بررسی کارایی بیوراکتور غشایی (MBR) از نوع صفحه‌ای (Flat sheet) در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب شهری تصفیه‌خانه جنوب اصفهان در مقیاس پایلوت

سمیه فاضلی[۱]، محمد مهدی امین[۲]، امیر حسام حسنی[۳]، علی ترابیان[۴]

چکیده

مقدمه: هدف از انجام این مطالعه بررسی کارایی بیوراکتور غشایی (MBR یا Membrane bioreactor) از نوع صفحه‌ای (Flat sheet) در حذف BOD_5 و COD در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب اصفهان بود.

روش‌ها: در این مطالعه، یک بیوراکتور غشایی صفحه‌ای مستغرق با حجم ۱۴۰ لیتر، با استفاده از غشای میکروفیلتراسیون (MF یا Microfiltration membrane) به مدت ۱۰۹ روز و با زمان ماند هیدرولیکی ۲۰ ساعت در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب اصفهان تغذیه گردید.

یافته‌ها: راهبری بیوراکتور در غلظت MLSS معادل ۷۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر، به طور متوسط راندمان حذف COD و BOD_5 به ترتیب میزان ۹۵ درصد و ۹۹ درصد را حاصل نمود.

نتیجه‌گیری: سیستم FS-MBR (Flat sheet membrane bioreactor) می‌تواند به دلیل کیفیت بالای پساب خروجی و حذف BOD_5 و COD طبق استانداردهای تخلیه به آب‌های پذیرنده در مقیاس بزرگ مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: غشای صفحه‌ای، بیوراکتور غشایی، میکروفیلتراسیون، فاضلاب شهری، غشای مستغرق.

نوع مقاله: *تحقیقی*

دریافت مقاله: ۸۹/۸/۲۷ *پذیرش مقاله: ۸۹/۱۰/۲۹*

مقدمه

به دلیل عدم گستردگی منابع آب آشامیدنی، تصفیه فاضلاب و بازیابی آن امری ضروری است. توسعه فرایندهای جداسازی غشایی از اوایل سال ۱۹۷۰ آغاز گردیده، به عنوان جایگزین مناسبی برای زلال‌سازهای ثانویه متداول در سیستم تصفیه لجن فعال مورد توجه است (۱). فرایند MBR (Membrane bioreactor) یک فرایند پیشرفته و مورد اعتماد برای تصفیه فاضلاب است. اولین سری MBRها برای تصفیه فاضلاب شهری در اروپا در سال ۱۹۹۸ راه اندازی شد. MBR ترکیبی از یک سیستم رشد معلق لجن فعال و فرایند جداسازی غشایی می‌باشد. در بیوراکتور غشایی برای جداسازی پساب تصفیه شده، از میکروارگانیسم‌های داخل مایع مخلوط، از میکروفیلتراسیون یا اولترا فیلتراسیون استفاده می‌شود. این سطح از فیلتراسیون موجب می‌شود که پساب خروجی از واحد تصفیه، از کیفیت بسیار بالایی برخوردار باشد و نیازی به مراحل ته‌نشینی و عبور از فیلتر شنی نباشد (۳، ۲). مرحله

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
۲- دانشیار، مرکز تحقیقات محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسؤول)
Email: amin@hlth.mui.ac.ir
۳- استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.
۴- استاد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]
www.mui.ac.ir

ته‌نشینی فرایند لجن فعال متداول به وسیله مرحله فیلتراسیون غشا جایگزین می‌شود و به طور ویژه فضای مورد نیاز را کاهش می‌دهد و کیفیت پساب به دلیل حذف جامدات معلق و مواد کلوئیدی افزایش می‌یابد (۴).

در سال‌های اخیر فرایند بیوراکتور غشایی کشش جهانی گسترده و عامه‌پسندی برای تصفیه فاضلاب خانگی/شهری، فاضلاب صنعتی، آب آشامیدنی/سطحی، آبیاری و آب فرایندی به دست آورده است (۶، ۵). بیوراکتورهای غشایی به دو صورت غوطه‌ور و جانبی ساخته می‌شوند. در نوع غوطه‌ور، غشا درون بیوراکتور قرار دارد و در نوع جانبی غشا خارج از بیوراکتور قرار گرفته است. غشاهای غوطه‌ور هزینه پمپاژ، هزینه عملیاتی و تناوب شستشوی کمتر در مقایسه با نوع جانبی دارند. در مقابل، غشاهای جانبی هزینه هوادهی و سرمایه‌گذاری کمتری نسبت به غشاهای غوطه‌ور دارند (۷). حدود اطمینان به این فرایند و فناوری رو به افزایش است؛ چرا که تعداد واحدهای راه‌اندازی شده در دنیا افزایش پیدا کرده، امکان دریافت اطلاعات بهره‌برداری از منابع مختلف نظیر کتاب‌ها، سایت‌های اینترنتی و گروه‌های تخصصی فراهم شده است. به دلیل ارتقای قوانین و افزایش محدودیت برای تخلیه پساب‌ها در پهنه‌های آبی، گردانندگان تصفیه‌خانه‌ها مجبور هستند که به فکر ارتقای تصفیه‌خانه‌های خود با حداقل تغییرات باشند. در نتیجه به دلیل توانایی‌های MBR میزان استقبال از این فناوری به شدت در حال افزایش است (۸).

از تحقیقات انجام شده بر روی FS-MBR در سطح جهانی می‌توان به تحقیق Jin Kie Shim بر روی غلظت‌های بهره‌برداری و طراحی برای تصفیه فاضلاب با استفاده از بیوراکتور مستغرق از نوع Flat sheet اشاره نمود، که در زمان ماند هیدرولیکی ۱۶-۱۲ ساعت درصد حذف COD بالای ۹۸ درصد و نیتریفیکاسیون بالای ۹۵ درصد به دست آمد (۹). همچنین بررسی Grelot بر روی سیستم فیلتراسیون MBR با استفاده از Flat sheet جدید مورد ارزیابی قرار داد که راندمان حذف COD ۹۶/۶ درصد، نیتروژن کل ۵۴/۴ درصد و کلیفرم کل log ۷/۲ به دست آمد (۱). در ایران تنها بر روی غشای Hollow fiber پژوهش صورت گرفته، که می‌توان به ارزیابی راندمان بیوراکتور غشایی Hollow fiber برای تصفیه فاضلاب شهری توسط دکتر نقی‌زاده در مقیاس پایلوت اشاره کرد که راندمان حذف ترکیبات آلی و نیتروژن را در SRTهای مختلف (۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ روز) تحت فاضلاب شهری مصنوعی با جریان پیوسته تعیین نمود. میانگین حذف COD، نیتروژن کجلدال کل (TKN)، TN و TP به ترتیب ۹۹/۳ درصد، ۹۸/۱ درصد، ۸۵/۵ درصد و ۵۲ درصد بود. به علاوه غلظت‌های نیترات و نیتریت در مرحله آخر کاهش خوبی داشت و به ترتیب به ۵/۳ و ۰/۰۴۷ میلی‌گرم در لیتر رسید و به این ترتیب استفاده موفقیت‌آمیز این غشا را در تصفیه فاضلاب و بازیابی آب بیان می‌کند(۳).

این تحقیق برای اولین بار در ایران به وسیله غشای نوع صفحه‌ای (Flat sheet) در مقیاس پایلوت با هدف تصفیه فاضلاب شهری تصفیه‌خانه جنوب اصفهان انجام گرفت.

روش‌ها

این مطالعه از نوع مداخله‌ای بود که به مدت ۱۰۹ روز با غشای نوع Flat Sheet مورد بهره‌برداری قرار گرفت. فاضلاب ورودی به راکتور به وسیله پمپ از حوضچه ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب اصفهان به درون راکتور تزریق و بعد از هوادهی و فیلتراسیون توسط پمپ دیگر به سمت خروجی هدایت شد. ابعاد تانک هوادهی به ترتیب طول، عرض و ارتفاع ۱۳۰ × ۲۳ × ۶۵ سانتی‌متر مکعب و حجم مؤثر تانک هوادهی ۱۴۰ لیتر بود. در شکل ۱ شماتیک پایلوت مورداستفاده مشاهده می‌شود.

هوادهی توسط دیفیوزرهای تعبیه شده در قسمت تحتانی غشا صورت گرفت. هوادهی نقش تأمین اکسیژن، اختلاط و جلوگیری از گرفتگی غشا را به عهده داشت. نمونه‌ها از قسمت ورودی و خروجی راکتور به تعداد ۱۱۰ نمونه COD و ۷۸ نمونه BOD_5 گرفته شده، آزمایش‌های مذکور بر اساس کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب

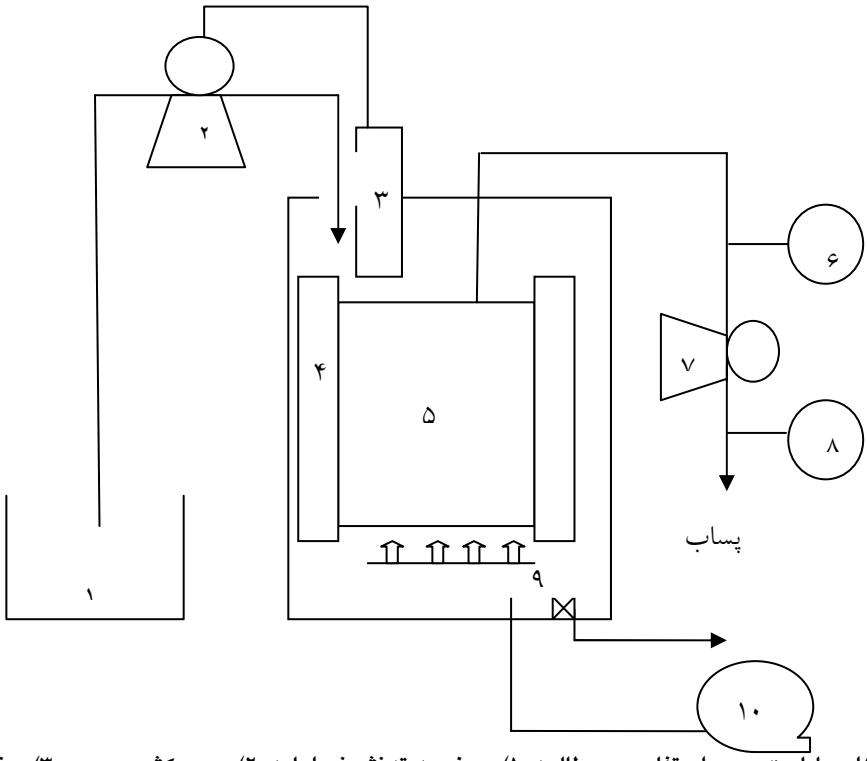
[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]

www.mui.ac.ir

(۲۰۰۵) و در آزمایشگاه تصفیه‌خانه جنوب اصفهان انجام شد. زمان ماند هیدرولیکی ۲۰ ساعت در نظر گرفته شد.

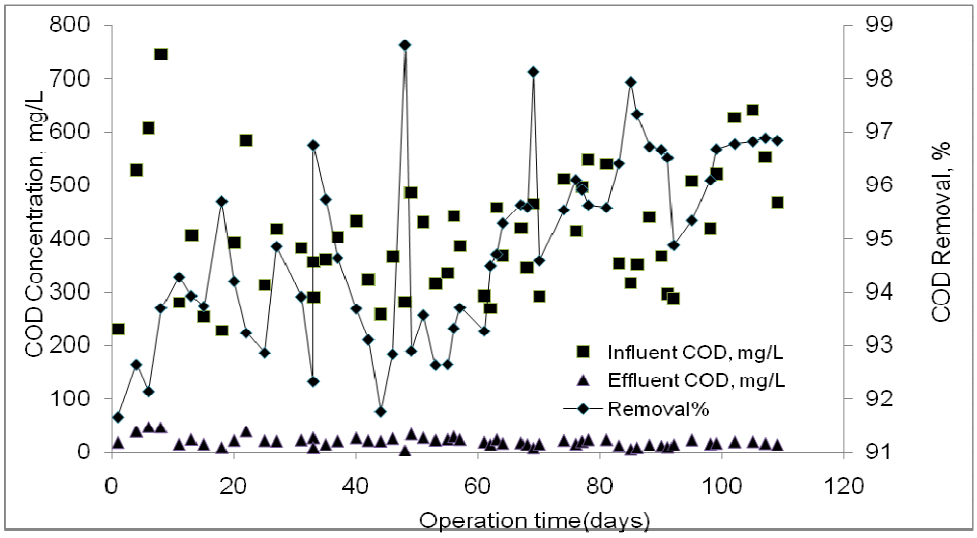
یافته‌ها

در این مطالعه راندمان حذف COD و BOD_5 بررسی شد که نتایج حاصل در نمودار ۱ و ۲ مشاهده می‌شود.

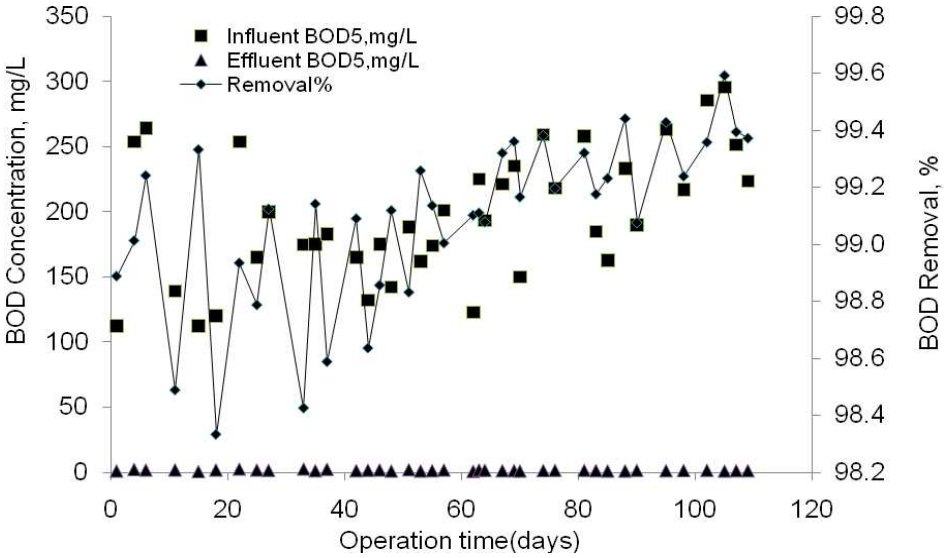


شکل ۱: شماتیک اجزای پایلوت مورد استفاده در مطالعه: ۱) حوضچه ته‌نشینی اولیه، ۲) پمپ مکش ورودی، ۳) سنسور قطع و وصل جریان ورودی به پایلوت، ۴) صفحه نگهدارنده غشا، ۵) غشای Flat Sheet، ۶) فشارسنج، ۷) پمپ مکش خروجی، ۸) فلومتر، ۹) شیر تخلیه لجن، ۱۰) پمپ دمنده هوا

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]
www.mui.ac.ir



نمودار ۱: غلظت و راندمان حذف COD در روزهای بهره‌برداری



نمودار ۲: تغییرات غلظت و راندمان حذف BOD_5 در روزهای بهره‌برداری بیوراکتور غشایی

بحث

طبق نمودار ۱ بیشترین راندمان حذف COD ۹۸/۶۳ درصد با ورودی ۲۸۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر و خروجی ۳/۸۴ میلی‌گرم بر لیتر در روز چهل و هشتم بهره‌برداری مشاهده گردید، که نشان می‌دهد در شرایط مناسب بیولوژیکی راندمان حذف COD توسط سیستم بسیار بالا است. همچنین کمترین میزان حذف COD ۹۱/۷۷ درصد با ورودی ۲۳۰/۷۷ میلی‌گرم بر لیتر و خروجی ۱۹/۲۳ میلی‌گرم بر لیتر در روزهای اول بهره‌برداری مشاهده گردید. با توجه به این که هنوز رشد بیومس در سیستم به حد کافی نرسیده است تا بتواند راندمان حذف بهتری داشته باشد، بنابراین در این مرحله، غشا نقش اساسی در حذف بار آلی ایفا نموده است.

طبق نمودار ۱ کمترین COD ورودی به سیستم ۲۲۸ میلی‌گرم بر لیتر با خروجی ۹/۷۸ میلی‌گرم بر لیتر و راندمان حذف ۹۵/۷ درصد مشاهده گردید. همچنین بیشترین COD ورودی به سیستم ۷۴۶/۳۸ میلی‌گرم بر لیتر با خروجی ۴۷

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]

www.mui.ac.ir

میلی‌گرم بر لیتر و راندمان حذف ۹۳/۷ درصد مشاهده گردید، که توانایی سیستم در تحمل شوک وارده به سیستم و راندمان مناسب حذف در این سیستم را نشان می‌دهد. متوسط راندمان حذف COD، ۹۴/۸۷ درصد به دست آمد. این یافته با ارزیابی سیستم FS-MBR توسط Grelot مطابقت دارد که راندمان حذف COD را ۹۶/۶ درصد نشان می‌دهد (۱). نمودار ۱ تغییرات زیادی را در سیستم نشان می‌دهد که علت آن نوسانات زیاد غلظت COD فاضلاب خام ورودی در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان بود. با وجود این، به دلیل شرایط بیولوژیکی پایدار در سیستم، خروجی سیستم از ثبات بالایی برخوردار است.

روند حذف COD نسبت به ابتدا روند رو به رشدی است که به دلیل نیاز به تطابق میکروارگانیسم‌ها با محیط و بهبود شرایط بیولوژیکی با گذشت زمان توجیه منطقی دارد.

طبق نمودار ۲ بیشترین راندمان حذف BOD_5، ۹۹/۵۹ درصد با ورودی ۲۹۵/۳ میلی‌گرم بر لیتر و خروجی ۱/۲ میلی‌گرم بر لیتر، مربوط به زمانی است که شرایط تصفیه بیولوژیکی سیستم مناسب است. کمترین راندمان حذف BOD_5، ۹۸/۳۳ درصد با ورودی ۱۲۰ میلی‌گرم بر لیتر و خروجی ۲ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده گردید. همچنین کمترین میزان BOD_5 ورودی ۱۱۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر با خروجی ۰/۷۵ میلی‌گرم بر لیتر و راندمان حذف ۹۹/۳ درصد در روزهای ابتدایی بهره‌برداری مشاهده شد. در این مرحله زمانی بار بیولوژیکی سیستم بسیار پایین است و تأثیر غشا در حذف BOD_5 بیشتر از تصفیه بیولوژیکی می‌باشد. متوسط راندمان حذف BOD_5، ۹۹/۱ درصد به دست آمد. این یافته‌ها با مطالعه Shim مطابقت دارد که خروجی BOD_5 کمتر از ۳ میلی‌گرم بر لیتر را گزارش کرده است (۹). در بررسی دیگری توسط Melin و همکاران راندمان‌های حذف BOD_5 بیش از ۹۷ درصد و برای COD بین ۹۸-۸۹ درصد گزارش شده است (۲).

یافته‌های این مطالعه توانایی بالای سیستم بیوراکتور غشایی در حذف بار آلودگی فاضلاب شهری به ویژه در تصفیه‌خانه جنوب اصفهان را نشان می‌دهد. آن چه در تصفیه توسط این سیستم مؤثر است، غشا و وضعیت بیولوژیکی سیستم به همراه راهبری بهینه می‌باشد. بنابراین با طراحی دقیق و راهبری مناسب، این سیستم در آینده می‌تواند به طور گسترده و با اهداف مشخص مانند بازیابی واستفاده مجدد آب مورد استفاده قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه طرح تحقیقاتی با پشتیبانی مالی شرکت آب و فاضلاب اصفهان می‌باشد. بدین وسیله از مساعدت ویژه معاونت محترم بهره‌برداری شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان جناب آقای مهندس مرتضوی و همچنین پرسنل محترم تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب اصفهان به خصوص مدیر تصفیه‌خانه، جناب آقای مهندس هراتیان تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Grelot A, Tazi-Pain A, Weinrich L, Lesjean B, Grasmick A. Evaluation of a novel flat sheet MBR filtration system. Desalination. 2009; 236(1-3): 111-9.
2. Melin T, Jefferson B, Bixio D, Thoeye C, De Wilde W, De Koning J, et al. Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse. Desalination. 2006; 187(1-3): 271-82.
3. Naghizadeh A, A.H.Mahvi, Vaezi F, Naddafi K. Evaluation of hollow fiber membrane bioreactor efficiency for municipal wastewater treatment. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering. 2008; 5(4): 257-68.
4. Germain E, Nelles F, Drews A, Pearce P, Kraume M, Reid E, et al. Biomass effects on oxygen transfer in membrane bioreactors. Water Res. 2007; 41(5): 1038-44.
5. Achilli A, Cath TY, Marchand EA, Childress AE. The forward osmosis membrane bioreactor: A low fouling alternative to MBR processes. Desalination. 2009; 239(1-3): 10-21.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]

www.mui.ac.ir

6. Wang Z, Wu Z, Mai S, Yang C, Wang X, An Y, et al. Research and applications of membrane bioreactors in China: Progress and prospect. Sep Purif Technol. 2008; 62(2): 249-63.
7. Till S, Mallia H. Membrane Bioreactors: Wastewater Treatment Applications to Achieve High Quality Effluent. 64th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference; Bendigo, Australia; 2001.
8. Judd S, Judd C. The MBR book: principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment. Oxford: Elsevier; 2006.
9. Shim JK, Yoo I-K, Lee YM. Design and operation considerations for wastewater treatment using a flat submerged membrane bioreactor. Process Biochem. 2002; 38(2): 279-85.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]
www.mui.ac.ir

Survey of using flat sheet membrane bioreactor (FS-MBR) for biological treatment of municipal wastewater in Isfahan south wastewater treatment plant in pilot scale

Somayeh Fazeli[1], Mohammad Mehdi Amin[2], Amir Hesam Hassani[3], Ali Torabian[4]

Abstract

Background: The purpose of this study was to investigate the efficiency of flat sheet membrane bioreactor (FS-MBR) in BOD5 and COD removal of Isfahan south municipal wastewater treatment plant.

Methods: In this study a submerged FS-MBR, with 140 liters volume was fed using microfiltration membrane (MF) during 109 days and hydraulic retention time of 20 hours.

Findings: The MBR application in MLSS concentration of 7800 mg/L achieved an average efficiency removal of 95% and 99 % in COD and BOD5, respectively.

Conclusion: It is concluded that FS-MBR could be used in the large scales of municipal wastewater treatment plants due to the removal effluent high quality and the removal of the COD, BOD5 in accordance with effluent discharge standards.

Key words: Flat Sheet, Membrane Bioreactor, Microfiltration, Municipal Wastewater, Submerged Membrane

1- MSc of Environmental Engineering, School of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University of Tehran, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Environment Research Center, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran. (Corresponding Author)
Email: amin@hlth.mui.ac.ir
3- Assistant Professor, School of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University of Tehran, Tehran, Iran.
4- Professor, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran.

[Downloaded from hsr.mui.ac.ir on 2026-02-04]

www.mui.ac.ir