

عوامل مؤثر بر افزایش باکتری‌های رشته‌ای و تأثیر آن در گرفتگی غشای MBR

حسین حضرتی^۱ جلال شایگان^۲

(دریافت ۹۰/۱/۲۰ پذیرش ۹۰/۷/۱۳)

چکیده

بیش از ۹۰ درصد تصفیه‌خانه فاضلاب شهرهای کشور از سیستم لجن فعال استفاده می‌کنند که در حال حاضر به دلیل بار ورودی زیاد، کارایی مناسبی ندارند. به منظور ارتقای عملکرد این سیستم‌ها و همچنین کاهش میزان لجن مازاد تولیدی، می‌توان از یک سیستم UASB به‌عنوان پیش تصفیه برای کاهش بار آلی ورودی به سیستم لجن فعال و برای افزایش کیفیت فاضلاب تصفیه شده خروجی به‌جای استفاده از حوض ته‌نشینی از غشا (تبدیل لجن فعال به بیوراکتور غشایی) استفاده کرد. در این مطالعه اثر تغییر شرایط خوراک به‌دلیل استفاده از راکتور UASB به تانک هوادهی در تغییر جمعیت و نوع ریزاندام‌ها، تغییر مقدار باکتری‌های رشته‌ای، COD و TS پساب خروجی و گرفتگی غشا در سیستم MBR مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در اثر تغییر قابل توجه ماهیت فاضلاب اولیه (ایجاد یون سولفید و استات) به ورودی سیستم MBR، جمعیت باکتری‌های رشته‌ای از ۵ به ۱۰۰ Count/ μ L افزایش پیدا کرد. اگر چه این افزایش تأثیر چندانی بر روی گرفتگی غشا نشان نداد. بر اثر افزایش غلظت MLSS و در نتیجه کاهش اکسیژن محلول به زیر ۱ میلی‌گرم در لیتر، تعداد باکتری‌های رشته‌ای از ۱۰۰ به ۴۰۰ Count/ μ L افزایش یافت. با افزایش باکتری‌های رشته‌ای، فشار انتقالی غشا از ۱/۵ به ۳/۵ کیلو پاسکال رسید و در نتیجه مقاومت کلی در مقابل شار خروجی دچار افزایش شدیدی گردید. برای کاهش تعداد باکتری‌های رشته‌ای از هیپوکلریت کلسیم با دز ۱۰ g Cl₂/Kg MLSS day استفاده شد، به طوری که بعد از ۵ روز میزان باکتری‌های رشته‌ای بدون اینکه جمعیت دیگر ریزاندام‌ها کاهش چشمگیری یابند، از ۴۰۰ به ۱۰۰ Count/ μ L کاهش یافت و به‌همین ترتیب روند افزایشی فشار انتقالی غشا نیز متوقف شد.

واژه‌های کلیدی: MBR، UASB، باکتری‌های رشته‌ای، ریزاندام‌های شاخص و گرفتگی غشا، غلظت اکسیژن محلول

Effective Parameters on Increasing Filamentous Bacteria and Their Effects on Membrane Fouling in MBR

Hossein Hazrati¹

Jalal Shayegan²

(Received Apr. 9, 2011 Accepted Oct. 5, 2011)

Abstract

Over 90 percent of the wastewater treatment plants in Iran use activated sludge process. Due to increase in organic loading rates, most of these plants do not have appropriate performance. For upgrading these systems and decreasing production of the excess sludge, a UASB reactor can be used as pretreatment for decreasing the organic loading prior to the activated sludge system. Also for improving the effluent quality, a membrane can be replaced for secondary sedimentation tank, i.e. changing activated sludge to membrane bioreactor. In this study, the effect of significant changes in feed composition, due to the introduction of UASB reactor; have been investigated on the population of filamentous bacteria, COD and TS removal efficiency and membrane fouling. The results showed that the population of filamentous bacteria increased rapidly from 5 to 100 Count/ μ L. However, this increase does not have considerable effect on membrane fouling. With increasing MLSS

1. Ph.D. Student of Chemical and Environmental Eng., Sharif University of Tech., Tehran

2. Prof., Dept. of Chemical and Petroleum Eng., Sharif University of Tech., Tehran (Corresponding Author) (+98 021) 66165420 Shayegan@sharif.edu

۱- دانشجوی دکتری شیمی - محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۲- استاد، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
Shayegan@sharif.edu (۰۲۱) ۶۶۱۶۵۴۲۰ (نویسنده مسئول)

concentration, the number of filamentous bacteria increased from 100 to 400 Count/ μL . As a result, the trans membrane pressure was raised from 1.5 to 3kpa and overall membrane resistance was increased against the effluent flux. For reducing the filamentous bacteria, a dose of 20 g Cl_2 /Kg MLSS was added in few intervals for two days. It was also found the number of filamentous bacteria decreased from 400 to 100 after 5 days without decreasing the other microorganisms' population significantly. The trans membrane pressure was also retained without any further increase.

Keywords: MBR, UASB, Filamentous Bacteria, Main Micro Organisms, Membrane Fouling, Dissolved Oxygen.

۱- مقدمه

فرایند لجن فعال به طور گسترده در تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی استفاده می شود. از جمله مشکلات معمول این سیستم می توان به رشد بی رویه باکتری های رشته ای اشاره کرد. این پدیده که به عنوان بالکینگ رشته ای^۱ مرسوم است فرایند ته نشینی و تغلیظ لجن را با مشکل مواجه می سازد. در سالهای اخیر استفاده از سیستم بیوراکتور غشایی^۲ به عنوان جایگزین روش لجن فعال معمولی مطرح شده است. سیستم MBR مزایای قابل توجهی نسبت به فرایند لجن فعال متعارف دارد. از جمله مزایای آن می توان به کیفیت عالی پساب خروجی، تولید لجن کم و انعطاف پذیری عملیات بهره برداری اشاره نمود [۱ و ۲]. عیب عمده سیستم MBR کاهش سریع شار خروجی به دلیل گرفتگی غشا است [۳]. این گرفتگی غشا منجر به افزایش هزینه های نگهداری و عملیاتی می شود [۴ و ۵].

نوع و غلظت توده زیستی، مشخصات غشا، شرایط عملیاتی، مشخصه های فیزیکی، شیمیایی و فیزیولوژی لجن فعال از مهم ترین عوامل در گرفتگی غشا هستند [۵ و ۶]. مطالعات زیادی در این مورد انجام شده است، برای مثال گزارش شده است که اگر غلظت MLSS در MBR به ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش یابد، شار خروجی کاهش می یابد [۷].

مک کارتی و همکاران^۳ در مطالعات خود بر روی گرفتگی غشا به این نتیجه رسیده اند که حضور باکتری های رشته ای در مایع مخلوط منجر به گرفتگی غشا می شود [۸]. همچنین نشان داده اند که ثابت تراکم پذیری کیک با افزایش طول سلول میکربی افزایش می یابد. چوی و همکاران^۴ شروع گرفتگی غشا را روی بیوراکتور غشایی بررسی نموده و گزارش کرده اند که گرفتگی غشا تحت شرایط تورم لجن خیلی شدیدتر است [۹]. ولی با این وجود اطلاعات زیادی از اثر باکتری های رشته ای روی گرفتگی غشا در دسترس نیست.

جنکیس و همکاران^۵ نشان داده اند که فاکتورهایی مانند F/M،

¹ Filamentous Bulking

² Membrane Bioreactor (MBR)

³ McCarthy et al.

⁴ Choi et al.

⁵ Jenkins et al.

غلظت DO و pH غلظت مواد مغذی در افزایش باکتری های رشته ای در سیستم لجن فعال مؤثراند [۱۰]. تئوری های قابل قبول برای رشد بیشتر از حد باکتری های رشته ای در زیر آورده شده است [۱۱]:

۱- تئوری حجم به سطح: باکتری های رشته ای به دلیل داشتن دنباله بلند، دسترسی آسانی به رشد مایه^۶، اکسیژن و مواد مغذی نسبت به باکتری های فلاک ساز دارند.

۲- تئوری سنتیک: باکتری های رشته ای و باکتری های فلاک ساز، سرعت رشد بیشینه متفاوت دارند.

۳- تئوری ذخیره / احیا: باکتری های فلاک ساز ظرفیت بیشتری برای ذخیره انرژی دارند.

۴- تئوری بی غذایی: ریزاندام هایی با گنجایش ظرفیت ذخیره سازی بالا، بیشترین عکس العمل را در شرایط رشد مایه محدود دارند. رشد باکتری های رشته ای در گرفتگی غشا مهم ترین پارامتر است و همان طور که ذکر شد مطالعات زیادی در این مورد انجام نشده است. در این مطالعه عوامل رشد این باکتری ها مورد توجه قرار گرفت و تأثیر آن روی گرفتگی غشا بررسی شد. به علاوه در این تحقیق یک روش کاهش این نوع باکتری ها نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- شرح پایلوت

همان طور که در شکل ۱-الف، مشاهده می شود، بیوراکتور غشایی در ابعاد ۵×۲۲×۶۵ سانتی متر طراحی و ساخته شد. حجم مفید درون راکتور پنج لیتر و از ۵ قسمت اصلی تشکیل شده بود:

۲-۱-۱- جداره ها

بیوراکتور طراحی شده دارای دو جداره بود که یکی مخزن اصلی راکتور را تشکیل می دهد و فرایندهای زیستی درون آن اتفاق می افتد و دیگری جداره خارجی است که محل عبور جریان آب گرم است و در مواقعی که نیاز به بررسی تغییرات دما در فرایند باشد از آن استفاده می شود. اما در این مطالعه به دلیل آنکه اثر تغییر دما بر

⁶ Substrate

روی فرایند تصفیه فاضلاب بررسی نشد و تنها در دمای محیط فرایند زیستی صورت گرفت، از این قسمت راکتور استفاده نشد.

۲-۱-۲- غشا

غشای استفاده شده در بیوراکتور غشایی از نوع غشای میکروفیلتراسیون، با سطح مؤثر ۰/۱ مترمربع، قطر اسمی منافذ ۰/۴ میکرومتر، اندازه A4 و ساخت شرکت کوبوتای^۱ ژاپن بود. این غشا از جنس پلی وینیلیدن فلوراید^۲ ساخته شده است (شکل ۱ ب).

۲-۱-۳- تیغه هدایت کننده

در بیوراکتور غشایی هوادهی دو وظیفه دارد: یکی تأمین اکسیژن مورد نیاز برای فعالیت زیستی باکتری ها و دیگری شستشوی سطح غشا به منظور کاهش نرخ گرفتگی غشا [۱۳]. به این منظور از یک صفحه از جنس پلی متیل متاکریلات به عنوان تیغه استفاده شد تا حبابهای هوایی که از هواده خارج شدند از سطح غشا فاصله نگیرند و بتوانند تنش مناسبی را بر سطح غشا ایجاد کنند و رسوبات تشکیل شده بر سطح غشا را پاک کنند تا در نهایت گرفتگی غشا تا حد ممکن به تعویق بیفتد. لازم به ذکر است که فاصله تیغه از غشا و جداره به ترتیب برابر ۷ میلی متر و ۲/۵ سانتی متر بود.

۲-۱-۴- لوله هوادهی

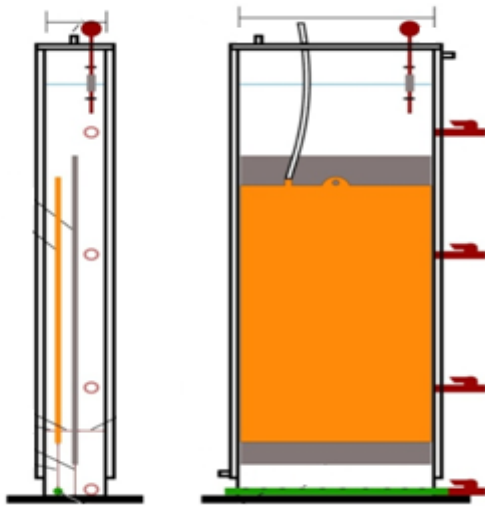
لوله هوادهی نیز از جنس پلی متیل متاکریلات بوده و بر روی آن ۱۰ عدد سوراخ به قطر ۲ میلی متر به وسیله لیزر و با فاصله های ۲ سانتی متر از یکدیگر ایجاد شد تا اندازه حبابهای ایجاد شده و سرعت بالا رفتن آن به سمت سطح آب به گونه ای باشد که بتواند تنش مناسبی را بر روی سطح غشا و برای زدودن مواد رسوب کرده بر سطح غشا ایجاد کنند (شکل ۲).

۲-۱-۵- حسگر کنترل ارتفاع

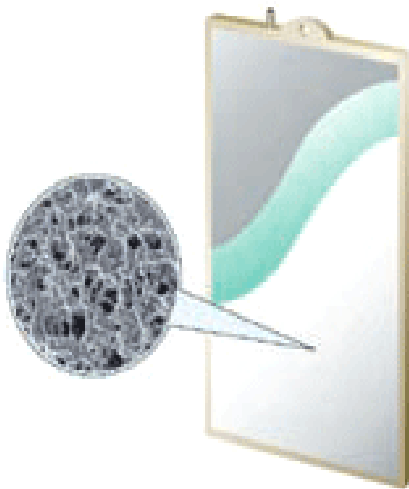
طول میله اصلی این حسگر حدوداً ۲۰ سانتی متر بود و بر روی بیوراکتور غشایی نصب شد. محلی که حجم ۵ لیتر بیوراکتور را تأمین می کند، در فاصله ۶/۵ سانتی متر از پایین میله اصلی حسگر قرار داشت و در فاصله ۲ سانتی متر بالاتر و ۲ سانتی متر پایین تر از آن نقاطی تعریف شده که با رسیدن آهنربای حسگر به این نقاط، فرمانی برای کنترل کننده اصلی راکتور ارسال می شد و کنترل کننده بسته به این که این فرمان از کدام نقطه ارسال شده است به منظور ثابت نگه داشتن ارتفاع آب درون بیوراکتور، یکی از پمپ های خوراک ورودی و یا پمپ مکش خروجی از غشا را خاموش می کرد.

^۱ Kubota

^۲ Poly Vinylidene Fluoride (PVDF)

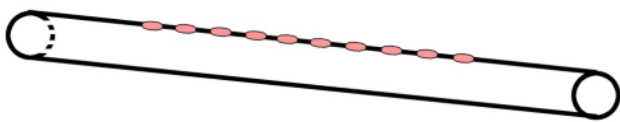


(الف)



(ب)

شکل ۱- الف- شماتیک بیوراکتور غشایی طراحی شده
ب- تصویری از غشا مورد استفاده در بیوراکتور غشایی



شکل ۲- شماتیک لوله هوادهی بیوراکتور غشایی

نوسانات حجم آب درون بیوراکتور غشایی ± 200 سی سی یا ± 4 درصد بود. ثابت نگه داشتن ارتفاع آب درون بیوراکتور غشایی به ۳ دلیل بسیار مهم است: اول اینکه اگر تغییرات ارتفاع و به تبع آن حجم خیلی نوسان کند زمان ماند هیدرولیکی واقعی با زمان ماند هیدرولیکی تئوری متفاوت خواهد بود. دوم اینکه اگر به هر دلیلی

پمپ ورودی خوراک وظیفه خود را به خوبی انجام ندهد و میزان خوراکی که باید وارد راکتور شود را وارد نکند و از طرف دیگر پمپ خروجی همچنان به مکش خود ادامه بدهد، به تدریج راکتور خالی از آب خواهد شد که این خود نه تنها موجب از بین رفتن ریزاندامها خواهد شد بلکه موجب خشک شدن غشا و از دست رفتن خاصیت آب دوستی آن نیز می شود و عملاً استفاده مجدد از غشا غیرممکن خواهد شد. پس در این حالت باید کنترل کننده ای وجود داشته باشد که مانع خالی شدن راکتور شود. در نهایت عکس حالت بالا نیز ممکن است رخ دهد که در آن صورت آب درون راکتور سرریز خواهد کرد و در نتیجه توده زیستی درون بیوراکتور از آن خارج خواهد شد.

۲-۲- نمونه برداری و آزمایش

به منظور عملکرد پایلوت و بررسی گرفتگی غشا، کنترل پارامترهای مورد نظر و ایجاد تغییرات مورد نظر و همچنین بررسی تأثیر تغییرات اعمال شده بر روی این پارامترها و به خصوص تغییر خوراک و اثر کاهش اکسیژن محلول بر میزان باکتری های رشته ای، نمونه برداری به صورت روزانه از ورودی و خروجی و لجن هوادهی انجام گردید و نمونه های برداشت شده به آزمایشگاه منتقل شد و آزمایش های لازم برای تعیین پارامترهای کیفی فاضلاب بر اساس کتاب روشهای استاندارد برای آزمایش های آب و فاضلاب بر روی آنها انجام شد. آزمایش های شمارش ریزاندام های شاخص و باکتری های رشته ای بر اساس روشهای موجود در کتاب راهنمای علل و کنترل حجیم و کف دار شدن لجن فعال انجام گرفت [۱۲]. شمارش باکتری ها به صورت روزانه انجام شد و محدوده تعداد باکتری های رشته ای و ریزاندامها که در حالت پایا یعنی حالتی که تغییر COD خروجی به صفر نزدیک باشد، به دست آمد و در نتایج گزارش شد. برای اندازه گیری ویسکوزیته لجن از دستگاه شرکت بروکفیلد^۱ مدل LVDE 230 استفاده شد.

۲-۳- نحوه تخمین مقاومت فیلتراسیون

مقاومت کل فیلتراسیون به وسیله رابطه ۱ محاسبه می شود [۱۱]

$$R_t = \frac{TMP}{\mu J} \quad (1)$$

که در این رابطه

TMP فشار انتقالی غشا^۲ بر حسب پاسکال، μ ویسکوزیته بر حسب پاسکال در ثانیه، J شار خروجی از غشا بر حسب $m^3/m^2.s$ و R_t مقاومت کل فیلتراسیون بر حسب m^{-1} است.

¹ BROOKFIELD

² Transmembrane Pressure (TMP)

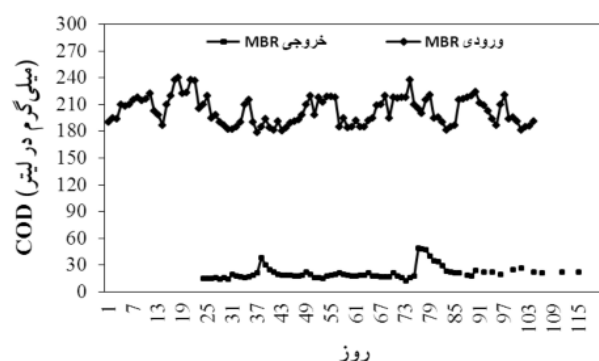
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر تغییر خوراک ورودی در میزان باکتری های رشته ای

در جدول ۲ تغییرات ریزاندام های شاخص قبل از به کار گرفتن راکتور UASB و بعد از استفاده از این راکتور به عنوان پیش تصفیه آورده شده است. وقتی از راکتور UASB به عنوان پیش تصفیه استفاده شد غلظت COD ورودی راکتور افزایش یافت. اما در هر دو حالت، خوراک ورودی به بیوراکتور غشایی به لحاظ COD و مواد مغذی حدوداً یکسان بود. ولی در حالت دوم به دلیل اینکه خروجی از راکتور UASB وارد MBR می شد حاوی استات و سولفید نیز بود. مشخصات فاضلاب ورودی در هر دو حالت در جدول ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است که غلظت فاضلاب ورودی به راکتور UASB تا ۱۲۰۰ میلی گرم در لیتر افزایش داده شد و COD خروجی از این سیستم به حدود ۲۰۰ میلی گرم در لیتر کاهش یافت. همان طور که ملاحظه می شود جمعیت ریزاندام های شاخص به طور قابل توجهی کم شده است. این امر به دلیل تغییر خوراک است که باعث می شود ریزاندامها با شوک روبرو شوند و اکثر آنها از بین بروند ولی باکتری های رشته ای در همان تعداد ثابت می ماند. کاهش جمعیت ریزاندامها باعث شد که میزان COD خروجی از ۲۱ به ۳۸ میلی گرم در لیتر افزایش یابد (شکل ۳). روز دوم بعد از اینکه ریزاندامها با خوراک جدید سازگار شدند جمعیت ریزاندام های شاخص و به ویژه باکتری های رشته ای نسبت به قبل خیلی افزایش یافت (از ۵ به $100 \text{ Count}/\mu\text{L}$) و از اینرو دوباره COD خروجی به ۱۹ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. آزمایش ها نشان داد که با افزایش این باکتری ها میزان TS خروجی نیز از ۸۶۰ به ۵۶۰ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. علت افزایش باکتری های رشته ای در فرایند تغییر خوراک را می توان چنین بیان کرد که وقتی ریزاندام های شاخص به مقدار قابل توجهی از بین رفت، تمام مواد مغذی موجود توسط باکتری های رشته ای مصرف می شوند و علاوه بر این، طبق تئوری حجم به سطح، این باکتری های رشته ای دسترسی آسانتری به رشد مایه و مواد مغذی دارند. به علاوه برخی از باکتری های رشته ای می توانند از یون سولفید ایجاد شده در شرایط بی هوازی به عنوان منبع انرژی استفاده کنند و گرانول های گوگرد را داخل سلول ذخیره سازند. از جمله باکتری های رشته ای می توان به انواع *Thiothrix*، تیپ *021N.Beggiatoa spp* و تیپ ۰۹۱۴ اشاره نمود. همچنین برخی از ریزاندام های رشته ای *Thiothrix* (مانند تیپ 021N) می توانند هم از سولفید و هم از اسیدهای آلی با وزن مولکولی کم نظیر اسید استیک استفاده می کنند. لازم به ذکر است که غلظت استات ورودی به راکتور UASB نیز ۳۰ تا ۳۶ میلی گرم در لیتر بود.

جدول ۱- مشخصات فاضلاب ورودی به بیوراکتور در دو حالت متفاوت (برحسب میلی‌گرم در لیتر)

پارامتر	قبل استفاده از راکتور UASB	بعد استفاده از راکتور UASB
pH	۶-۷	۶-۷
COD	۱۸۰-۲۴۰	۱۸۰-۲۲۰
استات	۳۰-۳۶	۴۵-۶۰
فسفر کل	۱۰-۱۵	۱۰-۱۵
سولفات	۵۰-۱۰۰	۱۰-۲۰
سولفید	در حد خیلی کم	۴۰-۸۰



شکل ۳- تغییرات غلظت COD ورودی و خروجی راکتور با زمان

میزان باکتری‌های رشته‌ای از ۱۰۰ به ۴۰۰ Count/ μ L افزایش یافت اما جمعیت ریزاندام‌های شاخص به شدت کاهش یافت و فعالیت لجن به طور قابل توجهی افت کرد به طوری که میزان COD خروجی از ۱۹ به ۴۹ میلی‌گرم در لیتر افزایش پیدا کرد (شکل ۳). علت رشد باکتری‌های رشته‌ای را می‌توان از تئوری سطح به حجم استنباط کرد زیرا طبق این تئوری این باکتری‌ها راحت‌تر می‌توانند به اکسیژن محلول دسترسی پیدا کنند. بعد از اینکه اکسیژن محلول دوباره به میزان اولیه افزایش یافت، بعد از ۲ روز جمعیت ریزاندام‌ها زیاد شد و باکتری‌های رشته‌ای بعد از آن ثابت ماندند. همچنین جنکیس و همکاران^۱ بیان کرده‌اند که با کاهش اکسیژن محلول باکتری‌های رشته‌ای می‌توانند به حیات خود ادامه داده و به تعداد بیشتری افزایش یابند [۱۲]. در تحقیق دیگری نشان داده شده است که با کاهش اکسیژن محلول، به ۱ میلی‌گرم در لیتر، خاصیت ته‌نشینی لجن کاهش می‌یابد و این نشان دهنده رشد ریزاندام‌های رشته‌ای است [۱۳]. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با دستاوردهای دو مطالعه دیگر مطابقت دارد.

۳-۳- تأثیر باکتری‌های رشته‌ای روی گرفتگی غشا

در طی انجام این تحقیق فشار انتقالی غشا با استفاده از فشارسنج نصب شده قبل از پمپ به‌طور روزانه خوانده می‌شد. در شکل ۴ میزان باکتری‌های رشته‌ای و فشار انتقالی غشا از اولین روز تا زمانی که غشا گرفته شد، نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است با گذر زمان فشار انتقالی غشا افزایش یافته و هیچ افزایش ناگهانی رخ نداده است حتی با وجود اینکه میزان

۳-۲- تأثیر اکسیژن محلول بر باکتری‌های رشته‌ای

در جدول ۳ نیز تغییرات ریزاندام‌های شاخص و باکتری‌های رشته‌ای، یک روز بعد از کاهش اکسیژن محلول به ۱ میلی‌گرم در لیتر و بعد از افزایش اکسیژن محلول به میزان اولیه، آورده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود بعد از کاهش اکسیژن محلول،

جدول ۲- تغییرات ریزاندام‌های شاخص و باکتری‌های رشته‌ای در MBR بر اثر تغییر خوراک

ریزاندامگان	قبل از تعویض خوراک (Count/ μ L)	۱ روز بعد از تعویض (Count/ μ L)	روز دوم به بعد (Count/ μ L)
منفرد	۴۰-۱۲۰	۱	۴۰-۱۲۰
مؤکداران	۰-۳۰	۰	۰-۳۰
آزاد شناور	۱۵-۶۷	۸	۲۰-۱۰۰
آمیپ‌ها	۱-۲۵	۱۳	۲-۲۰
تاژکداران بزرگ	۱-۲۵	۰	۲-۲۰
روتیفرها	۰-۹	۲	۲-۹
نماتدها	۰	۰	۰
کرماها	۰	۰	۰
باکتری‌های رشته‌ای بزرگ	۲-۹	۵	۸۰-۱۰۰

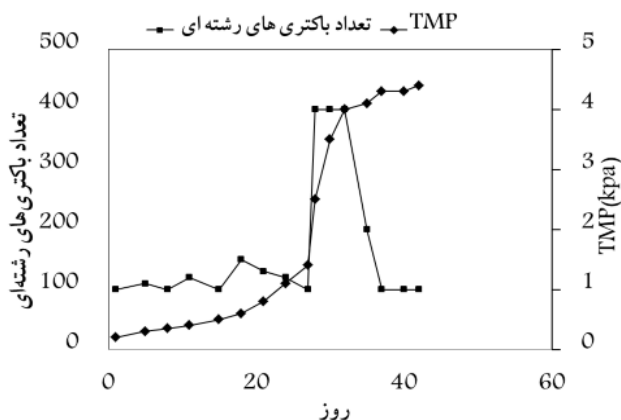
¹ Jenkins et al.

انتقالی غشا هیچ افزایش ناگهانی نشان نداده است ولی وقتی بر اثر کاهش غلظت اکسیژن محلول (به خاطر افزایش غلظت MLSS) تعداد باکتری‌های رشته‌ای به $400 \text{ Count}/\mu\text{L}$ افزایش می‌یابد، فشار انتقالی غشا نیز از $1/5$ به $3/5$ کیلو پاسکال افزایش ناگهانی را نشان می‌دهد و یا به عبارت بهتر مقاومت کل در مقابل نفوذ از $0/15$ به $0/35 \text{ Pm}^{-1}$ صعود می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، قبل و بعد افزایش شدید باکتری‌ها (روز ۳۵)، افزایش فشار انتقالی به صورت تدریجی بوده و دلیل این افزایش گرفتن غشا توسط ریزاندام‌ها به مرور زمان است. تحقیقات دیگر نیز نشان داده است که با کاهش غلظت MLSS در حوض هوادهی می‌توان مقاومت کیک تشیکل شده رو غشا را کم کرد و از گرفتگی غشا جلوگیری نمود [۱۴ و ۱۵].

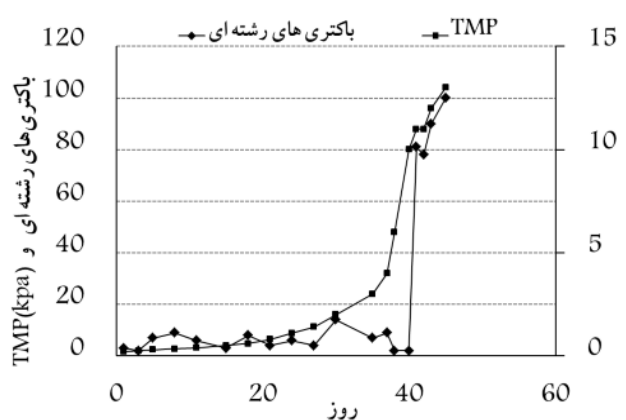
باکتری‌های رشته‌ای به $100 \text{ Count}/\mu\text{L}$ افزایش یافت، باز تغییر ناگهانی در فشار انتقالی غشا ایجاد نشد، یعنی این میزان باکتری‌های رشته‌ای تأثیر زیادی در گرفتگی غشا ندارد و حتی می‌توان گفت وجود این میزان باکتری‌ها برای سیستم مفید است زیرا تعداد زیادی از این باکتری‌های رشته‌ای، ذرات ریز معلق را که ایجاد کدورت می‌نماید فیلتر می‌کند و حتی موجب می‌شود که گرفتگی غشا کمتر شود [۱۲]. این حد باکتری‌های رشته‌ای که باعث گرفتگی غشا نمی‌شود در شکل ۵ نشان داده شده است. بعد از اینکه غشا تمیز و دوباره در داخل لجن قرار داده شد، دوباره میزان باکتری‌های رشته‌ای و فشار انتقالی پمپ به صورت روزانه اندازه‌گیری شد (شکل ۵). همان‌طور که ملاحظه می‌شود وقتی میزان باکتری‌های رشته‌ای در حدود $100 \text{ Count}/\mu\text{L}$ است، فشار

جدول ۳- تغییرات ریز اندام‌های شاخص و باکتری‌های رشته‌ای در MBR بر اثر کاهش اکسیژن محلول و افزایش مجدد آن

ریزاندامگان	DO برابر ۴ mg/L	۱ روز بعد از کاهش به زیر ۱ mg/L	بعد از افزایش مجدد به ۴ mg/L
ساقه‌دار	۴۰-۱۲۰	۵۱	۳۴۹
مژکداران	۰-۳۰	۰	۵
آزاد شناور	۲۰-۱۰۰	۴	۱۹
آمیپ‌ها	۲-۲۰	۰	۰
تاژکداران بزرگ	۲-۲۰	۱۰	۰
روتیفرها	۲-۹	۶	۰
نمات‌ها	۰	۰	۰
کرم‌ها	۰	۰	۰
باکتری‌های رشته‌ای بزرگ	۸۰-۱۰۰	۴۰۰	۴۰۰



شکل ۵- میزان باکتری‌های رشته‌ای و فشار انتقالی غشا



شکل ۴- میزان باکتری‌های رشته‌ای و فشار انتقالی غشا

جدول ۴- تغییرات ریز اندام‌های شاخص و باکتری‌های رشته‌ای بعد از ورود کلر به خوراک

ریز اندامگان	قبل از کلر (Count/ μ L)	۳ روز بعد از کلر زنی (Count/ μ L)	۵ روز بعد از کلر زنی (Count/ μ L)
مؤکداران	۳۴۹	۲۴۷	۲۳۸
ساقه‌دار	۵	۰	۲
آزاد شناور	۱۹	۱۱۸	۱۱۰
آمیپ‌ها	۰	۰	۰
تاژکداران بزرگ	۰	۰	۰
روتیفرها	۰	۰	۰
نماتدها	۰	۱	۰
کره‌ها	۰	۰	۰
باکتری‌های رشته‌ای بزرگ	۴۰۰	۲۰۰	۱۰۰

۴- نتیجه‌گیری

دو عامل مهم و مؤثر که به افزایش باکتری‌های رشته‌ای کمک می‌کند، تغییر ماهیت خوراک به علت پیش تصفیه فاضلاب به وسیله سیستم UASB و کاهش غلظت اکسیژن محلول به دلیل افزایش غلظت MLSS است. از دو عامل مؤثر، اثر کاهش غلظت اکسیژن محلول نسبت به دیگری چشمگیرتر است. باکتری‌های رشته‌ای در مقادیر کمتر ($100 \text{ Count}/\mu\text{L}$) تأثیر زیادی روی فشار انتقالی غشا ندارد. اگر تعداد باکتری‌های رشته‌ای خیلی زیاد باشد (در حدود $400 \text{ Count}/\mu\text{L}$)، مقاومت کلی فیلتراسیون به شدت افزایش می‌یابد که باعث گرفتگی غشا می‌شود. برای کاهش دادن باکتری‌های رشته‌ای از هیپوکلریت کلسیم با دز $10 \text{ g Cl}_2/\text{Kg MLSS day}$ استفاده شد که بعد از پنج روز بدون اینکه جمعیت ریز اندام‌های شاخص کاهش یابد، باکتری‌های رشته‌ای به شدت کاهش یافت و حالت افزایشی فشار انتقالی غشا نیز متوقف شد.

۳-۴- تأثیر کلر در کاهش باکتری‌های رشته‌ای و گرفتگی غشا

برای کاهش میزان باکتری‌های رشته‌ای از هیپوکلریت کلسیم با دز $10 \text{ g Cl}_2/\text{Kg MLSS day}$ به مدت ۵ روز استفاده شد. در جدول ۴ تغییرات ریز اندام‌های شاخص و باکتری‌های رشته‌ای بعد از ۳ و ۵ روز نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است بدون اینکه جمعیت ریز اندام‌ها کاهش چشمگیری داشته باشد، میزان باکتری‌های رشته‌ای به صورت قابل توجهی کاهش یافت و به تبع آن میزان مکش پمپ نیز از حالت افزایشی قبلی به مقدار ثابت رسید که این موضوع در شکل ۵ از روز ۳۳ به بعد مشخص است. در یک تحقیق دیگر نیز برای کنترل بالکینگ از سدیم هیپوکلریت با دز $10 \text{ g Cl}_2/1000\text{K MLSS day}$ به مدت یک هفته استفاده شده است و SVI از ۲۴۰ به ۱۳۰ میلی‌لیتر بر گرم کاهش یافته است [۱۶]. همچنین برخی از محققان دیگر نیز نشان داده‌اند که میزان نرمال کلر برای کاهش بالکینگ، استفاده از دز $10 \text{ g Cl}_2/1000\text{K MLSS day}$ است [۱۷].

۵- مراجع

- 1- Visvanathan, C., Aim, R.B., and Parameshwaran, K. (2000). "Membrane separation bioreactors for wastewater treatment." *J. of Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 30, 1-48.
- 2- London, T., Stephenson, S., Judd, B., and Jefferson, K. (2000). *Membrane bioreactors for wastewater treatment*, IWA Publishing, London.
- 3- Yamamoto, K.M., Hissa, M., Mahmood, T., and Matsuo, T. (1994). "Direct solid liquid separation using hollow fiber membrane in an activated sludge aeration tank." *J. of Water Sci. Technol.*, 30, 21-27.
- 4- Yang, W., Cicek, N., and Ilg, J. (2006). "State of the art of membrane bioreactors." *J. of Membr. Sci.*, 270, 201-211.
- 5- Chang, I.S., LeClech, P., Jefferson, B., and Judd, S. (2000). "Membrane fouling in MBRs for Visvanathan, C., Aim, R.B., Parameshwaran, K. Membrane separation bioreactors for wastewater treatment." *J. of Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 30, 1-48.

- 6- LeClech, P., Chen, V., and Fane, A.G. (2006). "Fouling in membrane bioreactors used in wastewater treatment." *J. Membr. Sci.*, 284, 7-53.
- 7- Chang, I.S., and Lee, C.H. (1998). "Membrane filtration characteristics in membrane-coupled activated sludge system-the effect of physiological states of activated sludge on membrane fouling." *J. of Desalination*, 120, 221-233.
- 8- McCarthy, A.A., O'Shea, D.G., Murray, N.T., Walsh, P.K., and Foley, G. (1998). "Effect of cell morphology on dead-end filtration of the dimorphic yeast *Kluyveromyces marxianus* Var. *marxianus* NRRLy2415." *J. of Biotechnol Prog.*, 14, 279-285.
- 9- Choi, J.G., Bae, T.H., Kim, J.H., Tak, T.M., and Randall, A.A. (2002). "The behavior of membrane fouling initiation on the cross-flow membrane bioreactor system." *J. of Membr. Sci.*, 203, 103-113.
- 10- Jenkins, D., Richard, M.G., and Daigger, G.T. (1993). *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*, 2nd Ed., Lewis Pub., Michigan.
- 11- Rushing Pan, J., Su, Y.C., Huang, C., and Lee, H.C. (2010). "Effect of sludge characteristics on membrane fouling in membrane bioreactors." *J. of Membr. Sci.*, 349, 287-294.
- 12- Jenkins, D. (1993). *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*, Lewis Publ., Boca Raton, New York, London, Tokyo.
- 13- Momeni, A., and Mirbagheri, A. (2005) "Minimization of excess sludge in activated sludge systems." *J. of Water and Wastewater*, 56, 54-61. (In Persian)
- 14- Jiang, T., Kennedy, M.D., Van der Meer, G.J.W., Vanrolleghem, P.A., and Schippers, J. C. (2003). "The role of blocking and cake filtration in MBR fouling." *J. of Desalination*, 157, 335-343.
- 15- Le-Clech, P., Jefferson, B., and Judd, S.J. (2003). "Impact of aeration, solids concentration and membrane characteristics on the hydraulic performance of a membrane bioreactor." *J. of Membr. Sci.*, 218, 117-129.
- 16- Xie, B., Dai, X.C., and Xu, Y.T. (2007). "Cause and pre-alarm control of bulking and foaming by *microthrix parvicella*-A case study in triple oxidation ditch at a wastewater treatment plant." *J. of Hazardous Materials*, 143, 184-191.
- 17- Hwang, Y.T., and Tanaka, T. (1998). "Control of *microthrix parvicella* foaming in activated sludge." *J. of Water Res.*, 32, 1668-1678.