Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 7, No. 3, PP. 72-84, Autumn 2022
DOI: 10.22112/JWWSE.2022.324258.1305

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هفتم، شماره ۳، صفحات ۷۲-۸۴، پاییز ۱۴۰۱

Research Paper

Evaluation of Submereged Membrane Bioreactor (SMBR) in Municipal and Textile Wastewater Treatment of Shahinshahr, Isfahan

Farzad Hashemzadeh*[1] and Abbas Akbarzadeh[2]
1- Ph.D. in Environmental Engineering, Researcher at Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.
2- Faculty Member and Head of Water and Wastewater Research Center, Water Research Institute, Tehran, Iran.
*Corresponding Author, Email: farzadhashemzadeh91@gmail.com

Received: 15/01/2022
Revised: 15/03/2022
Accepted: 14/04/2022
© IWWA

Abstract

This study aimed to investigate the efficiency of submerged membrane bioreactors (SMBR) in textile and municipal wastewater treatment. First, membrane bioreactors were designed and fabricated using hollow fiber polypropylene membranes with pores of 0.2 µm on a pilot scale with a volume of 100 liters. Then, for 20 days, activated sludge was formed and municipal wastewater was treated. For 28 days, incremental percentages of 20%, 40% 60%, and 80% of textile wastewater were gradually added to municipal wastewater. Finally, for 10 days, the sewage of the textile wool factory was examined. Pilot performance for municipal wastewater at the maximum concentration of MLSS mg/L 2310, percentages of removal of biological parameters COD, BOD, TSS, VSS equal to 94.65%, 96.03%, 96.72%, 95.58%, for mixed wastewater, respectively Urban and textile in MLSS equal to 2920 mg/L, 94.1%, 95.2%, 97%, 95.9% have been reported, respectively. Finally, for textile wastewater with the hydraulic retention time of 25 hours, the sludge retention time of 25 days with MLSS equal to 1370 mg/L, the studied parameters along with color and turbidity were 95.1%, 95.8%, 96.6%, 95%, 93%, 99.8%, respectively. This study showed that SMBR can be used as an efficient method for textile and municipal wastewater treatment.

Keywords: Activated sludge, Biological treatment, Membrane bioreactor, Shahinshahr municipal wastewater, Textile wastewater.

مقاله پژوهشی

بررسی عملکرد بیورآکتور مستغرق غشایی (SMBR) در تصفیه فاضلاب‌های شهری و نساجی شاهین‌شهر اصفهان

فرزاد هاشم‌زاده[1]* و عباس اکبرزاده [2]
۱- دکتری مهندسی محیط‌زیست و پژوهشگر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
۲- عضو هیئت علمی و مدیر مرکز تحقیقات آب و فاضلاب، موسسه تحقیقات آب، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: farzadhashemzadeh91@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۵
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی کارآیی بیوراکتورهای مستغرق غشایی (SMBR[1]) در تصفیه فاضلاب نساجی و شهری است. ابتدا بیوراکتور غشایی با استفاده از غشاءهای الیاف تو خالی پلی پروپیلن با منافذ ۰/۲ میکرومتر در مقیاس پایلوت به حجم ۱۰۰ لیتر طراحی و ساخته شده است. سپس به‌مدت ۲۰ روز برای تشکیل لجن فعال و تصفیه فاضلاب شهری اقدام شد. برای ۲۸ روز به تدریج به فاضلاب شهری، درصدهای صعودی ۲۰٪، ۴۰٪، ۶۰٪ و ۸۰٪ فاضلاب نساجی اضافه شده است. در نهایت، به‌مدت ۱۰ روز، فاضلاب کارخانه پشم‌بافی نساجی مورد بررسی قرارگرفت. عملکرد پایلوت برای فاضلاب شهری در حداکثر غلظت MLSS ۲۳۱۰ mg/L، درصدهای حذف پارامترهای بیولوژیکی COD، BOD، TSS، VSS به‌ترتیب برابر ۹۴/۶۵٪، ۹۶/۰۳٪، ۹۶/۷۲٪، ۹۵/۵۸٪، برای فاضلاب مخلوط شهری و نساجی در MLSS برابر ۲۹۲۰ mg/L، به‌ترتیب ۹۴/۱٪، ۹۵/۲٪، ۹۷٪، ۹۵/۹٪ گزارش شده است. در نهایت برای فاضلاب نساجی با زمان ماند هیدرولیکی ۲۵ ساعت، زمان ماند لجن ۲۵ روز با MLSS برابر ۱۳۷۰ mg/L پارامترهای مورد مطالعه به‌همراه رنگ و کدورت به‌ترتیب ۹۵/۱٪، ۹۵/۸٪، ۹۶/۶٪، ۹۵/۵٪، ۹۳٪، ۹۹/۸٪، گزارش شده است. این مطالعه نشان داد از SMBR به‌عنوان یک روش کارآمد برای تصفیه فاضلاب نساجی و شهری می‌توان استفاده نمود.

کلمات کلیدی: بیوراکتور غشایی، لجن فعال، تصفیه بیولوژیکی، فاضلاب نساجی، فاضلاب شهری شاهین شهر.

۱- مقدمه

رشد روز افزون جمعیت، افزایش مصرف آب و محدودیت منابع آبی، از یک طرف و تولید انواع فاضلاب‌های شهری و صنعتی از طرف دیگر، نیاز به یافتن روش‌های جدید و موثرتر برای بازیافت و تولید فاضلاب تصفیه شده مناسب رای مصارف مختلف صنعتی و کشاورزی را دو چندان نموده است (Hashemzadeh et al., 2021). یکی از صنایعی که تولید و تخلیه پساب آن مشکلات فراوانی از نظر آلودگی محیط‌زیست در کشورها به وجود آورده صنعت نساجی است. این صنعت هم‌چنین جزو آب‌برترین صنایع محسوب می‌شود. به‌همین دلیل همواره مقدار قابل‌توجهی پساب در این صنعت به‌وجود می‌آید که به‌علت تغییرات زیادی که در انواع مواد اولیه مصرفی این صنعت موجود است پساب آن از نظر کیفیت از تنوع زیادی برخوردار است (Judd, 2010). حذف رنگ‌های باقیمانده در پساب این صنایع همواره توام با دشواری زیادی است و در پاره‌ای از موارد، حتی روش‌ها و تکنولوژی‌های مدرن تصفیه پساب قادر به حذف کامل رنگ‌های باقیمانده در پساب، قبل از تخلیه آن به محیط‌زیست نیستند (Yang et al., 2021). روش‌های شیمیایی نیز اغلب به‌علت هزینه بالا و میزان مواد مصرفی شیمیایی زیاد مقرون به‌صرفه نبوده و لذا کمتر مورد توجه بوده و از طرفی روش‌های مناسب بیولوژیکی نیز که معمولاً برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی به‌کار می‌روند در این مورد کارآیی کمی داشته‌اند. زیرا از مشکلات اساسی دیگر، وجود عوامل بازدارنده در فاضلاب و نسبت BOD به COD این نوع از فاضلاب‌ها بوده (حدود ۰/۲) که به‌راحتی قابل تجزیه بیولوزیکی توسط روش‌های متداول لجن فعال نیستند (Yang et al., 2021). سیستم بیوراکتور مستغرق غشایی (SMBR) با قابلیت تصفیه بالا، هم از آلودگی محیط‌زیست و منابع آب و خاکی جلوگیری می‌کند و هم مقادیر زیادی از فاضلاب تصفیه شده را به چرخه مصرف صنعتی و یا کشاورزی برمی‌گرداند (Radenović et al., 2007). SMBR یکی از جدیدترین روش‌های بازیابی پیشرفته و موثر فاضلاب‌ها و پساب‌های صنعتی که با توجه به بالا رفتن استانداردهای تصفیه و استفاده مجدد از پساب این سیستم بهترین گزینه است (Fazal et al., 2015). SMBR یک سیستم تصفیه فاضلاب یکپارچه است که از ترکیب فرآیند تصفیه بیولوژیکی (لجن فعال) با یک سیستم غشایی مستغرق تشکیل شده است. این فرآیند با ادغام واحدهای ته‌نشینی (زلال سازی)، هوادهی و فیلتراسیون در یک راکتور، جایگزین فرآیندهای تصفیه متعارف (لجن فعال متعارف) شده و یک سیستم ساده و موثر را تشکیل می‌دهد که هزینه‌های سرمایه گذاری اولیه، هزینه‌های بهره برداری و تولید لجن مازاد سیستم را کاهش داده و کیفیت بسیار بالاتر پساب خروجی به‌دست می‌آید (Sheldon and Erdogan, 2016). بنابراین SMBR، فرآیند مناسبی است که می‌تواند در محدوده وسیعی برای سیستم‌های استفاده مجدد از پساب تصفیه شده در تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به‌کار گرفته شود (Judd, 2010).

طبق بررسی‌های انجام شده به‌نظر می‌رسد که در صنعت نساجی به‌ازای رنگرزی و تکمیل هر کیلو الیاف در حدود ۳۰ الی ۶۰ لیتر آب مصرف می‌شود که به‌طور عمده به‌صورت پساب تخلیه می‌شود. پساب تولیدی درصنعت نساجی عموماً مربوط به قسمت رنگرزی و چاپ و تکمیل پارچه و شستشوی ظروف و پاتیل‌ها است (Yang et al., 2018). مشخصه بارز فاضلاب صنایع نساجی وجود مقدار قابل‌توجهی از رنگ‌های مختلف است. از دیگر خصوصیات فاضلاب این صنایع وجود فلزات سنگین و سمی و ترکیبات سرطان‌زایی هم‌چون بنزآدیان است (Yigit et al., 2009). لذا با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته؛ و خلاءهای موجود، ضرورت مطالعه و تحقیق پیرامون این فناوری در صنایعی هم‌چون نساجی در ایران مشهود است. در همین راستا De Jager et al. (2014) حذف رنگ از فاضلاب نساجی را با استفاده از یک سیستم MBR به همراه اسمز معکوس در مقیاس آزمایشگاهی بررسپی کردند. نتایج نشان داد رنگ در فاضلاب نساجی از میانگین ۶۶۰ واحد به ۱۲ واحد در خروجی واحد اسمز معکوس کاهش یافته است و حذف بیش از ۹۸ درصدی رخ داده است. در پژوهشی دیگر Deowan et al. (2016) از غشاءهای صفحه‌ای[۲] در بیوراکتورغشایی در تصفیه فاضلاب نساجی استفاده کردند. آن‌ها مقادیر درصدهای حذف پارامترهای اصلی مشخص کننده راندمان MBR یعنی COD و رنگ را به‌ترتیب ۹۳٪ و ۷۰٪ به‌دست آوردند. در این تحقیق، pH فاضلاب ۸/۲ و زمان ماند هیدرولیکی[۳]، ۴۰ تا ۸۰ ساعت گزارش شده است و تاکید شده که این سیستم قابل توسعه و استفاده در موارد تجاری و صنعتی است.

در پژوهشی دیگر Yang et al. (2020) به مقایسه و بررسی فنی و اقتصادی فرایند لجن فعال، MBR و MBBR در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که MBR به‌عنوان کارامدترین روش در تصفیه فاضلاب نساجی بوده است. درصدهای حذف COD، TSS و رنگ به‌ترتیب ۹۱٪، ۹۴٪ و ۸۰ درصد در زمان ماند هیدرولیکی ۱/۳ روز گزارش شده است. در تحقیق دیگری توسط Sahinkaya et al. (2008) فاضلاب یک کارخانه تولید پارچه کتانی با آلودگی بالا و رنگ‌های زیاد، به‌وسیله

یک پایلوت MBR نوع هالوفایبر تصفیه شده است. نتایج راندمان بالای کاهش مقادیر حذف COD، BOD و TSS به‌ترتیب: ۹۷/۴٪ ، ۹۶/۷ ٪ و ۹۹/۶٪ را نشان داده است. هم‌چنین مقدار رنگ و کدورت فاضلاب ورودی کاهش چشمگیری داشت و به‌ترتیب به ۹۹٪/۴ و ۹۹/۹٪ رسید. در نتیجه آب خروجی توانایی بازیابی و استفاده مجدد در فرآیندهای رنگرزی داشته است. پایلوت این طرح به‌مدت ۳ ماه مورد بهره‌برداری قرار گرفت و تنها یک‌بار غشاءها دچار گرفتگی شد که با شست و شوی شیمیایی رفع شد. زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند جامدات[۴] به‌ترتیب ۲۳ ساعت و ۲۵ روز گزارش شد. اما در ایران استفاده از فناوری بیورآکتور غشایی در تصفیه فاضلاب صنعت نساجی سابقه چندانی نداشته و تحقیقات گسترده‌ای صورت نگرفته است. عمده تحقیقات انجام شده بیشتر برای استفاده از MBR برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنایع دیگر بوده است. در تحقیقات مشابه عمدتا حذف یک پارامتر خاص مانند رنگ، BOD، COD و... بررسی شده است. هم‌چنین در این تحقیق مقایسه و بررسی SMBR با فاضلاب شهری، ترکیب درصدهای مختلف فاضلاب شهری با فاضلاب نساجی و فاضلاب نساجی به تنهایی انجام شده است. دلیل این امر نیز امکان‌سنجی ترکیب فاضلاب‌ها با یکدیگر و تصفیه توسط فرآیند SMBR بوده است. بر همین اساس هدف از این پژوهش امکان سنجی تصفیه فاضلاب صنعت نساجی با استفاده از SMBR و تاثیر فاضلاب شهری و اختلاط آن با فاضلاب نساجی بر عملکرد رآکتور است.

۲- مواد و روش‌ها

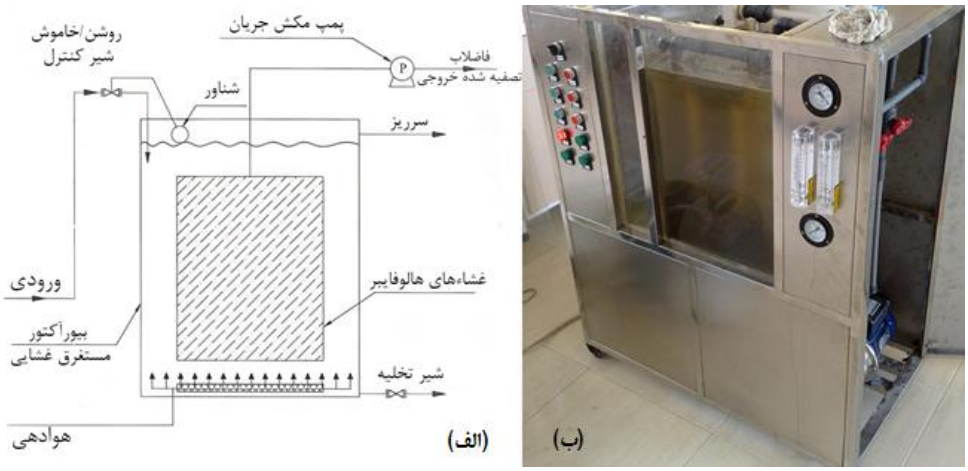
در این تحقیق برای تصفیه فاضلاب صنایع نساجی و شهری پایلوت بیورآکتور غشایی مطابق جدول ۱ طراحی و ساخته شد. شماتیک پایلوت SMBR مورد استفاده در این تحقیق نیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

اندازه‌گیری پارامترهای BOD، COD، VSS، TSS، MLSS، MLVSS، رنگ و کدورت از نمونه‌های مختلف فاضلاب‌های برداشت شده در ورودی و خروجی از مراحل کار سیستم بیوراکتور غشایی مطابق روش‌های استاندارد بین المللی[۵] ASTM (جدول ۲) صورت‌گرفته است (Spellman, 2008). میزان درصد حذف پارامترها نیز از رابطه (۱) محاسبه شده است.

$$\%\,\mathrm{Removal} = \frac{Parameter_{initial} - Parameter_{final}}{Parameter_{initial}} \qquad (۱)$$

که $Parameter_{initial}$: مقادیر پارامترهای ورودی به پایلوت و $Parameter_{final}$: پارامترها در فاضلاب تصفیه شده خروجی هستند.

راهبری پایلوت SMBR و تشکیل لجن فعال با استفاده از لجن حوضچه ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شاهین‌شهر انجام شد. راه‌اندازی دستگاه SMBR، شامل آبگیری مخزن دستگاه به‌مدت لازم برای تشکیل لجن فعال و لخته‌های بیولوژیکی و حذف میکروارگانیزم‌ها از فاضلاب (تصفیه بیولوژیکی)، هوادهی غشاءها و مخزن، هواگیری پمپ و مسیرها، فشار مکشی از خروجی سیستم و شست و شوی معکوس غشاءهای داخل مخزن و رفع اشکالات و آماده به‌کار نمودن دستگاه بوده است (به‌مدت ۷ روز) (Sahinkaya et al., 2017). در این تحقیق فاضلاب شهری شاهین‌شهر، مخلوط شهری و نساجی و فاضلاب نساجی به تنهایی با سیستم مذکور تصفیه شد. در جدول ۳ نتایج اندازه‌گیری پارامترهای کیفی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه شاهین‌شهر و نساجی برای تست و راه‌اندازی پایلوت ارائه شده است.



شکل ۱- الف) شماتیک پایلوت بیورآکتور غشایی و ب) نمایی از روبروی پایلوت

جدول ۱- مشخصات فنی پایلوت بیورآکتور مستغرق غشایی

مشخصات فنی پایلوت		
ابعاد پایلوت (cm)	طول	۹۷
	عرض	۵۵
	ارتفاع	۱۱۰
جنس پایلوت	بدنه استیل با مخزن پلی اتیلنی	
حجم قسمت غشایی (L)	۱۰۰	
ارتفاع آزاد (cm)	۱۵	
جنس غشاءها	الیاف تو خالی پلی پروپیلن با منافذ ۰/۲ میکرمتر	
سطح موثر غشاء (m^2)	۲	
شست و شوی شیمیایی	H_2SO_4 یا NaOH با غلظت ۲٪	
اکسیژن محلول (mg/L)	≤ ۲/۵	
فشار مکش (MPa)	۲/۰۵-۰/۰	
منبع تأمین هوا	پمپ هوای HAILEA مدل ACO-388D	

جدول ۲- روش های آزمایشگاهی استاندارد بین المللی **ASTM** مورد استفاده در اندازه گیری پارامترهای کیفی

عنوان متغیر	واحد	استاندارد روش آزمایش	دستگاه
COD	mg/L	D6697-01 (Motlagh et al., 2020)	COD سنج شرکت Hach آمریکا مدل DRB 200 با شاهد استاندارد
BOD	mg/L	D5210 (Shi et al., 2011)	BOD سنج شرکت Hach آمریکا مدل BODTrack
TSS	mg/L	D5907-03 (Kusworo et al., 2019)	وزن سنجی با صافی (ترازو شرکت Blance مدل 213-1S، آون شرکت Memmert آلمان مدل UNB 100- 500 و پمپ خلا)
VSS	mg/L	2540E (Shi et al., 2011)	وزن سنجی حرارتی (ترازو، آون)
Color	Pt.co.	D-1209-00 (Martins, 2008)	رنگ سنجی پلاتینیم کبالت (ترازو، pH متر شرکت CRISON مدل Basic 20)
Turbidity	N.T.U	D-1889-00 (Gray and Glysson, 2003)	کدورت‌سنج شرکت WTW آلمان مدل Turb 355
MLSS (MLVSS)	mg/L	D-6225E-04 (Shi et al., 2011)	وزن سنجی (ترازو، آون، پمپ خلا و دسیکاتور)

جدول ۳- نتایج آنالیزهای میانگین پارامترهای کیفی فاضلاب شهری شاهین شهر و کارخانه نساجی

متغیر	فاضلاب شهری	(۸۰٪ شهری-۲۰٪ نساجی)	(۶۰٪ شهری-۴۰٪ نساجی)	(۴۰٪ شهری-۶۰٪ نساجی)	(۲۰٪ شهری-۸۰٪ نساجی)	فاضلاب نساجی
COD (mg/L)	۴۶۲	۵۳۵	۶۱۰	۶۸۰	۹۶۵	۱۳۸۰
BOD (mg/L)	۲۱۰	۲۶۰	۲۸۵	۳۸۶	۴۸۵	۵۱۰
TSS (mg/L)	۲۸۰	۳۳۰	۳۹۰	۴۷۵	۶۲۰	۷۴۰
Turbidity (N.T.U)	۶۰	۸۹	۱۱۹	۱۳۱	۱۶۲	۲۰۰
Color (Pt.co)	-	-	-	-	-	۲۶۱
pH	۷/۵	۷/۵	۷/۷	۷/۶	۸	۸

۲-۱- فاضلاب شهری

در مرحله اول، مقدار ۸۵ لیتر فاضلاب خام شهری به‌داخل مخزن دستگاه ریخته شد و دمنده هوا روشن و به‌مدت ۳ روز هوا به فاضلاب تزریق شد. سپس حدود ۳۵٪ از حجم آبی مخزن SMBR تخلیه شده و به‌جای آن فاضلاب تازه اضافه شد و مجدداً هوادهی به‌مدت حدود ۲ روز ادامه داشت. فرآیند تخلیه فاز آبی و افزایش فاضلاب تازه تکرار و این مراحل با هوادهی به سیستم به‌مدت ۴ روز دیگر ادامه یافت. میزان هوادهی به‌مقدار ۸۵ L/min و غلظت اکسیژن محلول در فاضلاب ۲ mg/L گزارش شد. آن‌گاه با اطمینان از رشد کامل لجن و رسیدن فاضلاب به حد تعادل بیولوژیکی (تغییر رنگ و عدم بو در فاضلاب و دو فازی شدن فاضلاب)، پمپ مکش پایلوت روشن و از پساب خروجی از دستگاه SMBR، نمونه‌برداری صورت پذیرفت. نمونه‌برداری با تغییر دبی بعد از مدت ۲۰ دقیقه و با دبی متوسط در ۳ مرحله و هرکدام در سه روز مختلف انجام شد. میزان فشار مکشی پمپ حدود ۰/۰۳ Mpa و دبی آن ۵۰ L/hr بود و با کاهش دبی تا ۲۰ L/hr، عمل شست و شوی معکوس غشاءها با هوا انجام گرفت.

در مرحله دوم، حدود ۳۰٪ از لجن زیر مخزن تخلیه شده و با حدود ۴۰ لیتر فاضلاب تازه جایگزین شد و هوادهی به سیستم به‌مدت حدود ۲۰ ساعت ادامه یافت که مشاهده شد لجن فعال (لخته‌های بیولوژیکی) به‌طور کامل تشکیل شده است. آن‌گاه با روشن‌نمودن پمپ مکش همانند مرحله گذشته در ۳ زمان مختلف نمونه‌برداری انجام وآنالیزهای بیولوژیکی از نمونه‌های ورودی وخروجی انجام شد. در مرحله آخر برای تست کاهش بار آلودگی برکارکرد غشاءهای دستگاه، اقدام به رقیق‌سازی فاضلاب ابتدا با شست و شوی معکوس آن به‌وسیله پمپ جریان آب شست و شوی معکوس و نیز جایگزینی حدود ۳۰ لیتر دیگر از فاضلاب داخل مخزن با ۳۰ لیتر آب شهر شد. پس از هوادهی به‌مدت ۱۲ ساعت تاثیر کامل هوا بر فاضلاب و تشکیل توده‌های بیولوژیکی بیشتر و ایجاد کف زیاد در فاضلاب آشکار شد. بنابراین اقدام به برداشتن ۲ نمونه به فاصله ۲۰ دقیقه از ورودی و خروجی سیستم شد.

۲-۲- مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

پس از راهبری پایلوت با فاضلاب شهری، ۲۰ لیتر از لجن فعال مخزن جداسازی و نگهداری شده و مابقی فاضلاب تخلیه شده است. سپس مخزن دستگاه و غشاءهای آن با هوا و جریان آب معکوس شستشوی کامل شد و به‌مدت یک شبانه‌روز در آب نیمه گرم ۴۰ درجه سانتی‌گراد غوطه‌ور شد تا آلودگی‌های چسبیده الیاف غشاءها، فرصت جدا شدن و ته‌نشینی داشته باشند. سپس مجدداً با هوا و جریان آب معکوس پاکسازی صورت‌گرفت که مشاهده شد تا حد لازم غشاءها تمیز شده‌اند. سپس مراحل تصفیه فاضلاب مخلوط به‌شرح زیر انجام پذیرفت.

۲-۲-۱- مرحله اول: ۸۰٪ فاضلاب شهری و ۲۰٪ فاضلاب نساجی

مخزن راکتور SMBR با ۵۴ لیتر از فاضلاب شهری و ۱۰ لیتر از لجن فعال مربوطه (جمعاً ۸۰٪) و ۱۶ لیتر (۲۰٪) فاضلاب خام نساجی از کارخانه پشم‌بافی اصفهان بارگیری شد و سپس عمل هوادهی به سیستم بمدت ۳ روز ادامه یافت. مشاهدات نشان داد فاضلاب مخلوط از رنگ صورتی به رنگ سبز روشن، تغییر رنگ داده و توده‌های بیولوژیکی شکل‌گرفته در داخل مخزن شناور شده‌اند. این امر نشان‌دهنده عملکرد کامل واحد هوادهی بود (Yurtsever et al., 2017). سپس هوادهی قطع و عمل مکش و فیلتراسیون غشایی فاضلاب صورت‌پذیرفت. دبی پساب خروجی در ابتدا حدود ۴۵ L/hr و پس از یک ساعت فیلتراسیون، نمونه‌گیری از ورودی و خروجی سیستم انجام گرفت. دبی جریان نیز در انتهای فیلتراسیون به ۲۵ L/hr به‌دلیل تجمع رسوبات سطحی روی غشاءها کاهش یافت. سپس مجدداً هوادهی به‌مدت ۲ روز دیگر ادامه یافت و نمونه گیری انجام گرفت. در درصدهای کم فاضلاب نساجی زمان ماند زیاد در تصفیه اثر مثبتی نداشت، زیرا کاهش بار آلودگی تا ۳ روز هوادهی نسبت به ۵ روز اختلاف زیادی نداشته است. بنابراین حدود ۷۵ لیتر از فاز آبی راکتور تخلیه و درصدهای فاضلاب را برای انجام مرحله بعد تغییر داده شد.

۲-۲-۲- مرحله دوم: ۶۰٪ فاضلاب شهری و ۴۰٪ فاضلاب نساجی

مخزن SMBR با حدود ۴۸ لیتر (۶۰٪) فاضلاب شهری و ۳۲ لیتر (۴۰٪) فاضلاب نساجی جدید بارگیری شد و عملیات هوادهی در ۲ مرحله ۳ روزه و ۲ روزه همانند مرحله اول انجام و پس از هر مرحله نمونه برداری انجام پذیرفت. سپس ۷۲ لیتر از فاز آبی بالای فاضلاب داخل مخزن برای انجام مرحله سوم تخلیه شد.

۲-۲-۳- مرحله سوم: ۴۰٪ فاضلاب شهری و ۶۰٪ فاضلاب نساجی

در این مرحله مخزن با ۳۲ لیتر (۴۰٪) فاضلاب شهری و ۴۸ لیتر (۶۰٪) فاضلاب نساجی خام بارگیری و همان عملیات مرحله دوم در ۲ مرحله هوادهی جمعاً ۵ روزه، تکرار شد. آن‌گاه اقدام به

نمونه‌گیری و آنالیز نمونه‌ها شد. در پایان این مرحله نیز مقدار ۷۰ لیتر از فاضلاب آبی مخزن تخلیه و لجن فعال در مخزن باقی‌ماند.

۲-۲-۴- مرحله چهارم: ۲۰٪ فاضلاب شهری +۸۰٪ فاضلاب نساجی

در آخرین مرحله از آزمایش‌های پایلوت با فاضلاب مخلوط، مخزن با ۱۶ لیتر (۲۰٪) فاضلاب شهری و ۶۴ لیتر (۸۰٪) از فاضلاب نساجی بارگیری شده و عملیات هوادهی در ۲ مرحله حدود ۲ روزه (۴۰ساعت) و ۱روزه (۲۰ساعت) صورت‌گرفت. در هر مرحله نیز نمونه‌گیری و آنالیز از نمونه‌ها مطابق مراحل گذشته انجام پذیرفت. تعداد روزهای بهره‌برداری از پایلوت با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی در مجموع ۱۹ روز بود. در انتهای این بخش، حدود ۲۵ لیتر از لجن فاضلاب مخلوط نگهداری و مابقی آن تخلیه شد. سپس واحد غشایی ۲ مرحله شستشوی معکوس و در مرتبه سوم آبگیری و به‌مدت ۳۰ ساعت به حالت خود باقی ماند. در روز سوم، شستشوی کامل‌تری انجام گرفت تا غشاءها تا حد امکان تمیز شوند.

۲-۳- فاضلاب نساجی

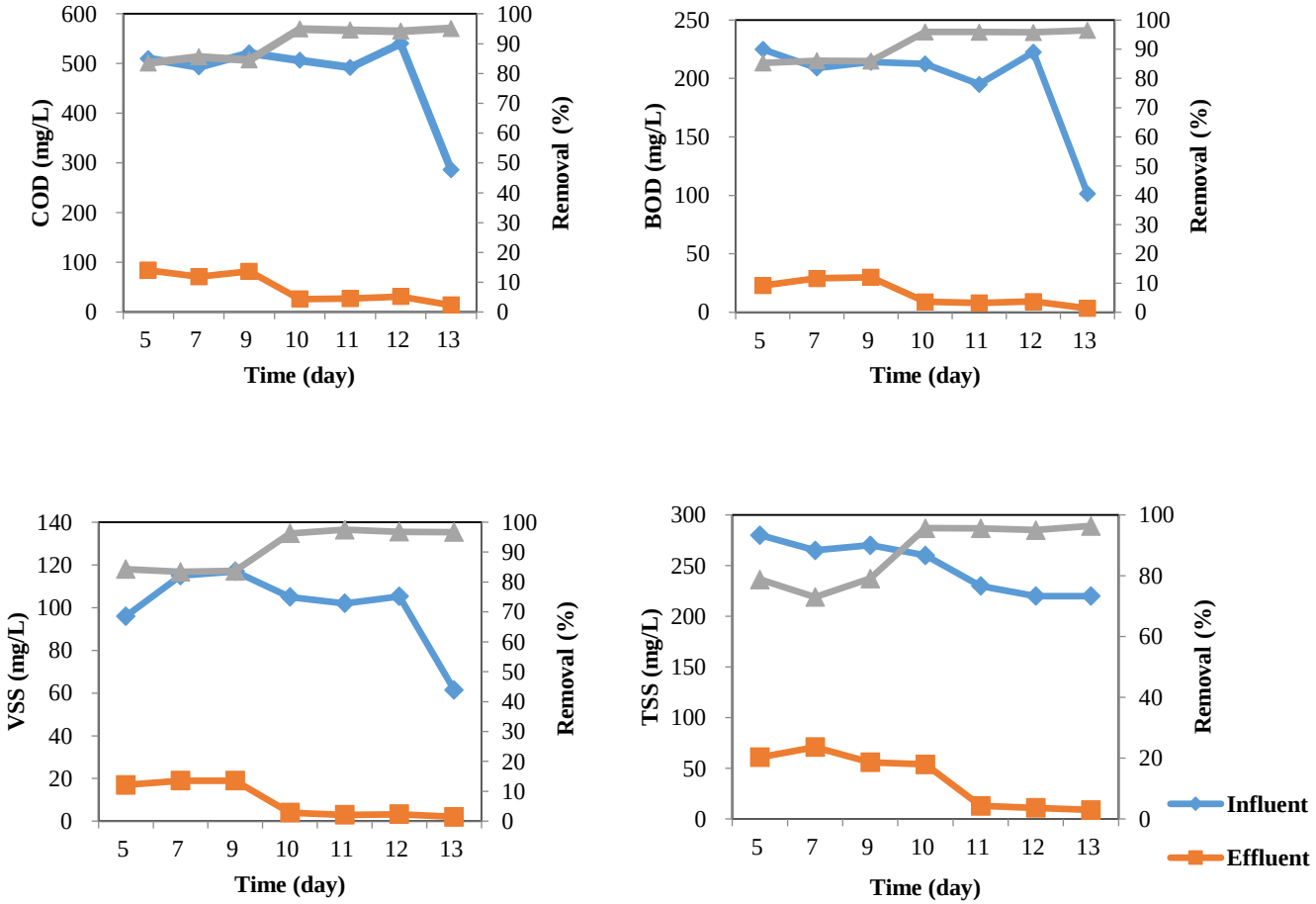
مقدار ۸۵ لیتر از فاضلاب نساجی به‌درون مخزن SMBR ریخته شد و به‌مدت ۳ روز هوادهی انجام شد. مشاهدات نشان داد که مقداری لجن فعال و توده‌های بیولوژیکی تشکیل شد ولی نسبت به فاضلاب شهری دارای لجن کمتر و فاز آبی تیره‌تر بود. سپس پمپ مکش روشن و بعد از چند دقیقه از فاضلاب ورودی و فاضلاب تصفیه شده خروجی نمونه‌برداری انجام گرفت. پس از آن برای تشکیل لجن فعال و لخته‌های بیولوژیکی بیشتر، حدود ۲۰ لیتر از فاضلاب مخزن جایگزین ۲۰ لیتر لجن فعال مخلوط شهری و نساجی مراحل قبل شود و با انجام این‌کار، مجدداً هوادهی به‌مدت ۲ روز ادامه یافت. در روز دوم مشاهده شد لجن فعال بیشتر و فاز آبی نیز روشن‌تر شده است. سپس بار دیگر از ورودی وخروجی سیستم نمونه‌برداری صورت‌پذیرفت. در ادامه مقدار ۶۰ لیتر فاز آبی فاضلاب تخلیه و به‌جای آن از فاضلاب تازه کارخانه بارگیری شد و عمل هوادهی به‌مدت حدود ۲ روز (۴۲ساعت) ادامه یافت. با مشاهده تشکیل توده‌های بیولوژیکی و ته‌نشینی آن‌ها، هوادهی متوقف و نمونه‌برداری صورت‌گرفت و مجدداً ۲۴ ساعت هوادهی ادامه یافت و سپس با مناسب‌تر شدن لجن و رنگ فاضلاب، اقدام به نمونه‌گیری دوم از ورود و خروج سیستم شد. در ادامه با مقدار ۱۵ لیتر فاضلاب تازه، حجم مخزن راکتور به‌جای فاضلاب تصفیه‌شده تکمیل شد و هوادهی به‌مدت ۲۴ ساعت دیگر ادامه یافت. پس از نمونه‌گیری، مجددا حدود یک‌روز هوادهی ادامه‌یافته و نمونه‌گیری دوم انجام‌گرفت. در نهایت نمونه‌ها تحت آنالیزهای بیولوژیکی قرارگرفت. با توجه به نزدیکی جواب‌های آنالیزها، عملیات تصفیه و نمونه‌برداری خاتمه یافت.

۳- نتایج و بحث

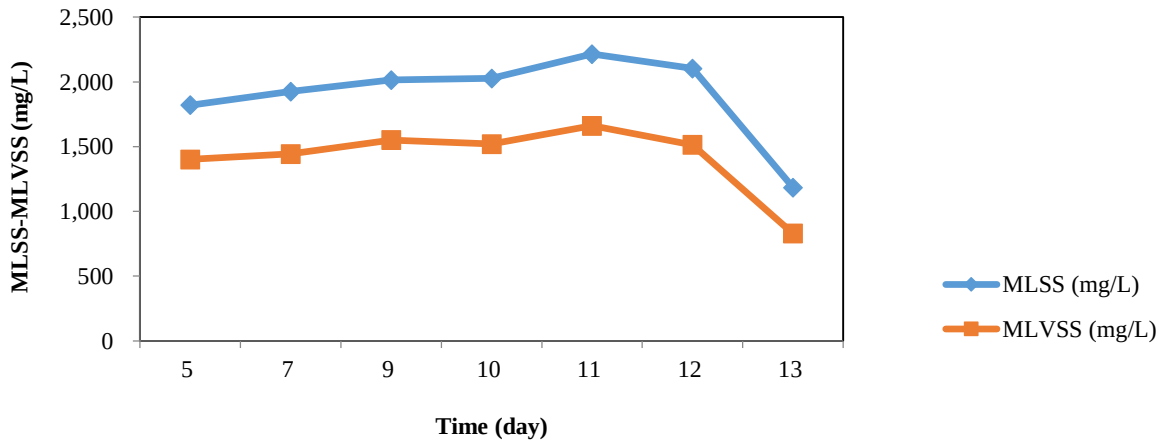
۳-۱- عملکرد پایلوت با فاضلاب شهری

نمودارهای تغییرات پارامترهای کیفی BOD، COD، TSS و VSS در ورودی و خروجی واحد SMBR و نیز غلظت MLSS و MLVSS برای فاضلاب شهری به‌ترتیب مطابق شکل‌های ۲ و ۳ است. براساس نتایج به‌دست آمده از عملکرد پایلوت در تصفیه فاضلاب شهری، درصد حذف پارامترهای بیولوژیکی با واحد SMBR وابستگی بسیاری به غلظت ورودی این پارامترها به سیستم نداشته و بیوراکتور مستغرق غشایی، فاضلاب ورودی شهری را در هر غلظت و شدت آلودگی با راندمان بالا و در حدود ۹۴٪ تصفیه کرده است. براساس شکل ۲ متوسط درصد حذف بارهای آلودگی COD، BOD، TSS و VSS در فاضلاب شهری به‌ترتیب: ۹۴/۶۵٪ ، ۹۶/۰۴٪ ، ۹۶/۷۲٪ و ۹۵/۵۸٪ گزارش شده است. زمان ماند هیدرولیکی لازم برای هوادهی فاضلاب شهری شاهین‌شهر مورد استفاده، بین ۱۲ تا ۲۴ ساعت بود که در حد نرمال ۱۸ ساعت و زمان ماند سلولی نیز ۲۳ روز گزارش شد. هم‌چنین براساس شکل ۳ محدودهٔ تغییرات MLVSS و MLSS در فاضلاب شهری به‌ترتیب ۱۱۶۰ تا ۲۳۱۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۸۱۲ تا ۱۶۶۳ میلی‌گرم بر لیتر است که در ابتدا و قبل از هوادهی به فاضلاب کمتر بوده است. زیرا با هوادهی فاضلاب غلظت زیست‌توده افزایش پیدا کرده (تشکیل فلاک و لجن) و در نتیجه غلظت MLSS و MLVSS نیز در راکتور افزایش پیدا می‌کند. با تزریق خوراک به راکتور، مقدار ترکیبات آلی و معدنی افزوده می‌شود و از طرفی چون زمان ماند لجن(سن لجن) بالا بوده (۲۵ روز) خروج لجن از راکتور کاهش پیدا کرده و درنتیجه ترکیبات آلی و معدنی و میزان غلظت زیست‌توده با افزایش زمان ماند لجن تا حدودی افزایش یافته اما فعالیت میکروبی آن کاهش یافته است. از روز یازدهم بهره‌برداری از پایلوت، به‌مدت ۲ روز برای تست کاهش بار آلودگی برکارکرد غشاءهای دستگاه، اقدام به رقیق‌سازی فاضلاب ابتدا با شست‌وشوی معکوس آن به‌وسیله پمپ آب شست و شوی معکوس و نیز جایگزینی حدود ۳۰ لیتر

دیگر از فاضلاب داخل مخزن با ۳۰ لیتر آب شهر شد. با شروع هوادهی شروع پس از ۲۴ ساعت تأثیر کامل هوا بر فاضلاب و تشکیل توده‌های بیولوژیکی بیشتر و ایجاد کف زیاد در فاضلاب آشکار شد. در این مرحله اقدام به برداشتن ۲ نمونه به فاصله ۲۰ دقیقه از ورودی وخروجی سیستم شد. رقیق‌سازی فاضلاب و هم‌چنین نبود خوراک برای باکتری‌ها برای تغذیه از فاضلاب (رفتن به فاز خودخوری) باعث کاهش ناگهانی میزان توده جامد معلق از روز یازدهم به بعد شده است. این امر نشان‌دهنده آن است که وجود لجن فعال فاضلاب شهری در تصفیه بهتر و کامل‌تر فاضلاب‌های تازه ورودی به بیورآکتورهای غشایی تاثیر به‌سزایی دارد (Jegatheesan et al., 2016).



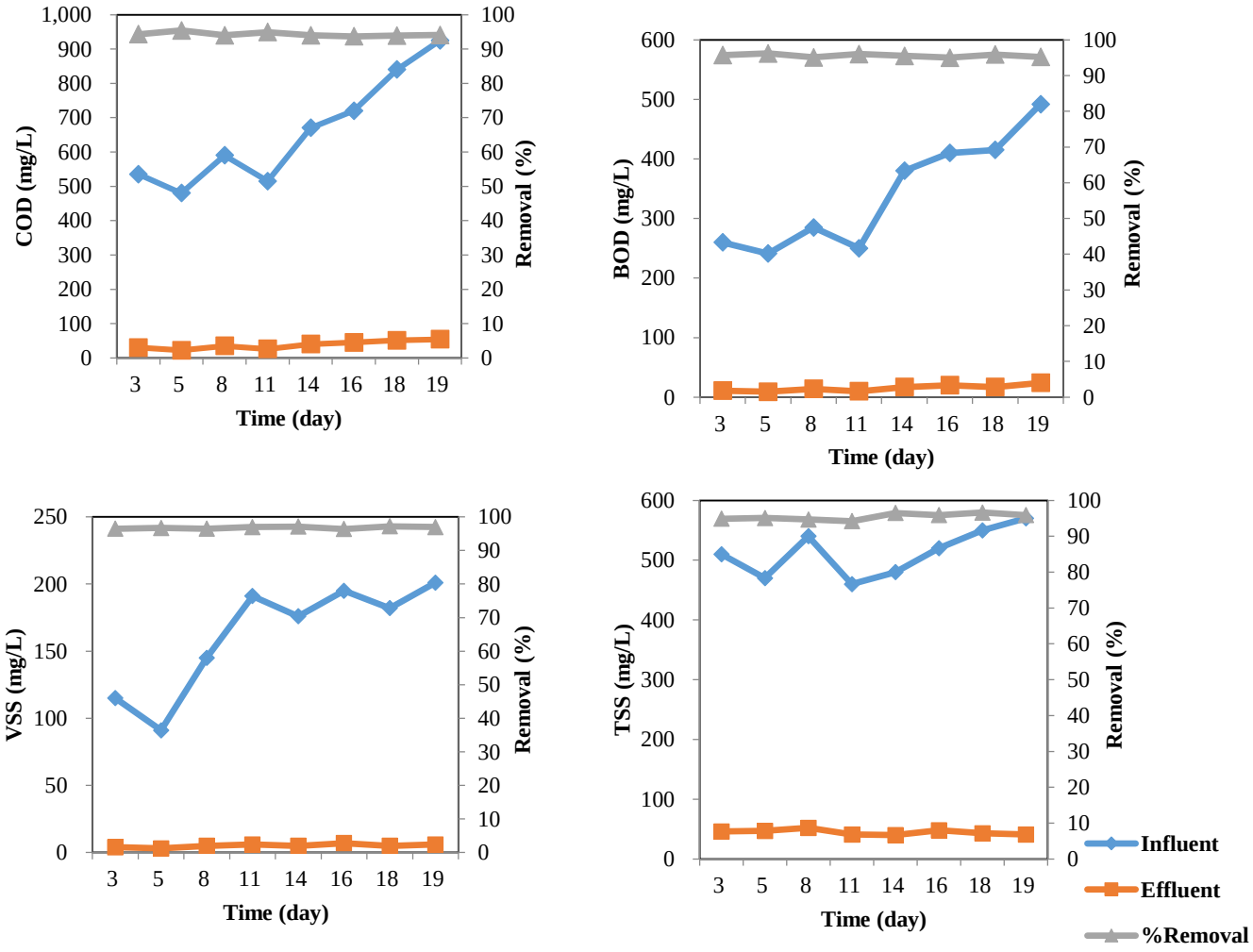
شکل ۲- تغییرات غلظت پارامترهای COD، BOD، TSS و VSS بر حسب درصدهای حذف آن‌ها در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با فاضلاب شهری



شکل ۳- تغییرات غلظت MLVSS و MLSS در زمان بهره برداری از بیورآکتور غشایی با فاضلاب شهری

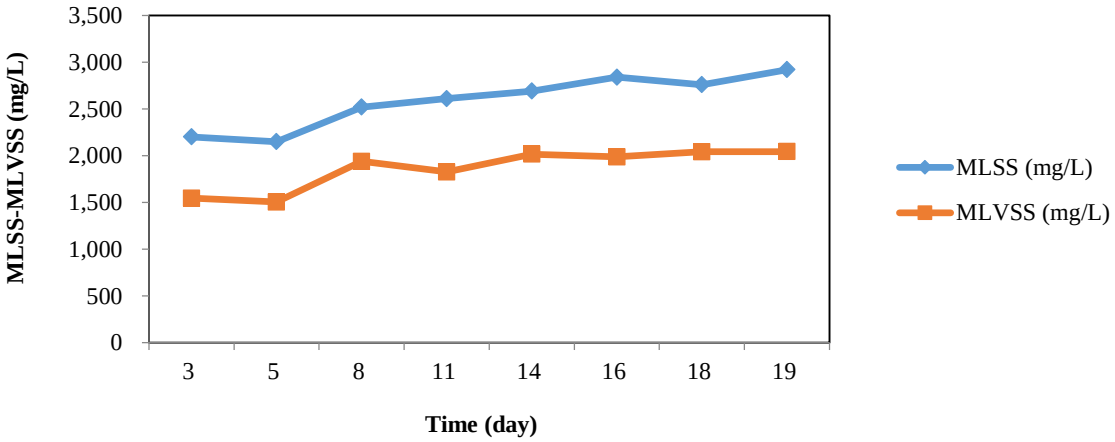
۳-۲- عملکرد پایلوت با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

منحنی‌های تغییرات پارامترهای بیولوژیک BOD، COD، TSS، VSS، MLSS و MLVSS در تصفیه فاضلاب مخلوط در شکل ۴ ارائه شده است. لازم به‌ذکر است که pH مخلوط فاضلاب شهری و نساجی ۸/۵ و درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد بوده است.



شکل ۴- نمودارهای تغییرات غلظت پارامترهای COD، BOD، TSS و VSS برحسب درصدهای حذف آن‌ها در دوره بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

براساس شکل ۴ درصدهای حذف COD و BOD در فاضلاب ۸۰٪ شهری و ۲۰٪ نساجی (تا زمان ۵ روز) به‌ترتیب ۹۵/۴٪ و ۹۶/۲٪ بوده است. هم‌چنین نتایج نشان داد که کاهش بار آلودگی تا ۳ روز هوادهی نسبت به ۵ روز هوادهی، اختلاف زیادی نداشته و نشان‌دهنده آن است که در درصدهای کم فاضلاب نساجی، افزایش زمان ماند و هوادهی تأثیر به‌سزایی نداشته‌اند (Yang et al., 2020). آزمایش‌های با ترکیب فاضلاب مخلوط (۶۰٪ شهری و ۴۰٪ نساجی)، از روز پنجم تا یازدهم ادامه یافت که براساس شکل ۴ غلظت متغیرهای کیفی فاضلاب نساجی افزایش یافته است اما در مقادیر MLSS فاضلاب تغییر چندانی ایجاد نشده است (شکل ۵). همین روند نیز برای ترکیب فاضلاب مخلوط (۴۰٪ شهری و ۶۰٪ نساجی) از روز یازدهم تا شانزدهم ادامه یافته است. نمودارهای شکل ۴ نشان دادند در مخلوط فاضلاب با نسبت ۲۰٪ شهری و ۸۰٪ از روز شانزدهم تا نوزدهم درصدهای حذف COD و BOD بیش از ۹۵٪ بوده و بیشترین درصد حذف TSS و VSS با درصدهای ۹۷/۲ و ۹۶/۶ گزارش شده است. هم‌چنین زمان ماند هیدرولیکی لازم برای تصفیه فاضلاب مخلوط با توجه به مشاهدات و تغییرات ایجاد شده در زمان‌های مختلف اعمال شده درصورت وجود لجن فعال از هر دو فاضلاب نساجی و شهری در سیستم و با توجه به درصدهای این دو فاضلاب، از مرحله اول تا مرحله چهارم بین ۲۰ تا ۴۰ ساعت و به‌طور متوسط ۳۰ ساعت و زمان ماند سلولی نیز ۲۴ روز بوده است.



شکل ۵- تغییرات غلظت MLVSS و MLSS در دوره بهره‌برداری در زمان بهره‌برداری از بیورآکتور غشایی با مخلوط فاضلاب شهری و نساجی

شکل ۵ نشان داد با افزایش درصد فاضلاب نساجی، غلظت بارهای آلودگی نسبت به غلظت بیومس و مقدار MLSS و MLVSS افزایش بیشتری داشتند و زمان ماند هم افزایش یافته است. نمونه‌های خروجی نسبت به نمونه‌های ورودی سیستم از نظر حذف کدورت و رنگ کاملاً شفاف و عاری از هر گونه رنگ و کدورت بوده‌اند.

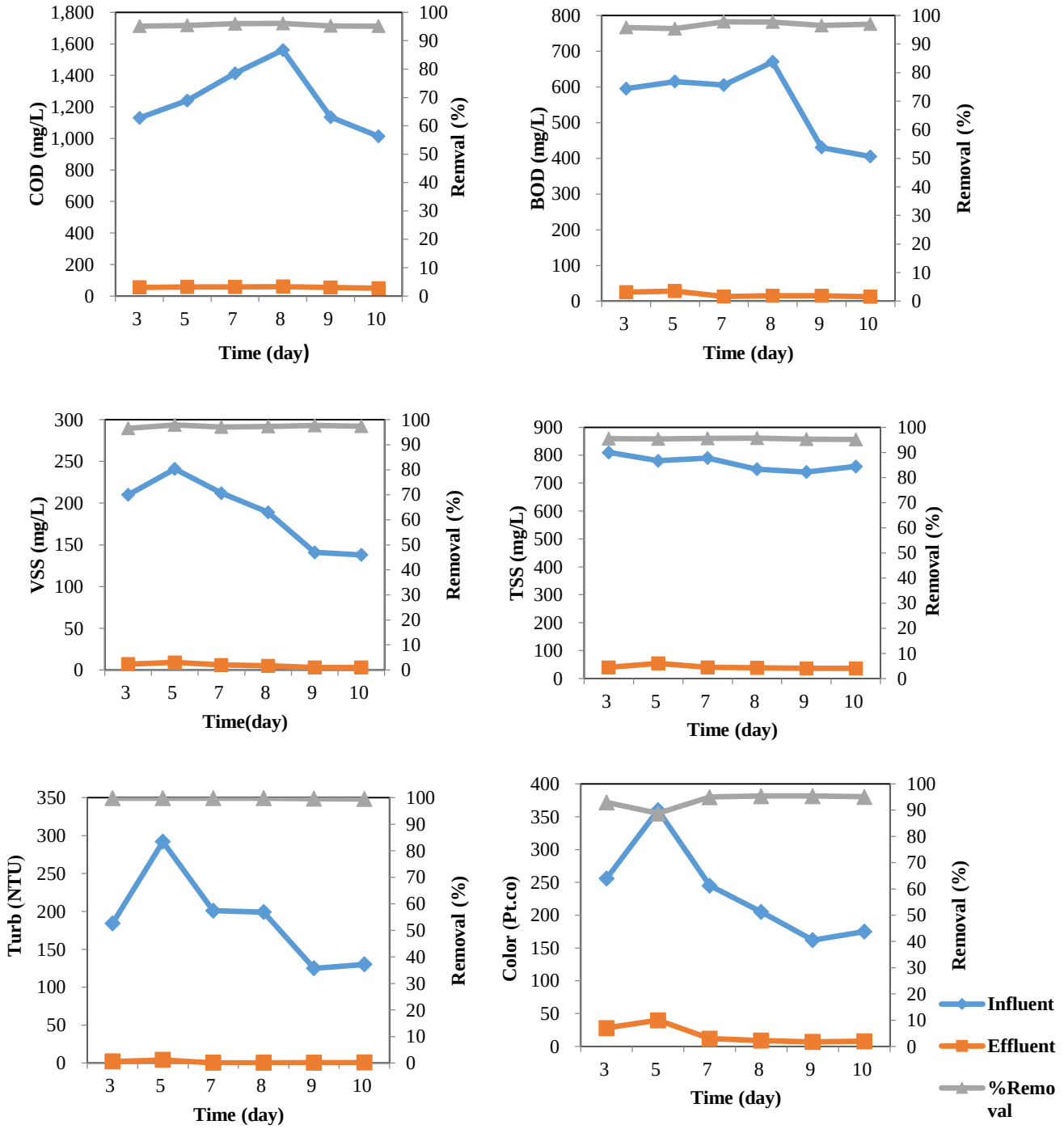
۳-۳- عملکرد پایلوت با فاضلاب نساجی

در نمودارهای شکل ۶ به‌ترتیب منحنی‌های تغییرات BOD، COD، TSS، VSS، MLSS، MLVSS، رنگ و کدورت فاضلاب کارخانه نساجی نشان داده شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، متوسط درصد حذف پارامترهای COD، BOD، TSS، VSS، رنگ و کدورت به‌ترتیب برابر: ۹۵/۴۸، ۹۶/۷، ۹۷/۳، ۹۵/۴، ۹۳/۸ و ۹۹/۷ گزارش‌شده که بسیار مطلوب است. حذف رنگ و کدورت از فاضلاب خوب و نمونه‌های خروجی بسیار شفاف و بی رنگ بوده‌اند. حذف رنگ از فاضلاب صنعت نساجی بسیار مهم بوده که عملکرد پایلوت بسیار مطلوب (حذف بیش از ۹۰٪) بوده است. زمان ماند هیدرولیکی مناسب برای این مرحله بعد از تشکیل لجن فعال در فاضلاب بین ۲۴ تا ۴۲ ساعت و به‌طور متوسط ۳۳ ساعت و زمان ماند سلولی نیز ۲۵ روز است. علاوه برآن حضور حدود ۱۰ درصد لجن فعال فاضلاب شهری و نیز تشکیل لجن فعال در فاضلاب نساجی، در تشکیل و رشد سریعتر توده‌های بیولوژیکی نقش موثری دارد و باعث کاهش بار آلودگی ورودی به غشاءهای دستگاه نیز می‌شود.

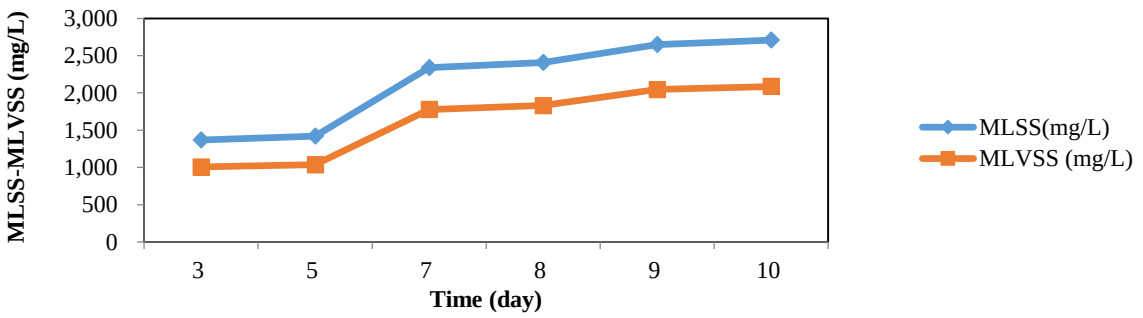
بر اساس شکل ۷ غلظت MLSS و MLVSS با توجه به وجود لجن فعال و افزایش رشد و تشکیل آن، در ابتدای برداشت فاضلاب ناچیز و به‌مرور زمان افزایش داشته و متناسب با افزایش غلظت فاضلاب و بار آلودگی آن است. pH و درجه حرارت فاضلاب نساجی به‌ترتیب ۷/۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

۴-۳- بحث

در حال‌حاضر، با توجه به آلودگی بالای فاضلاب کارخانجات و کارگاه‌های صنایع نساجی، علی‌رغم صرف هزینه و وقت زیاد و استفاده از مواد شیمیایی گوناگون هم‌چون آهک، سولفات‌ها و منعقدکننده‌ها، راندمان تصفیه فاضلاب‌های نساجی از نظر کمی و کیفی، در بهترین حالت حدود ۵۵٪ است که با استانداردهای محیط‌زیستی فاصله زیادی دارد (Arsalan et al., 2016). نتایج نشان داد پایلوت SMBR مورد استفاده در این تحقیق قادر به حذف BOD، COD، TSS، رنگ، کدورت، فسفات، نیترات، تا حد استاندارد محیط‌زیست بوده است که با نتایج تحقیق Fazal et al. (2015) آن را تأیید می‌نماید. مقایسه بین سیستم لجن فعال و SMBR نشان داد که میزان MLVSS در SMBR بسیار بیشتر از سیستم لجن فعال متداول است که این مسئله باتوجه به وجود عوامل و یون‌های بازدارنده در فرایند تصفیه فاضلاب نساجی حائز اهمیت خواهد بود (Yurtsever et al., 2021) قابلیت بارگذاری جرمی بالای SMBR از مزیت‌های دیگری است که توانایی عملکرد با غلظت‌های بالای جرم میکروبی را دارا هستند (Yang et al., 2020). نتایج نشان داد در سیستم‌های SMBR می‌توان به‌صورت مشترک به راندمان بالای ۹۵ درصد در حذف BOD و COD رسید. براساس زمان ماند هیدرولیکی (HRT) در بیشترین بار آلودگی COD، برای فاضلاب‌های آزمایش شده: شهری، مخلوط ۲۰٪ شهری - ۸۰٪ نساجی و فاضلاب نساجی به تنهایی، به‌ترتیب ۱۸، ۳۰، ۳۳، ساعت به‌دست آمد که با تحقیق انجام شده Deowan et al. (2013) برای فاضلاب شهری و نساجی که HRT را به‌ترتیب: ۲۰ و ۴۰ تا ۸۰ ساعت گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد.



شکل ۶- نمودارهای تغییرات غلظت پارامترهای COD، BOD، TSS، VSS، رنگ و کدورت برحسب درصدهای حذف آن‌ها در زمان بهره‌برداری از بیوررآکتور غشایی با فاضلاب نساجی



شکل ۷- تغییرات غلظت MLVSS و MLSS در زمان بهره‌برداری از بیررآکتور غشایی با فاضلاب نساجی

درصدهای حذف همه پارامترهای بیولوژیکی شامل COD، BOD, TSS, VSS، Turbidity و Color برای فاضلاب‌های شهری و نساجی، در حدود مطلوب و قابل انتظار بوده است. هم‌چنین براساس نتایج به‌دست آمده درصد حذف مقادیر BOD نسبت به COD و نیز VSS نسبت به TSS، نسبت به فرایندهای بیولوژیکی متداول نظیر لجن فعال بیشتر گزارش شده‌اند (Yang et al., 2018). راندمان حذف پارامترهای بیولوژیکی را با هوادهی کافی، تنظیم pH، استفاده ترکیبی از لجن فعال شهری و بهره‌برداری صحیح از دستگاه SMBR، می‌توان افزایش داد (Deowan et al., 2016). بیشترین درصد حذف COD و BOD مربوط به زمان افزایش بیومس در رآکتور و افزایش فاضلاب تازه به مخزن سیستم و کمترین آن‌ها مربوط به ابتدای کار و عدم تشکیل کامل لجن فعال است. غلظت MLSS و MLVSS، معمولا در ابتدای برداشت فاضلاب ناچیز و به‌مرور زمان با هوادهی ممتد، رشد تدریجی لجن فعال و بیومس و افزایش خوراک جدید به رآکتور افزایش یافته است. یکی از دلایل مهم این است که افزایش غلظت زیست‌توده به‌خاطر افزایش ترکیبات الی و معدنی بوده است و دیگر این‌که احتمال دارد با افزایش سن لجن و پیر شدن آن فعالیت میکروبی کاهش یافته است. حذف رنگ و کدورت از فاضلاب ورودی در حد بالا و همه نمونه‌های خروجی بی رنگ و شفاف بوده‌اند، به‌طوری‌که با افزایش هوادهی و زمان ماند هیدرولیکی، رنگ و کدورت اولیه فاضلاب هم کاهش یافته است (Wang et al., 2020). حضور حداقل ۱۰ درصد لجن فعال فاضلاب شهری و نیز تشکیل لجن فعال بیشتر در فاضلاب نساجی، در تشکیل و رشد سریع‌تر توده‌های بیولوژیک فاضلاب نساجی، نقش موثری داشته و باعث کاهش بار آلودگی ورودی به غشاءهای پایلوت شده است. اگر F حاصل‌ضرب دبی فاضلاب (۱ مترمکعب در روز)، در مقدار متوسط BOD آن و M، حاصل ضرب حجم فاضلاب راکتور SMBR (حدود ۰/۵۸ مترمکعب)، در مقدار MLSS فاضلاب باشد، مقدار نسبت F/M برای متوسط بارهای آلودگی به‌دست آمده فاضلاب‌های شهری، مخلوط و صنعت نساجی به‌ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲، ۰/۳۷ حاصل می‌شود، که پایین نگه‌داشتن این نسبت باعث تولید حجم کمتر لجن در راکتور خواهد شد (Yang et al., 2021). بنابراین نتایج نشان داد که باید مقدار جریان فاضلاب ورودی در فاضلاب نساجی کمتر شود. زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب شهری و فاضلاب نساجی با هوادهی ممتد و حضور لجن فعال مخلوط می‌تواند به‌ترتیب تا مقدار ۱۵ ساعت و ۳۰ ساعت هم کاهش یابد.

برای تصفیه فاضلاب نساجی چندین منبع میکروبی از جمله قارچ‌ها، باکتری‌ها، مخمرها، جلبک‌ها و اکتینومیست‌ها گزارش شده‌اند. میکروارگانیسم‌های اکستروموفیل به‌دلیل توانایی آن‌ها برای زنده‌ماندن در شرایط سخت که عامل محدودکننده‌ای برای میکروارگانیسم‌های مزوفیل است، به‌طور گسترده در تصفیه فاضلاب صنایع نساجی استفاده می‌شوند. ریزوباکتری‌های ترویجی توانایی جالبی در رنگ‌زدایی رنگ‌های مختلف نساجی نشان می‌دهند. اثربخشی رنگ‌زدایی میکروبی به سازگاری و فعالیت میکروارگانیسم‌های منتخب که با کاربرد آن در شرایط بهینه افزایش می‌یابد، بستگی دارد (Wang et al., 2020). با تشکیل کامل لجن فعال و تصفیه بیولوژیکی فاضلاب، گرفتگی غشاء کم و زمان شست و شوی معکوس کاهش یافته است. با تنظیم جریان خروجی به L/hr ۵۰، فشار مکش جریان ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ مگاپاسکال بوده است که در کارکرد پایلوت با فاضلاب نساجی در حدود ۰/۰۳ مگاپاسکال گزارش شده است. با رسیدن این فشار مکش به کمتر از ۰/۰۱ مگاپاسکال، جریان خروجی به زیر L/hr ۲۰ کاهش پیدا کرده و غشاءها نیاز به شست و شوی معکوس داشتند. با گذشت زمان، افت شار جریان به‌دلیل تشکیل یک لایه ژل مانند از رسوبات سطحی ایجاد می‌شود. این لایه ژل یک سد ثانویه در مقابل جریان عبوری از میان غشاءها تشکیل داده و درنتیجه فشار مورد نیاز برای بقای شار افزایش می‌یابد. هنگامی‌که شار جریان کاهش پیدا کرد غشاء مملو از رسوب سطحی درنظر گرفته شده است. در این تحقیق شست‌وشوی معکوس غشاء با استفاده از هوادهی و جریان آب تمیز معکوس شده به‌مدت ۱ الی ۲ دقیقه صورت‌گرفت. به‌طور متوسط بعد از هر ۳۰ روز غشاءها نیاز به شستشوی شیمیایی داشته‌اند. در طی عملیات این تحقیق فقط یک‌بار گرفتگی شدید در هنگام کارکرد پایلوت با فاضلاب نساجی اتفاق افتاد که با شستشوی شیمیایی برطرف شد. تشکیل لایه بیولوژیکی بر روی غشاء در حذف بهتر بارهای آلودگی موثر بوده است، زیرا لایه کیک مانند تشکیل شده باعث ایجاد بستری برای رشد میکروارگانیزم‌ها و تصفیه بهتر فاضلاب شده است (Hashemzadeh et al., 2021). تغییر رنگ و برطرف شدن بوی فاضلاب، نشانه‌ای از تعادل بیولوژیکی و نزدیک شدن به زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب است. هم‌چنین نتایج نشان‌داد اختلاط بخشی از فاضلاب شهری با فاضلاب نساجی می‌تواند فرآیند تصفیه بیولوژیکی را بهبود بخشد و در آن‌صورت می‌توان از لجن حاصل به‌عنوان کود مفید در کشاورزی استفاده نمود (Lubello et al., 2007).

۴- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی براساس نتایج به‌دست آمده می‌توان با انتخاب مناسب زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب برحسب زمان تشکیل لجن فعال و لخته‌های بیولوژیکی و هوادهی کافی به درصدهای حذف مناسب دست‌یافت. در این‌صورت گرفتگی غشاء کمتر و راندمان تصفیه فاضلاب هم افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد SMBR می‌تواند گزینه مناسبی برای تصفیه فاضلاب شهری و صنعت نساجی باشد و به‌عنوان جایگزین روش لجن فعال متعارف مطرح شود. در این‌روش علاوه‌بر جلوگیری از آلودگی‌های آب، خاک و محیط‌زیست موجودات زنده، می‌توان بیش از ۹۰٪ فاضلاب تصفیه‌شده نساجی را حداقل برای مصارف شست‌وشو و نیازهای صنعتی مجدداً مورد استفاده قرار داد و فقط حدود ۲۰٪ از منابع آبی دیگر استفاده نمود. آب تمیز و بدون رنگ و کدورت حاصل از این نوع تصفیه، به‌راحتی قابل استفاده مجدد در فرآیندهای رنگرزی و تکمیل و شست و شو است. به‌نظر می‌رسد بیوراکتورهای غشایی استفاده شده در این تحقیق، قابل استفاده و تعمیم در تصفیه فاضلاب سایر صنایع و مراکز تولیدی و نیز مجتمع‌های مسکونی، تجاری، اداری و امثال آن باشد.

۵- پی‌نوشت‌ها

1- Membrane Biological Reactor
2- Flat Sheet
3- Hydraulic retention time
4- Solids Retention Time
5- American Society for Testing and Materials

۶- مراجع

Arslan, S., Eyvaz, M., Gürbulak, E., and Yüksel, E., (2016), "A review of state-of-the-art technologies in dye-containing wastewater treatment–the textile industry case", *Textile Wastewater Treatment*, 1-29.

De Jager, D., Sheldon, M.S., and Edwards, W., (2014), "Colour removal from textile wastewater using a pilot-scale dual-stage MBR and subsequent RO system", *Separation and Purification Technology*, 135, 135-144.

Deowan, S.A., Galiano, F., Hoinkis, J., Figoli, A., and Drioli, E., (2013), "Submerged Membrane Bioreactor (SMBR) for treatment of textile dye wastewatertowards developing novel MBR process", *APCBEE Procedia*, 5, 259-264.

Deowan, S.A., Galiano, F., Hoinkis, J., Johnson, D., Altinkaya, S.A., Gabriele, B., Hilal, N., Drioli, E., and Figoli, A., (2016), "Novel low-fouling membrane bioreactor (MBR) for industrial wastewater treatment", *Journal of Membrane Science*, 510, 524-532.

Fazal, S., Zhang, B., Zhong, Z., Gao, L., and Chen, X., (2015), "Industrial wastewater treatment by using MBR (membrane bioreactor) review study", *Journal of Environmental Protection*, 6, 584.

Gray, J.R., and Glysson, G.D., (2003), "Synopsis of outcomes from the federal interagency workshop on turbidity and other sediment surrogates", *In Virginia Water Research Symposium*, Virginia.

Hashemzadeh, F., Hassani, A.H., Torabiyan, A., Borgheie, S.M., and Hamsee, A.H., (2021), "Investigation of Submerged Membrane Reactor in removal of water turbidity using poly-aluminum chloride coagulant with coagulation aids of polyelectrolyte and ;ime", *Journal of Water and Wastewater*, 32(4), 93-107.

Jegatheesan, V., Pramanik, B.K., Chen, J., Navaratna, D., Chang, C.Y., and Shu, L., (2016), "Treatment of textile wastewater with membrane bioreactor: a critical review", *Bioresource Technology*, 204, 202-212.

Judd, S., (2010), *Principles and applications of membrane bioreactors for water and wastewater treatment*, Elsevier.

Kusworo, T.D., Aryanti, N., and Utomo, D.P., (2019), "Improvement in nano-hybrid membrane PES, nanosilica performance using ultra violet irradiation and acetone–ethanol immersion for produced water treatment", *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16(2), 973-986.

Lubello, C., Caffaz, S., Mangini, L., Santianni, D., and Caretti, C., (2007), "MBR pilot plant for textile wastewater treatment and reuse", *Water science and Technology*, 55(10), 115-124.

Martins, L.F., (2008), *Desenvolvimento de equipamento de baixo custo instrumentalizar o metodo ASTM D 1209-00*, Institute of Chemistry Research Group on Analytical Chemistry and Education, Masters dissertation, Campinas, SP.

Motlagh, P.Y., Khataee, A., HassaniMotlagh, P.Y., Khataee, A., Hassani, A., and Rad, T.S., (2020), "ZnFe-LDH/GO nanocomposite coated on the glass support as a highly efficient catalyst for visible light photodegradation of an emerging pollutant", *Journal of Molecular Liquids*, 302, 112532.

Radjenović, J., Matošić, M., Mijatović, I., Petrović, M., and Barceló, D., (2007), "Membrane bioreactor (MBR) as an advanced wastewater treatment technology", *Emerging Contaminants from Industrial and Municipal Waste*, 37-101.

Sahinkaya, E., Uzal, N., Yetis, U., and Dilek, F.B., (2008), "Biological treatment and nanofiltration of denim textile wastewater for reuse", *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1142-1148.

Sahinkaya, E., Yurtsever, A., and Çınar, Ö., (2017), "Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance", *Separation and Purification Technology*, 174, 445-454.

Sheldon, M.S., and Erdogan, I.G., (2016), "Multi-stage

EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater", *Chemical Engineering Journal*, 285, 368-377.

Shi, B., Shlepr, M., and Palfery, D., (2011), "Effect of blend composition and structure on biodegradation of starch/ecoflex-filled polyethylene films*", Journal of Applied Polymer Science*, 120(3), 1808-1816.

Spellman, F.R., (2008), *Handbook of water and wastewater treatment plant operations*, CRC press.

Wang, Y., Wang, H., Wang, X., Xiao, Y., Zhou, Y., Su, X., Cai, J., and Sun, F., (2020), "Resuscitation, isolation and immobilization of bacterial species for efficient textile wastewater treatment: A critical review and update", *Science of the Total Environment*, 730, 139034.

Yang, X., Crespi Rosell, M. and López Grimau, V., (2018), "A review on the present situation of wastewater treatment in textile industry with membrane bioreactor and moving bed biofilm reactor", *Desalination and Water Treatment*, 103, 315-322.

Yang, X., López-Grimau, V., Vilaseca, M., and Crespi, M., (2020), "Treatment of textile wastewater by CAS, MBR, and MBBR: A comparative study from technical, economic, and environmental perspectives", *Water*, 12(5), 1306.

Yang, X., López-Grimau, V., Vilaseca, M., Crespi, M., Ribera-Pi, J., Calderer, M., and Martínez-Lladó, X., (2021), "Reuse of textile wastewater treated by moving bed biofilm reactor coupled with membrane bioreactor", *Coloration Technology*, 137(5), 484-492.

Yigit, N.O., Uzal, N., Koseoglu, H., Harman, I., Yukseler, H., Yetis, U., Civelekoglu, G.Ö.K.H.A.N., and Kitis, M., (2009), "Treatment of a denim producing textile industry wastewater using pilot-scale membrane bioreactor", *Desalination*, 240(1-3), 143-150.

Yurtsever, A., Basaran, E., Ucar, D., and Sahinkaya, E., (2021), "Self-forming dynamic membrane bioreactor for textile industry wastewater treatment", *Science of the Total Environment*, 751, 141572.

Yurtsever, A., Calimlioglu, B., and Sahinkaya, E., (2017), "Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater", *Chemical Engineering Journal*, 314, 378-387.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.