي بالاي ساخت سيستم از جمله هزينههاي خريد واحد غشا و تأمين انرژي لازم براي جبران افت فشار ايجاد شده بـر اثـر عبـور جریان در واحد غشا است. از دیگر معایب این سیستم می توان به بحث گرفتگی غشا اشاره نمود که بهمنظور رفع این مشکل نیاز به تميزسازي شيميايي و شستشوي معكوس غشا ميباشد (Mohammed et al. 2008)

بيوراكتورهاى غشايي در تصفيه پساب هاى صنايع مختلف مانند پالایشگاهها، پتروشیمی، نساجی، شیرابه لندفیل بهخصوص فاضلابهای شهری به کار برده شده است (Judd & Judd 2006). در سال ۲۰۰۲ عملکرد بیوراکتور غشایی مستغرق در تصفیه هوازی فاضلاب شهری بهمدت ۵۳۵ روز مورد مطالعه قرار گرفت (Rosenberger et al. 2002). در این تحقیق زمان ماند هیدرولیکی بين ١٠/۴ تا ١٥/۶ ساعت تغيير كرد. بازدهي حذف مواد آلاينده توسط سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه توسط این محققان در یک سطح بالا و ثابت، در کل دوره بهرهبرداری بهدست آمد. به طوری که میزان حذف COD به ۹۵ درصد رسید و نیتریفیکاسیون

به طور کامل انجام شـد (Rosenberger et al. 2002). در پژوهشي در سال ۲۰۱۲ تأثیر زمان ماند هیـدرولیکی بـر روی تصفیه پـذیری فاضلاب هضم شده ' توسط سیستم AO/MBR بهمدت ۲۱۸ روز مورد مطالعه قرار گرفت و زمان ماند هیدرولیکی کل سیستم تحت آزمایش خود از ۸ ساعت به ۲/۵ ساعت کاهش یافت. این محققان مشاهده کردند که کاهش زمان ماند هیدرولیکی درحالی که اثرات جزئي و محدودي بر روي حـذف COD دارد باعـث تقويت حـذف آمونیوم نیز میشود (Gao et al. 2012). در پژوهش دیگری اثرات زمان ماند هیدرولیکی بر گرفتگی غشا و نرخ تولید لجن در یک سیستم بیوراکتور غشایی در مقیاس آزمایشگاهی برای تصفیه يساب فنل دار مورد مطالعه قرار گرفت (Hemmati et al. 2012). نتایج این محققان نشان داد که افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۸ ساعت به ۱۲ ساعت باعث کاهش گرفتگی غشا و کاهش غلظت لجن موجود در بیوراکتور می گردد. اگرچه بازدهی حذف COD و فنل در هر سه زمان ماند هیدرولیکی ۸، ۱۰ و ۱۲ ساعت به ترتیب بالای ۹۶ و ۹۹ درصد بهدست آمد (Hemmati et al. 2012).

در سال ۲۰۱۳، عملکرد یک سیستم بیوراکتور غشایی در مقیاس آزمایشگاهی برای تصفیه پساب بیمارستانی و خانگی مورد بررسی قرار گرفت (Jadhao & Dawande 2013). در این مطالعه از غشا به شکل الیاف توخالی استفاده شد و نتایج نشان داد که با افزایش زمان ماند هیدرولیکی از ۴ به ۸ ساعت، بازدهی حذف BOD، COD و نیتروژن آمونیاکی کاهش پیدا میکند. در حالی که افزایش سن لجن از ۱۰ روز به ۳۰ روز باعث بهبود عملکرد سیستم مورد مطالعه شد (Jadhao & Dawande 2013) مورد مطالعه شد

تأثیر زمان ماند هیدرولیکی بر بازدهی حذف COD و نیتروژن در یک سیستم ترکیبی <sup>۳</sup>SBR و غشا توسط .Xu et al در سال ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که در سن لجن ۱۰ روز، با کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۲۴ به ۱۲ ساعت و در نهایت به ۶ ساعت غلظت بیومس افزایش پیدا میکند و حداکثر بازدهی حذف COD در زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت به میزان ۹۷ درصد گزارش شد. نتایج این محققین همچنین نشان داد که با کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۲۴ ساعت به ۱۲ ساعت، بازدهی

Digested Sewage

Anoxic-Oxic Membrane Bioreactor Sequencing Batch Reactor (SBR)

حذف نیتروژن از ۶۸ درصد به ۸۰ درصد افزایش مییابد در حالی که کاهش زمان ماند هیدرولیکی به ۶ ساعت، تغییری در بازدهی حذف نیتروژن به وجود نمی آورد (Xu et al. 2014).

با در نظر گرفتن مزایای بی شمار بیوراکتورهای غشایی به ویژه خروجی با کیفیت عالی، نسبت به سایر روشهای تصفیه فاضلاب، به منظور بو می سازی این فناوری نوین در استان فارس و بهینه سازی زمان ماند هیدرولیکی این سیستم با هدف استفاده مجدد از پساب خروجی تصفیه خانه فاضلاب شهری شیراز، در این تحقیق تصفیه فیزیکی و بیولوژیکی فاضلاب شهری شیراز با استفاده از روش بیوراکتور غشایی مستغرق در مدت زمان طولانی ۲۶۹ روز در مقیاس پایلوت نیمه صنعتی به منظور الگوبرداری در مقیاس صنعتی مورد مطالعه قرار گرفت. این تحقیق با اهداف زیر انجام شد: ۱ - بررسی تاثیر زمان ماند هیدرولیکی در یک بازه زمانی گسترده کمتر به بررسی آن پرداخته شده، بر رائدمان نیتریفیکاسیون و راندمان حذف 5 COD.BOD. کدرورت و مواد معلق کل (TSS). دوره بهرهبرداری پایلوت.

۲ – مواد و روش ها ۲ – ۱ – ساخت دستگاه بیوراکتور غشایی در مقیاس پایلوت میدانی

پایلوت بیوراکتور غشایی مورد نظر در این تحقیق مطابق فلوچارت شکل ۱ طراحی و ساخته شد و سپس در تصفیه خانه فاضلاب شهری شماره یک شیراز نصب شد. همان طور که از شکل ۱ مشخص است، این پایلوت شامل یک بیوراکتور هوادهی و یک حوضچه غشایی بود که فاضلاب ورودی از حوضچه تهنشینی اولیه تصفیه خانه، توسط یک پمپ به تانک متعادلساز و چربیگیر پایلوت وارد میشد و سپس به صورت پیوسته و ثقلی با دبی مورد نظر در هر مرحله از دوره بهرهبرداری، وارد بیوراکتور هوادهی می شد در بیوراکتور هوادهی از دمنده هوای دفیوزری استفاده شد تا حبابهای هوای کافی به منظور اکسیداسیون مواد آلی و ترکیبات آمونیاک فراهم آورد و همچنین شرایط اختلاط کامل در راکتور ایجاد شود.

زمان برای هر سیکل فیلتراسیون و شستشوی معکوس ۱۰ دقیقه با ۹ دقیقه و ۴۲ ثانیه فیلتراسیون و ۱۸ ثانیه شستشوی معکوس طراحی و تنظیم شد. به منظور شستشوی معکوس از کمپرسور هوا با فشار هوای ۱۵۰ کیلوپاسکال استفاده شد تا



1: Feed, 2: Influent pump, 3: Heating element, 4: Membrane tank, 5: Air backwash pump, 6: Pressure gage, 7: Blower pump, 8: Electrical board, 9: Effluent pump

#### Fig. 1. Flowchart of the designed pilot-scale membrane bioreactor

**شکل ۱** – فلوچارت پایلوت بیوراکتورغشایی طراحی شده در این تحقیق (واحدها و تجهیزات شمارهگذاری شده در شکل عبار تند از : ۱: ورودی از حوضچه تهنشینی اولیه تصفیهخانه فاضلاب شهری شماره یک شیراز، ۲: پمپ تغذیه به تانک ذخیرهسازی و چربیگیر، ۳: هیتر برقی، ۴: تانک ممبراین، ۵: کمپرسور هوا، ۶: فشار سنج، ۷: دمندهای هوا، ۸: تابلو برق، ۹: پمپ تخلیه).

> مجله آب و فاضلاب www.SID.ir

تحقيق	در این	مورد استفاده	- خصوصيات غشاء	جدول ۱
-------	--------	--------------	----------------	--------

Table 1	. Specifications	of the	membrane used
---------	------------------	--------	---------------

Membrane	Membrane	Pore size	Inside	Outside	Pressure	рН	Temperature
configuration	material	(µm)	diameter (µm)	diameter (μm)	(kpa)		(°C)
Hollow fiber	Polypropylene	0.1-0.2	320-350	400-450	10-30	0-14	4-45

گرفتگی غشا به مقدار قابل توجهی کاهش یابد. همچنین به منظور جلوگیری از افت قابل توجه فلاکس غشا در هر سیکل اختلاف فشار بهرهبرداری از غشا بر روی حدود ۳۰ کیلوپاسکال تنظیم شد. غشا مورد استفاده در این تحقیق دارای قطر داخلی ۳۵۰–۳۲۰ میکرومتر با اندازه حفرات ۰/۱–۰/۲ میکرومتر بود که مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است.

## ۲-۲- راهانداری پایلوت و شرایط بهرهبرداری از پایلوت پس از ساخت دستگاه بیوراکتور غشایی مورد نظر مطابق الگوی شکل ۱، از لجن برگشتی تصفیه خانه فاضلاب شماره یک شهر شیراز به منظور راهاندازی و پایداری سریع تر سیستم استفاده شد به طوری که حدود نصف حجم مفید بیوراکتور هوادهی با لجن به غلظت حدود <sup>1</sup>-mgMLSS L

تبم سید بیور عور عوارعی با تبس ب صحت حدود ما دلما المراند به ۲۹۰۰ پر شد و سیستم با زمان ماند هوادهی ۱۲ ساعت راهاندازی شد که پس از مدت چند روز سیستم به حالت پایدار در آمد و طی ۸ سری از شرایط مختلف بهرهبرداری مطابق جدول ۲ به مدت ۲۶۹ روز مورد بهرهبرداری قرار گرفت. سن لجن مورد نظر در این تحقیق ۶۰ روز بود که بر اساس دور ریز روزانه از بیوراکتور هوادهی تنظیم شد. حجم حوضچه غشا ۱۱۰ لیتر در نظر گرفته شد. در دوره اول بهرهبرداری، دما کنترل نشد و در محدوده ۱۴ تا ۲۸ درجه سلسیوس متغیر بود، در حالی که در دوره بهرهبرداری مرحله دوم تا هشتم،

**جدول ۲**- شرایط بهر،برداری از سیستم در طول کل دور، تحقیق Table 2. Operation conditions during the study

	Run	Operation period (d)	HRT of aerobic (h)	Influent flow rate (L h <sup>-1</sup> )	Aerobic volume (L)
1		38	12	19.1	230
2		17	12	19.1	230
3		41	10	23	230
4		38	8	21.1	170
5		13	6	24.6	148
6		46	4	28	112
7		43	3	33	100
8		33	2	50	100

دمای راکتور هوادهی توسط هیتر برقی در محدوده ۲۷ تـا ۳۰ درجـه سلسیوس کنترل شد. غلظت اکسیژن محلول در راکتـور هـوادهی در کل دوره بهرهبرداری بالای ۳ میلیگرم در لیتر حفظ شد.

۲-۳- نحوه انجام آزمایشها

آزمایش COD، COD، نیتروژن آمونیاکی، TSS، کدورت، دما، pH، DO در این تحقیق انجام شد. تمامی این آزمایشها طبق دستورالعمل استاندارد آزمایشها آب و فاضلاب ویرایش ۲۱ و دستورالعمل کمپانی هچ<sup>۱</sup> انجام گرفت APHA. 2005; Hach). Company 2005)

تواتر نمونهگیری برای انجام هـر آزمـایش در ۱۶۰ روز ابتـدیی تقریباً ۴ تا ۵ بار در هفته انجام شد و از روز ۱۶۰ تا ۲۶۹ تقریباً هـر هفته یک نمونه گرفته شد.

## ۳-نتايج و بحث

۲-۳- بررسی اثر زمان ماند هیـدرولیکی بـر رانـدمان حـذف BOD

در شکل ۲ عملکرد سیستم در حـذف BOD<sub>5</sub> در طـول کـل دور، بهر،برداری، در زمان ماندهای هیدرولیکی حوضچه هـوادهی از ۲ تا ۲۱ ساعت نشان داده شده است. همانطور کـه در شکل ۲ مشخص است در کل آزمایش هـای انجـام شده حـداقل، حـداکثر و متوسط BOD<sub>5</sub> ورودی بهتر تیب برابر بـا ۱۵۷، ۲۹۱ و ۱۹۹ میلیگرم در لیتر و BOD<sup>5</sup> خروجی به جز در آزمایش زمان مانـد هیدرولیکی ۲ ساعت برابر با صفر بود. بنابراین در تمام دوره بهرهبرداری به جز ساعت برابر با صفر بود. بنابراین در تمام دوره بهرهبرداری به جز بیوراکتور غشایی مورد مطالعه ۱۰۰ درصد BOD<sub>5</sub>را حذف میکند. کاهش زمان ماند هیدرولیکی بیوراکتور هوادهی از ۱۲ ساعت به ۳ ساعت بر روی کارایی سیستم در حذف BOD<sub>5</sub> بی تأثیر بود و تنها در زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت بازدهی حذف BOD<sup>5</sup> به ۹۸

<sup>1</sup> Hach

ورودی در حدود ساعت ۱۴ تا ۱۷ اندازهگیری شد. همان طور که بر روی نمودار مشخص است، مقادیر COD ورودی سیستم دارای نوسانات شدید است به طوری که در کل نمونه های اندازهگیری شده مقادیر حداکثر، حداقل و متوسط COD به ترتیب برابر با ۴۶۸، ۱۹۰۰/۳ و ۲۷۵ میلی گرم در لیتر می باشد. برخلاف ورودی پایلوت، خروجی پایلوت در تمامی ۷ مرحله ابتدایی راهبری سیستم از زمان ماند هیدرولیکی ۱۲ ساعت در مرحله اول تا زمان ماند ۳ ساعت در مرحله راهبری هفتم پایدار می باشد و مقادیر آن پس از سازگاری در هر مرحله کمتر از ۱۵ میلی گرم در لیتر اندازه گیری شد. تنها در روز ۶۷ به علت خرابی در سیستم کنترل مقدار خروجی سیستم بیوراکتور از ۲۸ درجه، به ۲۰ درجه مقدار خروجی سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه به ۲۸ میلی گرم در لیتر افزایش پیدا کرد.

مقادیر بازدهی حذف COD پس از پایدار شدن سیستم در هر مرحله بهرهبرداری در کل دوره مطالعه به جز زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت، بالاتر از ۹۵ درصد انداره گیری شد و کاهش زمان ماند هیدرولیکی حوضچه هوادهی از ۱۲ به ۳ ساعت نه تنها بر روی عملکرد حذف COD سیستم تأثیر منفی نداشت بلکه تا حدودی نیز باعث بهبود عملکرد سیستم و کاهش زمان پایداری سیستم در شروع هر مرحله از دوره بهرهبرداری شد.

اما در دوره بهرهبرداری با زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت راکتور هوادهی، مقادیر خروجی COD پایلوت از ۱۰ میلیگرم در لیتر به مقدار ۲۷ میلیگرم در لیتر افزایش پیدا کرد و بازدهی حذف COD از ۹۶/۴ درصد بهمقدار ۲۰/۲ درصد کاهش یافت. این نتایج نشان میدهد که کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۳ ساعت به ۲ ساعت بیش از ۵ درصد باعث کاهش بازدهی پایلوت در حذف پارامتر COD می شود.





**شکل ۳**– تغییرات COD در ورودی و خروجی سیستم در طول دوره راهبری پایلوت







درصد کاهش یافت. کارایی بالای سیستم بیوراکتور غشایی در حذف 50D5 را میتوان به حذف کامل مواد معلق توسط غشا و تولید خروجی با کدورت کمتر از NTU ارتباط داد. همچنین با وجود غلظت بالای بیومس و سن لجن بالا در بیوراکتور غشایی (SRT=60 d)، نرخ تجزیه مواد بیولوژیکی به شدت بالا رفت و حتی در زمان ماند هیدرولیکی کم تمام 50D5 موجود در ورودی سیستم توسط بیومس درون بیوراکتور حذف شد. در تحقیقات مشابه انجام شده برروی فاضلاب خانگی تفکیک شده شامل آب سیاه<sup>۱</sup> (فاضلاب توالت) و آب خاکستری<sup>۲</sup> (فاضلاب حمام و آشپزخانه) توسط بیوراکتور غشایی راندمان حذف 2007، به ترتیب ۵۹ و ۹۸ درصد به دست آمده است Merz (2007; Merz ا

۳–۲– بررسی اثر زمان ماند هیدرولیکی بر راندمان حذف COD بازدهی تخریب و حذف مواد آلی فاضلاب در پایلوت مورد مطالعه با اندازهگیری پارامتر COD مورد بررسی و بازبینی قرار گرفت. در شکل ۳ نمودار تغییرات COD در ورودی و خروجی سیستم مورد مطالعه، در کل ۸ مرحله راهبری پایلوت بهمدت ۲۶۹ روز را نشان میدهد. در این نمودار همچنین ساعات نمونه گیری برروی محور عمودی سمت راست مشاهده می شود. مقادیر حداقل COD ورودی در ساعات ابتدایی روز بین ساعت ۷ تا ۱۰ و مقادیر حداکثر COD

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Black Water

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Grey Water

حداکثر بازدهی سیستم در زمان ماند هیدرولیکی ۶ ساعت راکتور هوادهی برابر با ۹۸/۴ درصد به دست آمد. اما افزایشی نسبت به سایر زمان ماندهای هیدرولیکی از ۱۲ ساعت تا ۳ ساعت مشاهده نشد. بنابراین در پایلوت بیوراکتور غشایی مورد مطالعه زمان ماند هیدرولیکی ۳ ساعت برای حوضچه هوادهی ایدهآل به نظر می رسد. بازدهی حذف بین ۸۵ تا ۹۸ درصد توسط سایر محققان نیز گزارش شده است که یکی از مزیتهای اصلی بیوراکتور غشایی محسوب می شود ;2008 tal 2005; Lyko et al. 2008). Chiemchaisri & Yamamoto 1994; Holler & Trosch 2001; Diyaynas & Diamdopoulos 2009)

کاهش بیش از ۹۵ درصد حذف COD در بیوراکتور غشایی مورد مطالعه در مقایسه با کاهش ۷۵ درصدی حذف COD در سیستمهای تصفیه فاضلاب مرسوم بسیار بالا و ایدهآل است. بازدهی بالای حذف COD در سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه را می توان به موارد زیر نسبت داد:

۱- خروجی سیستم بیوراکتور غشایی فاقد COD معلق میباشد زیرا کاملاً توسط غشا گرفته میشود.

۲-سن لجن ۶۰ روز در سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه در مقایسه با سن لجن ۷ روز در سایر سیستمهای لجن فعال مرسوم بسیار بالا است. در نتیجه بیومس مدت زمان بیشتری در تماس با فاضلاب است و سازگاری بهتری با آن ایجاد میکند. همچنین از تولید سریع بیومس و خروج سریع بیومس از سیستم جلوگیری میشود. در چنین شرایطی میکروارگانیسمهای خاصی رشد خواهند نمود که قادراند ترکیبات سخت تجریه پذیر را حذف نمایند (Chae et al. 2007; Gia et al. 2008; Xing et al. 2001; Naghizadeh et al. 2011; WEF., 2006; Tchobanoglous et al. 2003)

۳–۳– بررسی اثر عملکرد سیستم بر راندمان نیتریفیکاسیون در زمان ماندهای هیدرولیکی مختلف شکل ۴ تغییرات نیتروژن آمونیاکی در ورودی و خروجی سیستم در طول کل دوره راهبری پایلوت به همراه بازدهی حذف را نشان میدهد. نیتروژن آمونیاکی ورودی سیستم به صورت ساعتی و روزانه دارای نوسانات شدیدی است به طوری که در کل آزمایش های انجام شده حداقل و حداکثر و متوسط نیتروژن آمونیاکی ورودی به سیستم به ترتیب برابر با ۲۵/۲، ۲/۹۲ و آمونیاکی ورودی سیستم، مد. برخلاف ورودی سیستم،

نیتروژن آمونیاکی خروجی سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه در کل دوره بهجز بهرهبرداری با زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت، پـس از پایـداری در هـر مرحلـه از راهبـری سیسـتم کمتـر از بازدهی حذف نیتروژن آمونیاکی سیستم بیش از ۹۹ درصد بهدست آمد. در طول دوره راهبری اول تا هشتم، تنها در روز ۶۷ بـهعلت خرابی در سیستم کنترل دمای بیوراکتور و کاهش دمای بیوراکتور از ۱/۵ mgl<sup>-1</sup>as N درجه به ۲۰ درجه مقدار خروجی راکتور به ۲۸ افزایش پیداکرد.

اما در دوره بهرهبرداری با زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت، راکتور هوادهی مقادیر نیتروژن آمونیاکی خروجی پایلوت از مونیاکی خروجی پایلوت از mgl<sup>-1</sup> as N افزایش پیدا کرد و بازدهی حذف نیتروژن آمونیاکی از ۹۹ درصد به مقدار ۹۴/۹ درصد کاهش یافت. این نتایج نشان میدهد که کاهش زمان ماند هیدرولیکی از ۳ ساعت به ۲ ساعت بیش از ۴ درصد باعث کاهش بازدهی پایلوت در حذف نیتروژن آمونیاکی می شود. اگرچه کاهش زمان ماند هوادهی از ۱۲ به ۳ ساعت بروی عملکرد نیتریفیکاسیون پایلوت بی تأثیر می باشد. بنابراین در پایلوت بیوراکتور غشایی مورد مطالعه زمان ماند هیدرولیکی ۳ ساعت برای حذف نیتروژن آمونیاکی ایدهآل به نظر می آید. بازدهی حذف بالای ۹۵ درصد توسط محققان زیادی گزارش شده است و بهنظر می رسد که این





یکی از مزیت های اصلی بیوراکتور غشایی محسوب می شود (Chae et al. 2007; Gia et al. 2008; Xing et al. 2001). حذف آمونیاک کل (آمونیاک آزاد و آمونیاک یونیزه شده) خیلی بالا بود، به طوری که در زمان ماند هیدرولیکی ۳ تا ۱۲ ساعت راکتور هوادهی، نیتریفیکاسیون تقریباً به طور کامل انجام می گیرد. نیتریفیکایسون کامل در بیوراکتور غشایی در مقایسه با سیستم های لجن فعال رایج را می توان به موارد زیر ارتباط داد:

جداسازی لجن از خروجی سیستم توسط غشا باعث می شود که تمام باکترهای نیتریفیکاسیون بسته به میزان غلظت، داخل بیوراکتور باقی بمانند و در حضور مواد مغذی، این باکتریهای نیتریفیکاسیون (اورتوتورف) که سرعت تولید خیلی کمی دارند به جای خروج از سیستم مجبور به باز تولید با سرعت بالا شوند که منجر به افزایش غلظت باکتریهای نیتریفیکاسیون در بیوراکتور غشایی می شود. در حالی که در سایر سیستمهای لجن فعال مرسوم، باکتریهای نیتریفیکاسیون به ناچار، به ویژه وقتی که سن لجن خیلی کم باشد از سیستم خارج می شوند (Mohammed et al. 2008). بنابراین در سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه با سن لجن ۰۶ روز غلظت باکترهای نیتریفیکاسیون در مقایسه با سایر سیستمهای لجن فعال

نرخ تولید لجن در سیستم بیوراکتور غشایی مورد مطالعه با توجه به سن بالای لجن (۶۰ روز) خیلی کمتر از سایر سیستمهای لجن فعال مرسوم می باشد بنابراین باکترهای نیتریفیکاسیون سازگاری نسبتاً خوبی با دیگر باکتریهای هتروتروفیک فعال در مصرف نیتروژن آمونیاکی دارند.

## ۴-۳- بررسی اثر زمان ماند هیـدرولیکی بـر رانـدمان حـذف کدرورت و مواد معلق

در شکل ۵ نمودار تغییرات مواد معلق کل در ورودی و خروجی سیستم به همراه بازدهی حذف در طول ۶ دوره اولیه بهرهبرداری از سیستم در زمان ماندهای هیدرولیکی ۴ تا ۱۲ ساعت نشان داده شده است. تا قبل از روز ۸۳ که مخزن متعادلساز و چربیگیر در ورودی سیستم قرار نداشت مواد معلق کل در ورودی سیستم در محدوده ۱۳۶ تا ۸۳۸ میلیگرم در لیتر تغییر کرد در حالی که پس از نصب مخزن متعادلساز مواد معلق ورودی سیستم تا حدودی کاهش پیدا

کرد و به مقدار ۱۲۰ تا ۲۸۴ میلیگرم در لیتر رسید. با استفاده از تکنولوژی غشایی در پایلوت مورد مطالعه خروجی سیستم در کل دوره تقریباً فاقد مواد معلق و همواره کمتر از ۲ میلیگرم در لیتر اندازهگیری شد. در مواردی که غشا در اثر برخود با جسم سخت دچار پارگی میشد، مواد معلق به ۴ میلیگرم در لیتر افزایش پیدا میکرد که پس از رفع نقص و تعمیر محل پارگی مشکل برطرف میشد. همان طور که از شکل ۵ مشخص است تغییر زماند ماند هیدرولیکی از ۱۲ به ۴ ساعت عملا برروی عملکرد سیستم در حذف مواد معلق بی تأثیر است زیرا بیشترین عامل تأثیرگذار بر روی میزان مواد معلق خروجی سیستم، اندازه حفرات غشا مورد استفاده و جنس غشا (مقاومت ممبراین در برابر پارگی) است.

شکل ۶کدروت خروجی پایلوت مورد مطالعه در ۸ دوره راهبری، از زمان ماند هیدرولیکی ۱۲ تا ۲ ساعت را نشان می دهد. همانگونه که در شکل ۶ مشخص است، متوسط کدورت اندازهگیری شده در هر دوره از راهبری سیستم پس از پایدار شدن سیستم کمتر از NTU ۸/۰ است و تنها در مرحله بهره برداری از سیستم با زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت، میزان کدورت به ۷۲۷ ۹۹ افزایش پیدا کرد. در تحقیق مشابه بر روی فاضلاب شهری به وسیله بوراکتور غشایی با غشاهای به شکل الیاف توخالی در مقیاس آزمایشگاهی، نتایج مشابهی به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان مواد معلق کل و کدورت در تمام زمان ماندهای هیدرولیکی آزمایش شده (۲. ۶. ۸. ۱۰ و ۱۲ ساعت) به تر تیب کمتر از ۱ میلی گرم مر ایتر و ۷۲۳ ۳/۰ به دست آمده است (2011) در ماندهای هدرولیکی





**شکل۵**- تغییرات مواد معلق کل در ورودی و خروجی سیستم به همراه بازدهی حذف

> مجله آب و فاضل ب www.SID.ir

۱۲/۹ L m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup> بار در روز ۱۰۳ کاهش یافت. این مقدار نفوذپذیری در خلا ۱۴/۰ بار بهدست آمد. در طول ۱۰۳ روز ابتدایی راهبری پایلوت مورد مطالعه، تمیزسازی غشا با شستشوی معکوس توسط کمپروسور هوا بهمدت ۱۸ ثانیه به ازای هر ۱۰ دقیقه راهبری سیستم انجام گرفت. پس از ۱۰۳ روز از بهرهبرداری غشا بهمدت چند روز سیستم غشا پس از ۱۰۳ روز از بهرهبرداری غشا بهمدت چند روز سیستم غشا پایلوت از مدار خارج شد و پس از شستشوی شیمیایی غشا با استفاده از محلول هیپوکلریدسدیم به غلظت ۲۵۰۰ میلیگرم در لیتر در مدت زمان ۱۸ ساعت مجدداً غشا احیا شد و با نفوذپذیری راهاندازی شد (۱۰۴ L m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> لی گرفتگی تدریجی سیستم راهاندازی شد (WEF 2006). نهایتاً با گرفتگی تدریجی سیستم دوباره نفوذپذیری غشا کاهش یافت به طوری که در پایان روز ۱۶۰ بهمنظور دستیابی به فلاکس <sup>1–1</sup> bar<sup>-1</sup> کاهر کار ۲۰ بهمنظور دستیابی به فلاکس <sup>1–1</sup> bar<sup>-1</sup> کار مقدار خلا به ۱۰۶ افزایش یافت و نفوذپذیری به <sup>1–1</sup> bar<sup>-1</sup> کام



Fig. 7. Membrane performance during the first 160 days of operation

**شکل۷**– عملکرد غشا در طول ۱۶۰ روز ابتدایی بهر،برداری از سیستم

### ۴-نتیجهگیری

در تحقیق انجام شده، ۷ زمان ماند هیدرولیکی متفاوت حوضچه هوادهی (۲، ۳، ۴، ۶، ۸، ۱۰، و ۱۲ ساعت) بر روی پایلوت میدانی بیوراکتور غشایی در تصفیه فاضلاب شهری شیراز مورد آزمایش قرار گرفت و عملکرد غشا و بیوراکتور در حذف نیتروژن آمونیاکی، مواد آلی، مواد معلق و کدورت و همچنین گرفتگی غشا مورد پایش قرار گرفت. مهمترین نتایج این تحقیق به شرح زیر است:



دو عاملی که بر میزان کدروت خروجی سیستم بیشترین تأثیر را دارد، میزان مواد معلق موجود در خروجی سیستم و میزان تخریب و حذف کربن در بیوراکتور هوازی است. همان طور که قبلاً بیان شد تغییر زمان ماند هیدرولیکی حوضچه هوادهی از ۱۲ ساعت به ۳ ساعت بر روی عملکرد حذف مواد معلق و حذف COD سیستم بی تأثیر است، بنابراین تغییرات زمان ماند هیدرولیکی سیستم بر روی میزان کدورت خروجی سیستم نیز بی تأثیر است. در دوره راهبری سیستم با زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت میزان کدورت خروجی سیستم به ۱۹۹۸ افزایش پیدا کرد. این مسئله را می توان به کاهش بازدهی حذف COD و افزایش بار آلی خروجی سیستم در زمان ماند هیدرولیکی ۲ ساعت نماد آلی خروجی

## ۳–۵– تعیین اثر میزان نفوذپذیری و شدت جریان عبوری از غشا در طول دوره راهبری پایلوت

شکل ۷ عملکرد غشا در طول دوره راهبری سیستم را نشان می دهد. قبل از شروع راهبری پایلوت مورد مطالعه با فاضلاب، غشا به مدت چند روز با آب شرب شهری در فلاکس  $^{1-h^{-2}} h^{-1}$  مورد آزمایش قرار گرفت. خلا نسبی مورد استفاده به منظور دستیابی به این فلاکس برابر با  $^{-7}$ ۰ بار اندازه گیری شد، به طوری که نفوذ پذیری برابر با  $^{1-h^{-1}} bar^{-1}$  به دست آمد. در تمام مدت زمان راهبری سیستم با آب شرب شهری مقدار نفوذ پذیری غشا ثابت بود. در شروع راهبری سیستم با فاضلاب، غشا سیستم در فلاکس  $^{1-h^{-2}} h^{-1} har^{-1}$  بیار ب نفوذ پذیری  $^{1-h^{-2}} h^{-1} har^{-1}$  مورد به مرداری قرار نفوذ پذیری  $^{1-h^{-2}} h^{-1} har^{-1}$  مورد به مرد. در ام قاد از انداز گری نفوذ از مان ما منظور ثابت نگه داشتن فلاکس مورد نظر خلا افزایش

۴- در کل دوره مطالعه کدورت خروجی سیستم کمتر از NTU ۵- مواد معلق خروجي سيستم بيوراكتور غشايي مورد مطالعه تقريباً برابر با صفر مشاهده شد. ۶- به وسیله شستشوی معکوس غشا توسط هوا در هر ۱۰ دقیقه بهمدت ۱۸ ثانیه و شستشوی شیمیایی غشا در هر ۳ ماه یک بار توسط هيپوكلريد سديم، متوسط فلاكس ۵/۵ L m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> در متوسط خلا ٢/٣ اتمسفر بهدست آمد.

۵– قدردانی

بهطور کامل انجام شد و در کل دوره راهبری سیستم کاملا پایدار بود و تنها در دوره بهر ،برداری سیستم با زمان ماند هیدرولیکی ۲ 🦳 به این وسیله از حمایت مالی و همکاری بی شائبه شرکت آب و ساعت بازدهی حذف نیتروژن آمونیاکی به مقدار ۹۴/۹ درصد 🦳 فاضلاب شیراز تشکر به عمل می آید. کاهش يىدا کرد.

### References

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF), 2005, Standard methods for the examination of water and wastewater, Washington, DC.
- Atasoy, E., Murat, S., Baban, A. & Tiris, M., 2007, "Membrane bioreactor (MBR) treatment of segregated household wastewater for reuse", Clean, 35(5), 465-472.
- Cao, J. H., Cao, B.-K., Lu, H. & Xu, Y.-Y., 2005, "Study on polypropylene hollow fiber based recirculated membrane bioreactor for treatment of municipal wastewater", Desalination, 183, 431-438.
- Chae, S. R., Kang, S. T., Lee, S. M., Lee, E. S., Oh, S. E., Watanabe, Y. & Shin, H. S., 2007, "High reuse potential of effluent from an innovative vertical submerged membrane bioreactor treating municipal wastewater", Desalination, 202, 83-89.
- Chiemchaisri, C. & Yamamoto, K., 1994, "Performance of membrane separation bioreactor at various temperatures for domestic wastewater treatment", Journal of Membrane Science, 87, 119-129.
- Davies, W. J., Le, M. S. & Health, C. R., 1998, "Intensified activated sludge process with submerged membrane microfiltration", Water Science and Technology, 38 (4-5), 421-428.
- Dialynas, E. & Diamadopoulos, E., 2009, "Integration of a membrane bioreactor coupled with reverse osmosis for advanced treatment of municipal wastewater", Desalination, 238, 302-311.
- Gao, D.-W., Tao, Y. & An, R., 2012, "Digested sewage treatment using membrane-based process at different hydraulic", Desalination, 286, 187-192.

Hach Company, 2005, DR5000 spectrophotometer: Procedures manual, 2<sup>nd</sup> Ed., Germany.

- Hemmati, A., Maghami Dolatabad, M., Naeimpoor, F., Pak, A. & Mohammdi, T., 2012, "Effect of hydraulic retention time and temperature on submerged membrane bioreactor (SMBR) performance", Korean Journal of Chemical Engineering, 29(3), 369-376.
- Holler, S. & Trosch, W., 2001, "Treatment of urban wastewater in a membrane bioreactor at high organic loading rates", Journal of Biotechnology, 92, 95-101.

۱۰۱ **مجله آب و فاضلاب** www.SID.ir

- Jadhao, R. K., & Dawande, S. D., 2013, "Effect of hydraulic retention time and sludge retention time on performance of membrane bioreactor for wet season", *International Journal of Chemical and Physical Sciences*, 2(3), 3, 1-11.
- Judd, S. & Judd, C., 2006, *The MBR book: Principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*, Oxford: Elsevier.
- Lyko, S., Wintgens, T., Al-Halbouni, D., Baumgarten, S., Tacke, D., Drensla, K. & Melin, T., 2008, "Long-term monitoring of a full-scale municipal membrane bioreactor—characterisation of foulants and operational performance", *Journal of Membrane Science*, 317, 78-87.
- Mohammed, T. A., Birima, A. H., Noor, M. J. M. M., Muyibi, S. A. & Idris, A., 2008, "Evaluation of using membrane bioreactor for treating municipal wastewater at different operating conditions", *Desalination*, 221, 502-510.
- Merz, C., Scheumann, R., Hamouri, B. E. & Kraume, M., 2007, "Membrane bioreactor technology for the treatment of greywater from a sports and leisure club", *Desalination*, 215, 37-43.
- Naghizadeh, A., Mahvi, A. H., Mesdaghinia, A. R. & Alimohammadi, M., 2011, "Application of MBR technology in municipal wastewater treatment", *Arabian Journal of Sciences & Engineering*, 36, 3-10.
- Rosenberger, S., Kruger, U., Witzig, R., Manz, W., Szewzyk, U. & Kraume, M., 2002, "Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater", *Water Research*, 36, 413-420.
- Tchobanoglous, G. & Burton, F.L., 2003, *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, 4<sup>th</sup> Ed., Metcalf & Eddy, McGraw-Hill, Inc., NY.
- Water Environment Federation (WEF), 2006, *Membrane systems for wastewater treatment*, WEF Press McGraw-Hill, New York.
- Wen, X., Ding, H., Huang, X. & Liu, R., 2004, "Treatment of hospital wastewater using a submerged membrane bioreactor", *Process Biochemistry*, 39, 1427-1431.
- Xia, S., Guo, J. & Wang, R., 2008, "Performance of a pilot scale submerged membrane bioreactor (MBR) in treating bathing waste water", *Bioresour Technology*, 99, 6834-6843.
- Xing, C.-H., Qian, Y., Wen, X.-H., Wu, W.-Z. & Sun, D., 2001, "Physical and biological characteristics of a tangential-flow MBR for municipal wastewater treatment", *Journal of Membran Science*, 191, 31-42.
- Xu, S., Wub, D. & Zhiqiang Hua, Z., 2014, "Impact of hydraulic retention time on organic and nutrient removal in a membrane coupled sequencing batch reactor", *Water Research*, 55, 12-20.