



سمینار کارشناسی ارشد مهندسی شیمی گرایش جداسازی

بررسی فرآیندهای جداسازی پساب‌های آلی با راکتور غشایی سرامیکی فوتوکاتالیستی

اساتید راهنما:

دکترسید نظام الدین اشرفی زاده

دکتر زهرا صادقیان

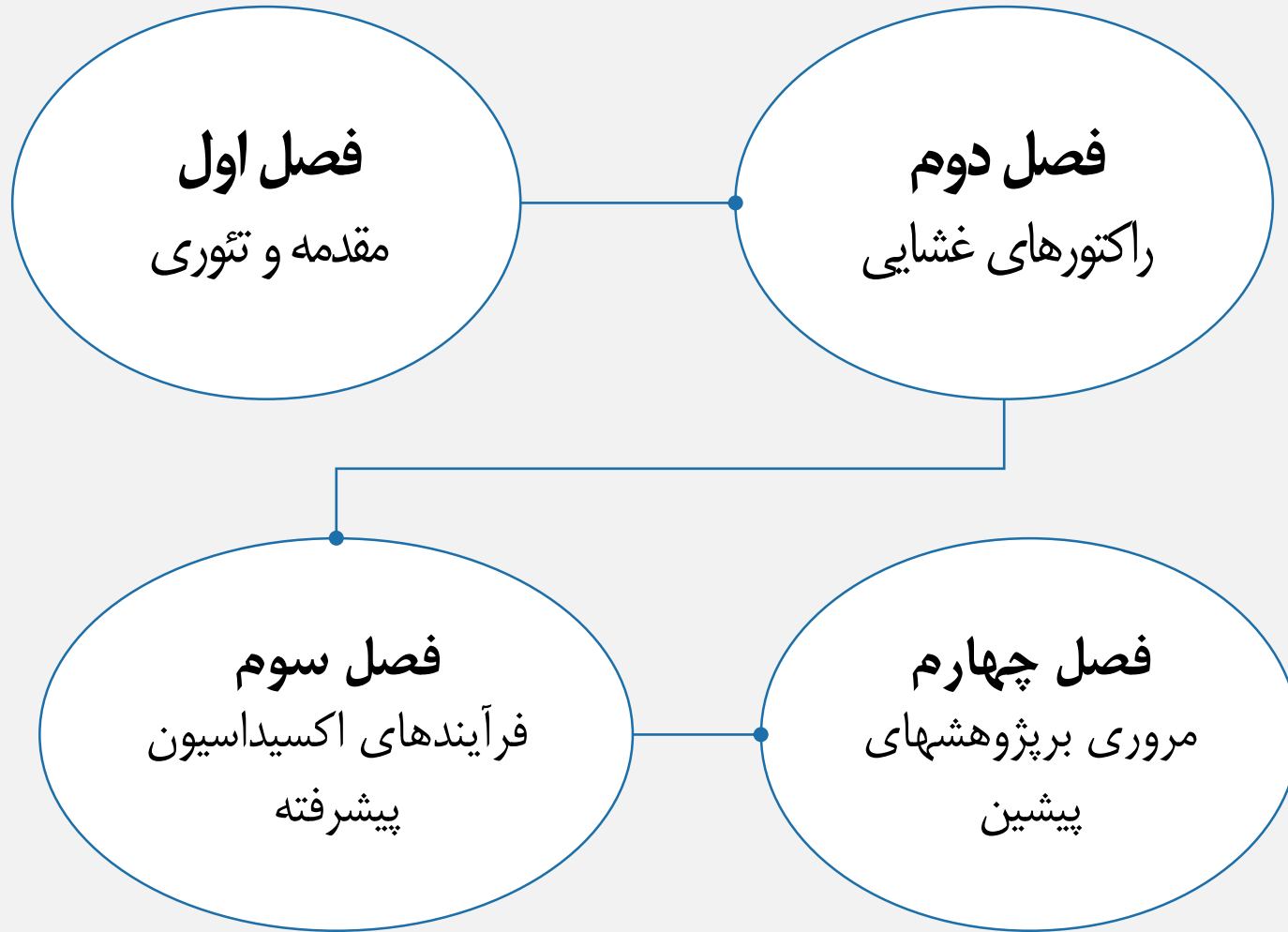
نگارنده:

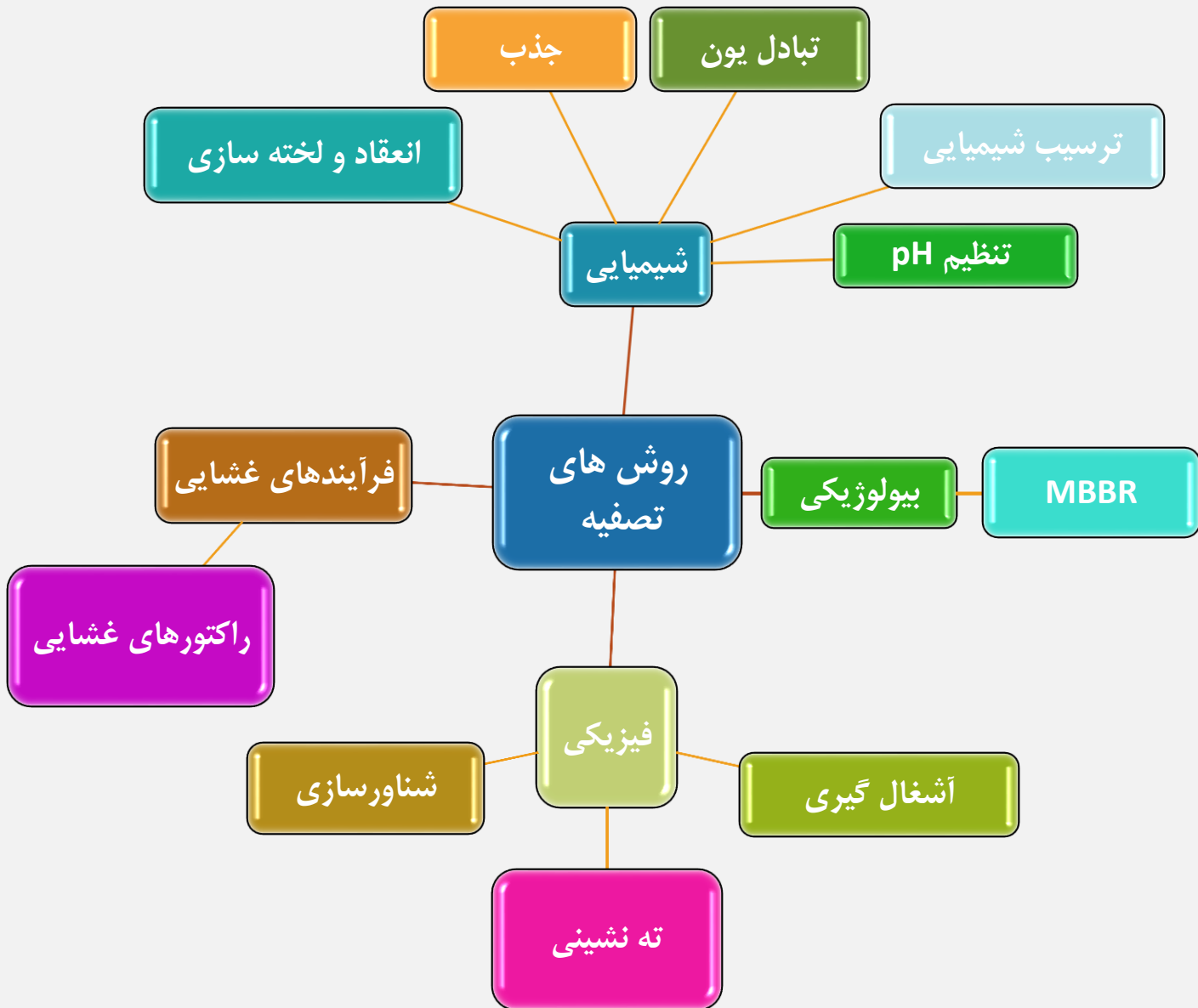
صبا محمدپور صحرایی

مهرماه ۱۳۹۹

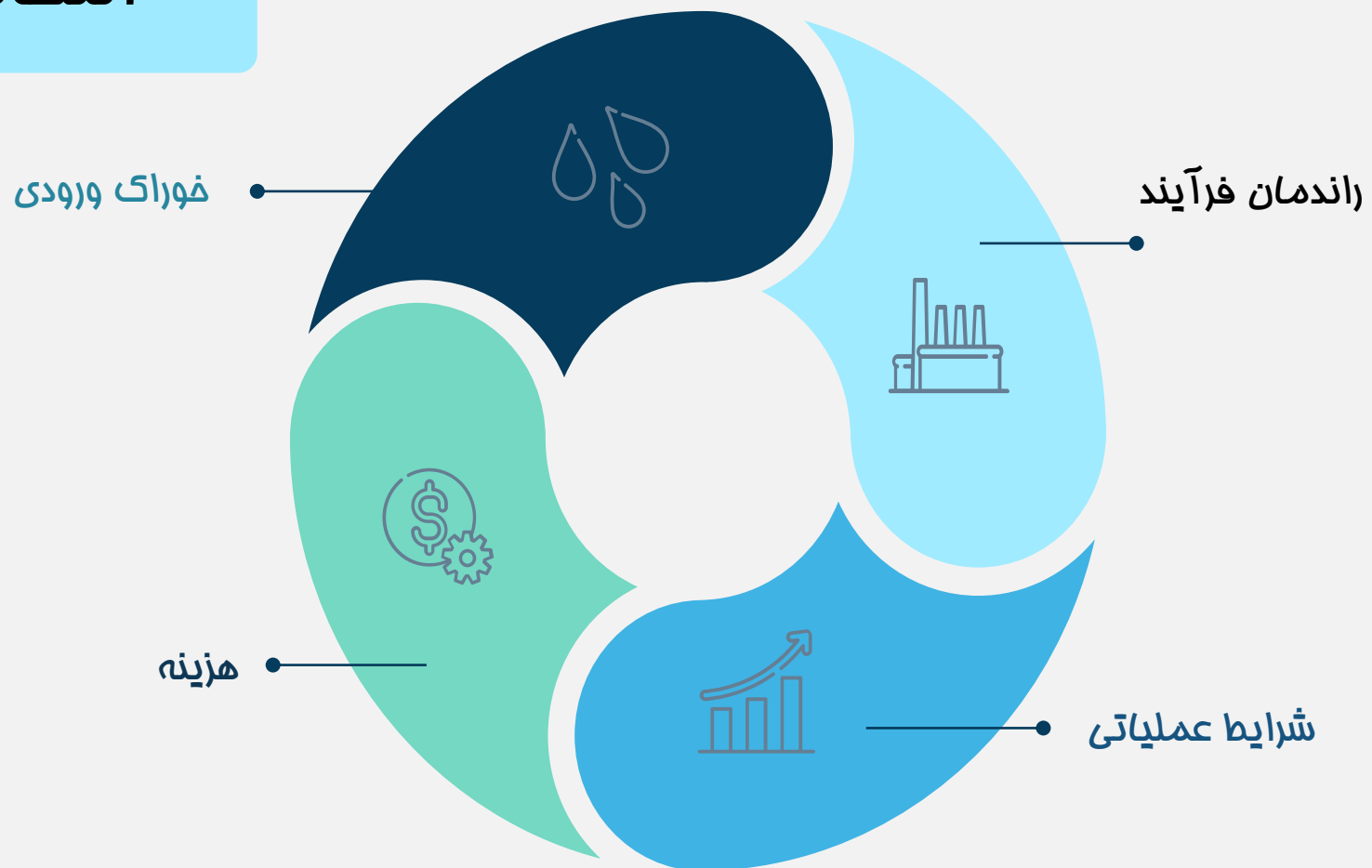
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

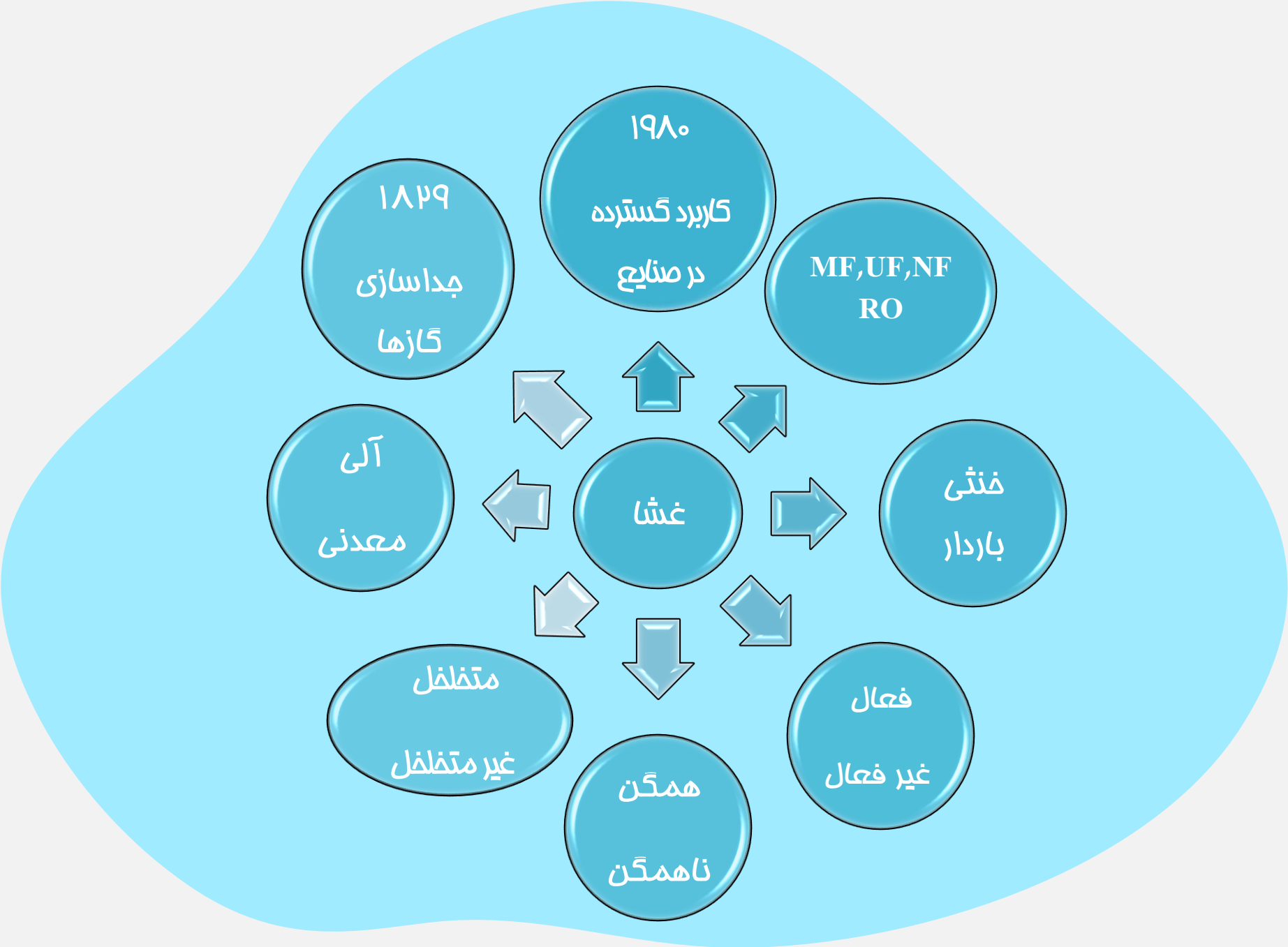
فهرست مطالب



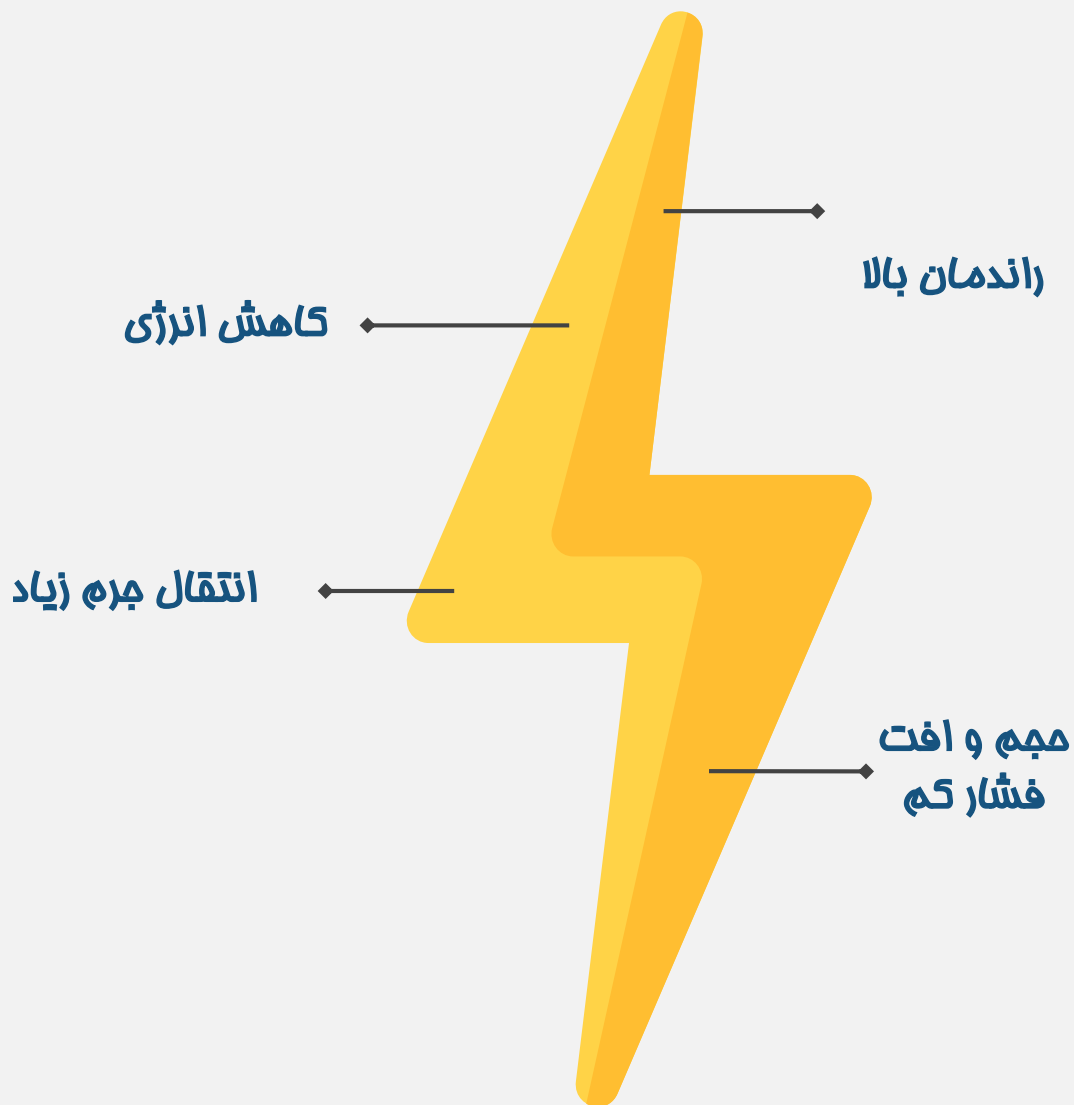


انتخاب نوع جداسازی





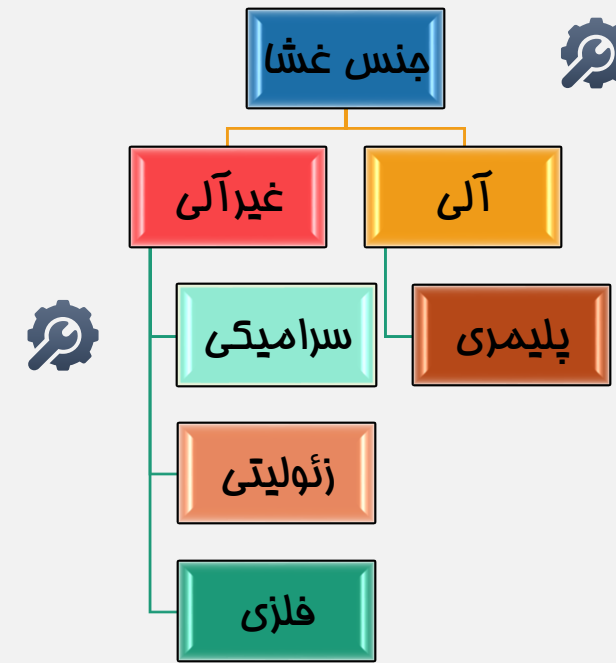
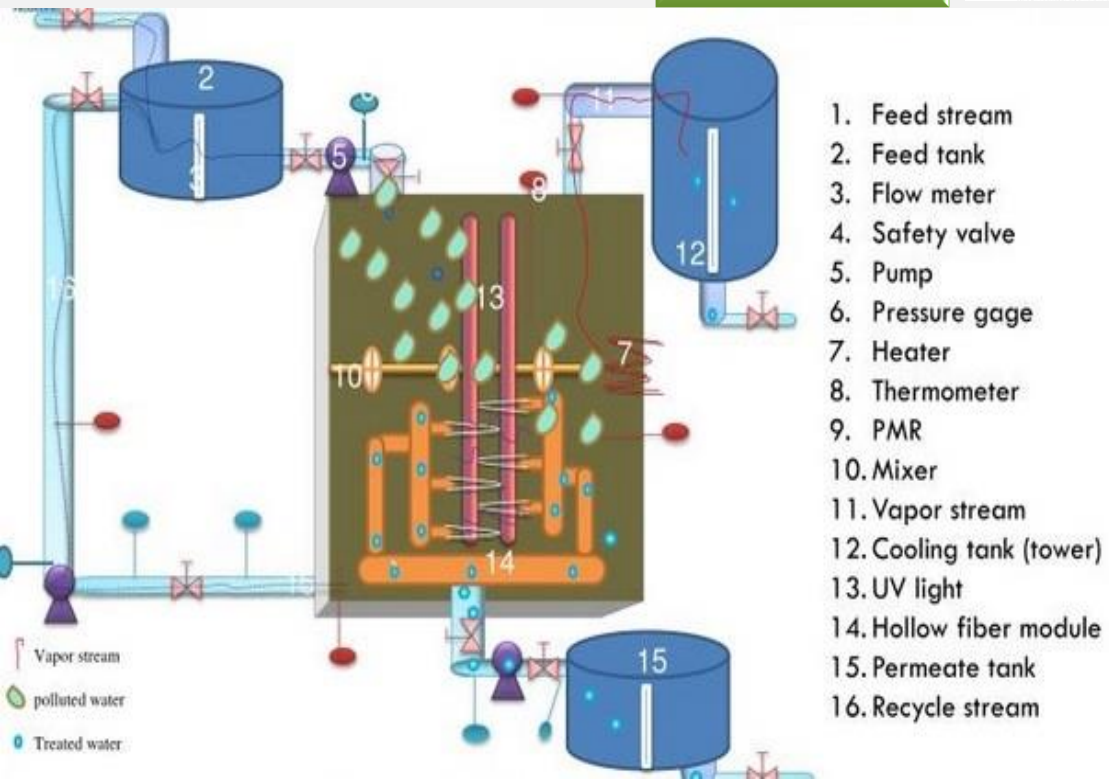
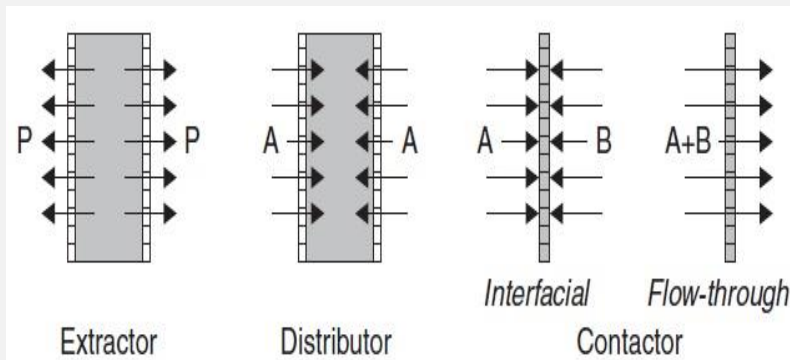
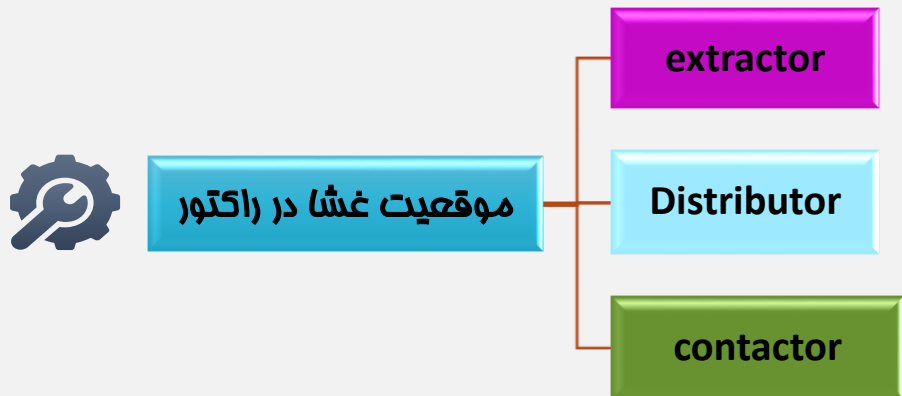
مزیت فرآیند تصفیه با غشای



راکتور غشایی

انجام همزمان جداسازی + واکنش شیمیایی ← افزایش میزان تبدیل

عمده کاربرد در تجزیه، هیدروژن زدایی، استری شدن و تصفیه آب



غشای سرامیکی

آلومینا (Al_2O_3)، تیتانیا (TiO_2)، زیرکونیا (ZrO_2)، سیلیس (SiO_2) یا ترکیبی از اکسیدهای فلزی



مزیت

پایداری حرارتی و شیمیایی، آبدوستی، کاربرد در دمای بالا

معایب

شکندگی و هزینه ی ساخت بالا

غشای پلیمری

پلی سولفون، پلی اترسولفون، پلی پروپیلن



مزیت

فرآیندپذیری بهتر و هزینه ی پایین تر

معایب

آبگریزی و در نتیجه ی آن گرفتگی و نیاز به اصلاح سطحی یا امیای غشای



✓ رفع معایب غشاهای با ساخت غشای هیبریدی ✓



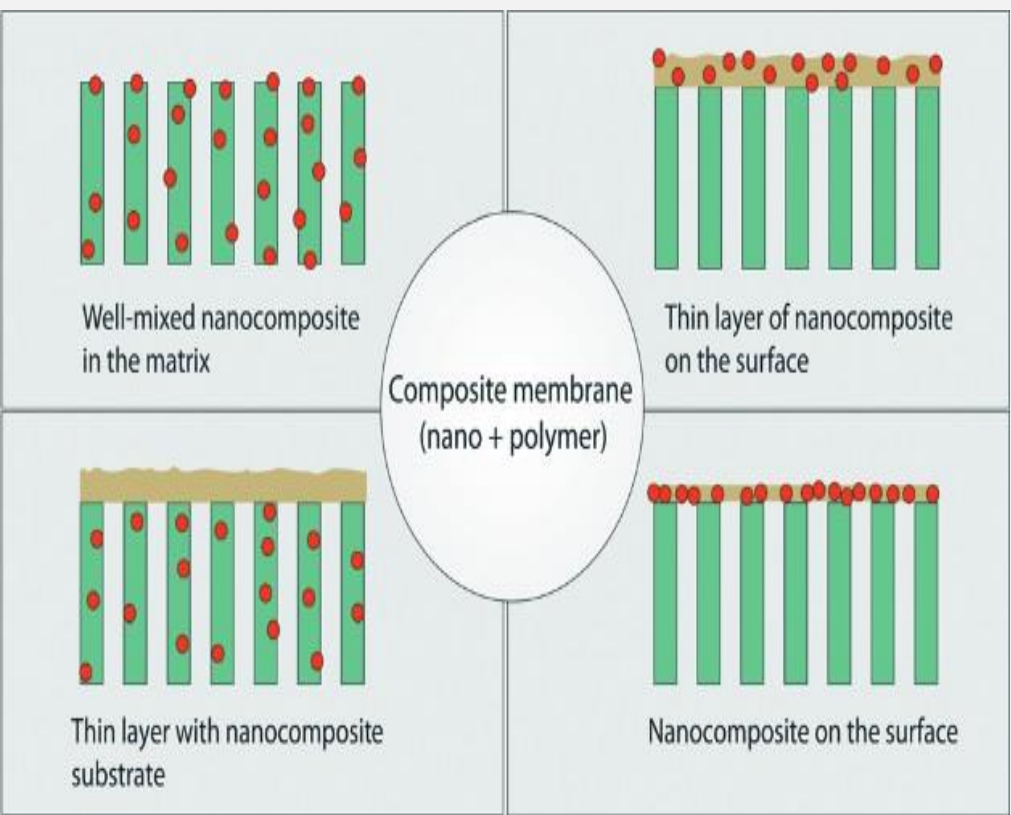
افزودن نانوذرات اکسید فلزی به غشاهای پلیمری



بهبود خواص آبدوستی و پایداری حرارتی و کاهش گرفتگی و افزایش شار جریان نفوذی

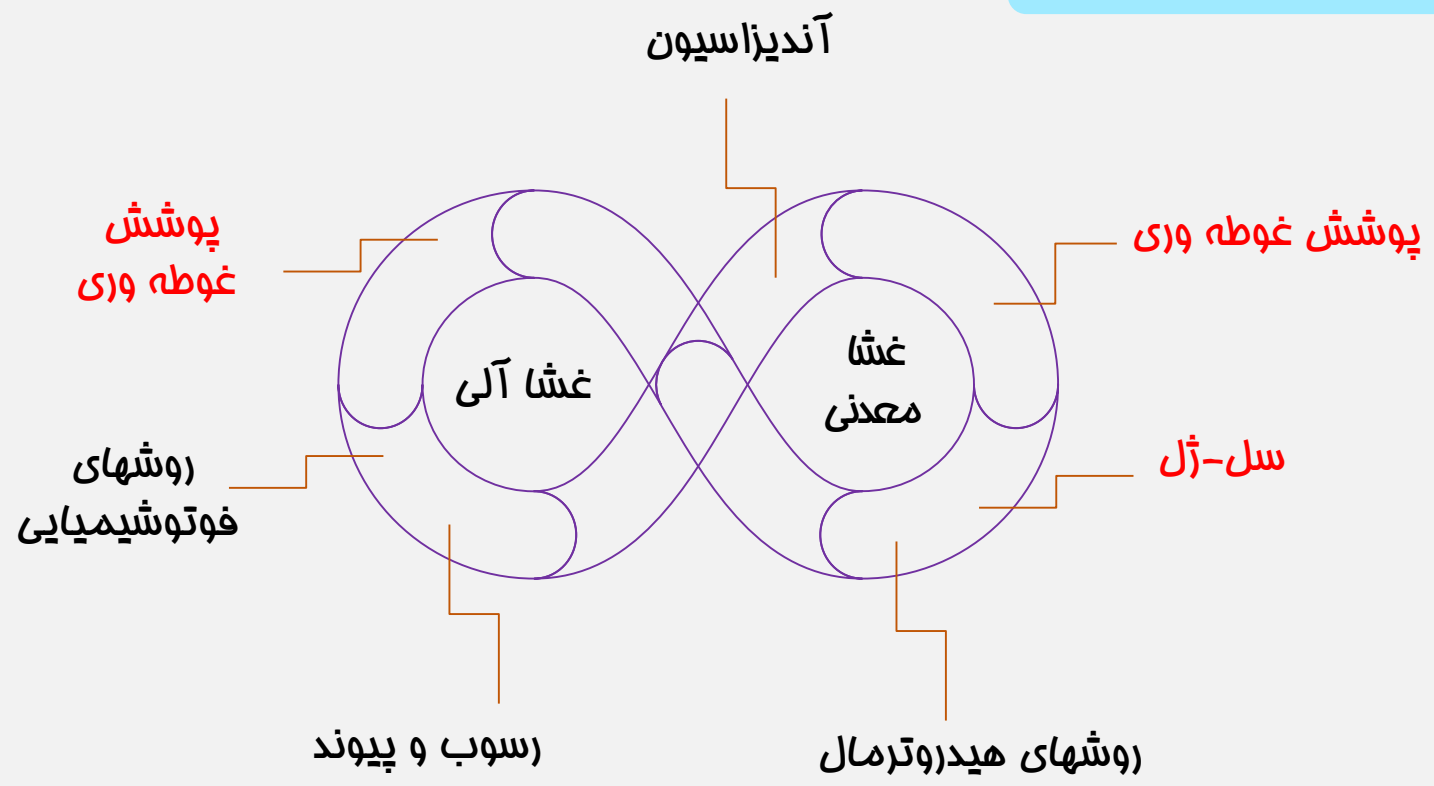


ساختارهای غشاهای هیبریدی آلی-غیرآلی



ذرات آلی مناطق **سبز**، زنجیره و ذرات **قرمز** رنگ ذرات غیرآلی

سنتز غشا



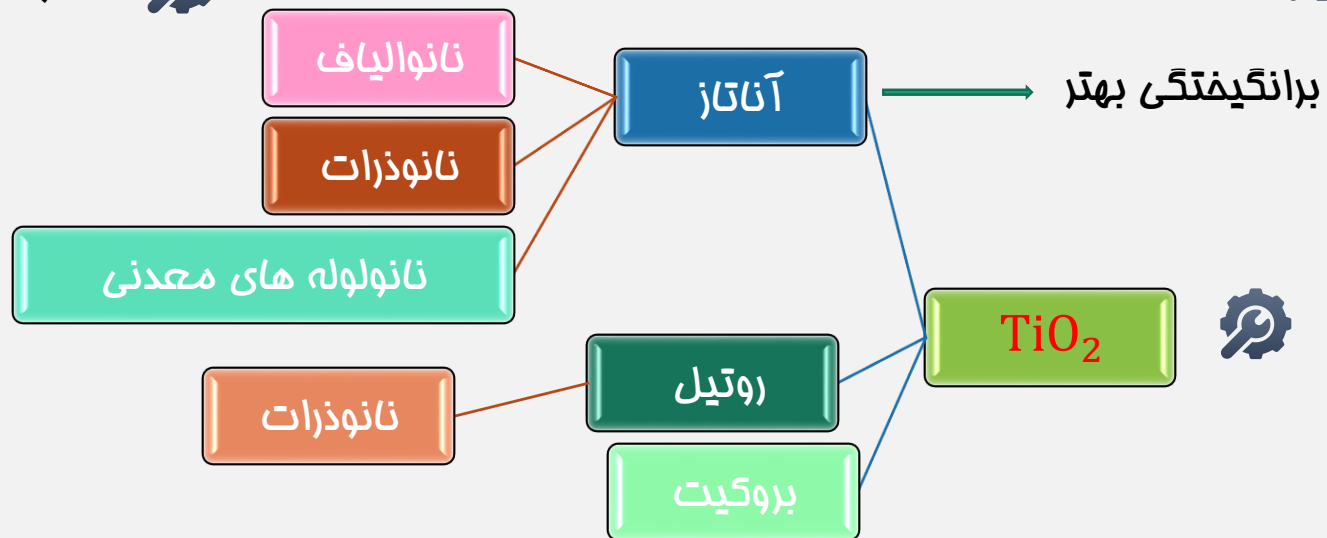
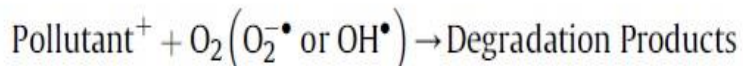
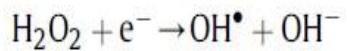
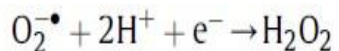
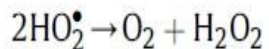
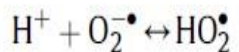
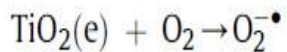
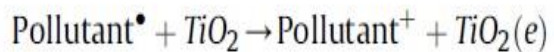
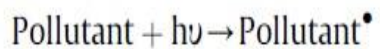
راکتور غشایی فوتوکاتالیستی

راکتور غشایی + فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته

پارامتر هائز اهمیت : نرخ تفریب آلاینده و جریان نفوذی

اکسیدهای فلزی نیمه هادی CdS , WO₃, Fe₂O₃, **TiO₂**, ZnO فشار محور: MF -UF -NF

مکانیزم مذف آلاینده ها در راکتور غشایی فوتوکاتالیستی



راکتور غشایی فوتوکاتالیستی

راکتور با سوسپانسیون فوتوکاتالیست در محلول خوراکی

راکتور با فوتوکاتالیست ساکن در یا روی غشا

راکتور غشایی با سوسپانسیون فوتوکاتالیست در محلول خوراکی

تابش بر فوتوراکتور

تابش بر ماژول غشایی

تابش بر تانک خوراکی

معایب

هزینه ی
عملیاتی بالا

رسوب غشایی

کیفیت پایین
جریان نفوذ

مزایا

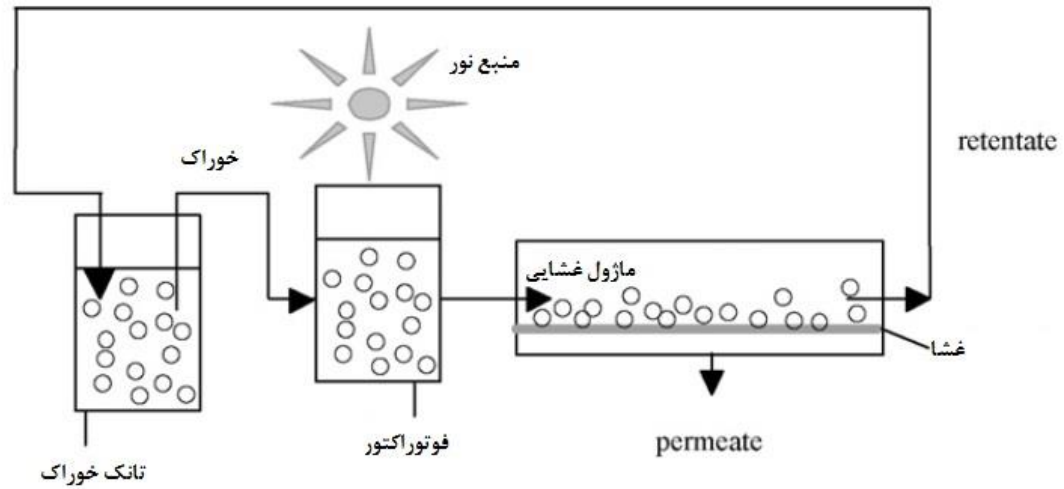
کارایی بالای
فوتوکاتالیست

تنظیم راحت

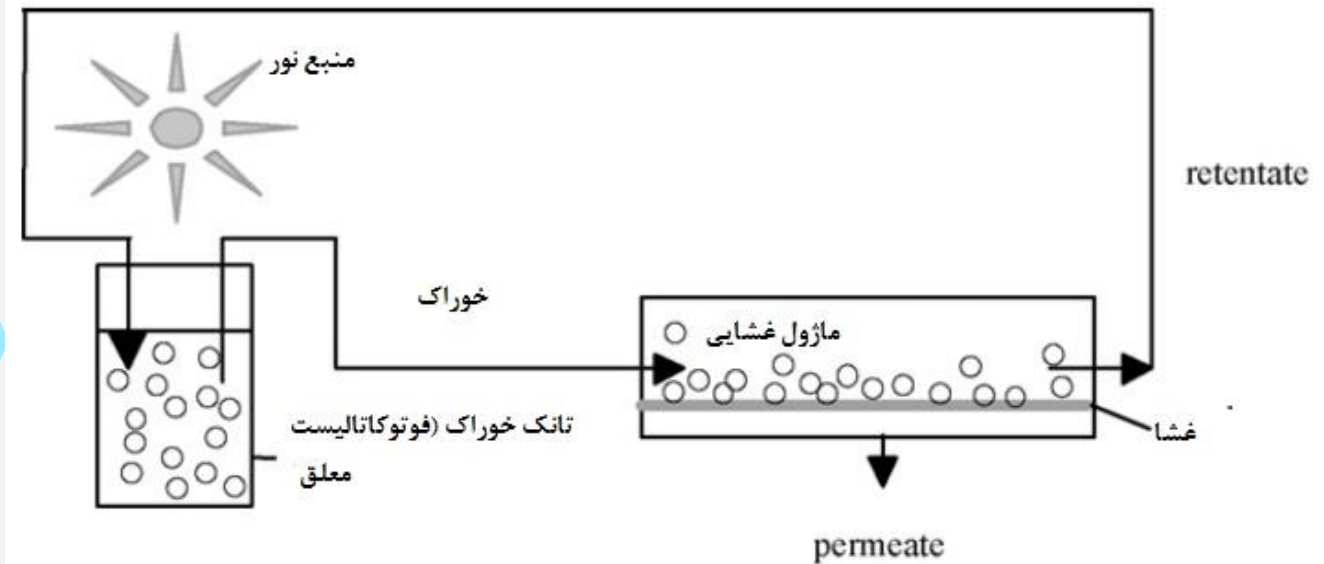
جلوگیری از
آسیب به غشا



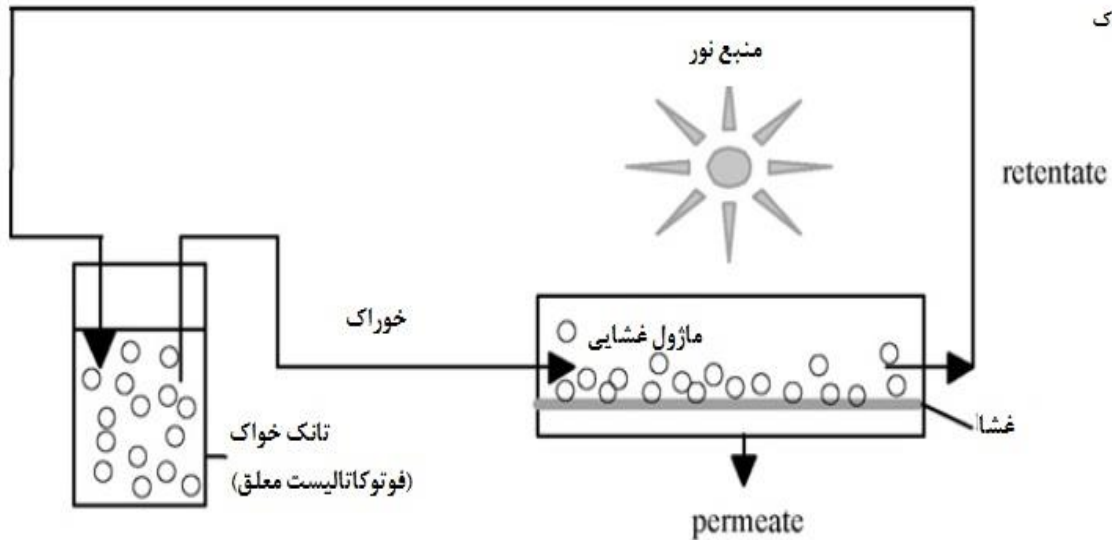
تابش بر فوتوراكتور



تابش بر ماژول غشایی

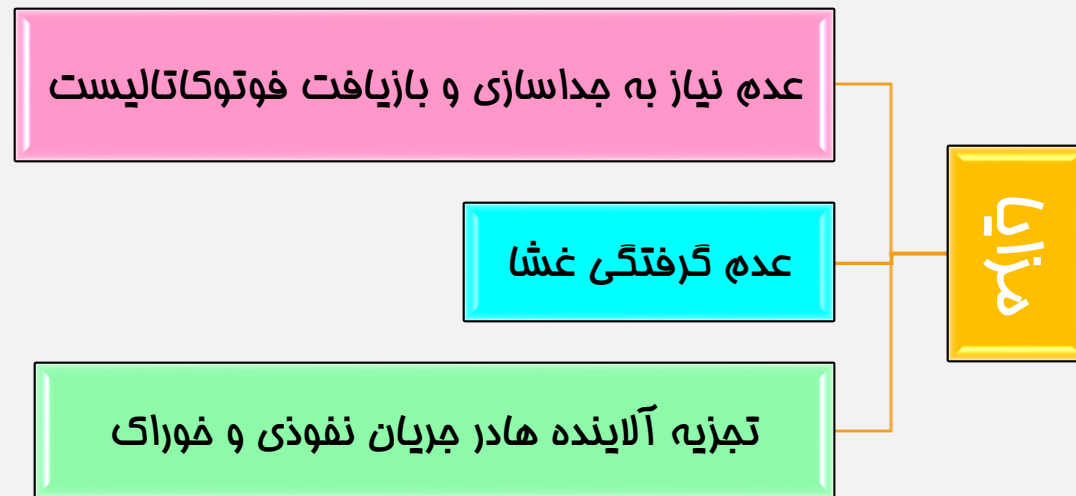
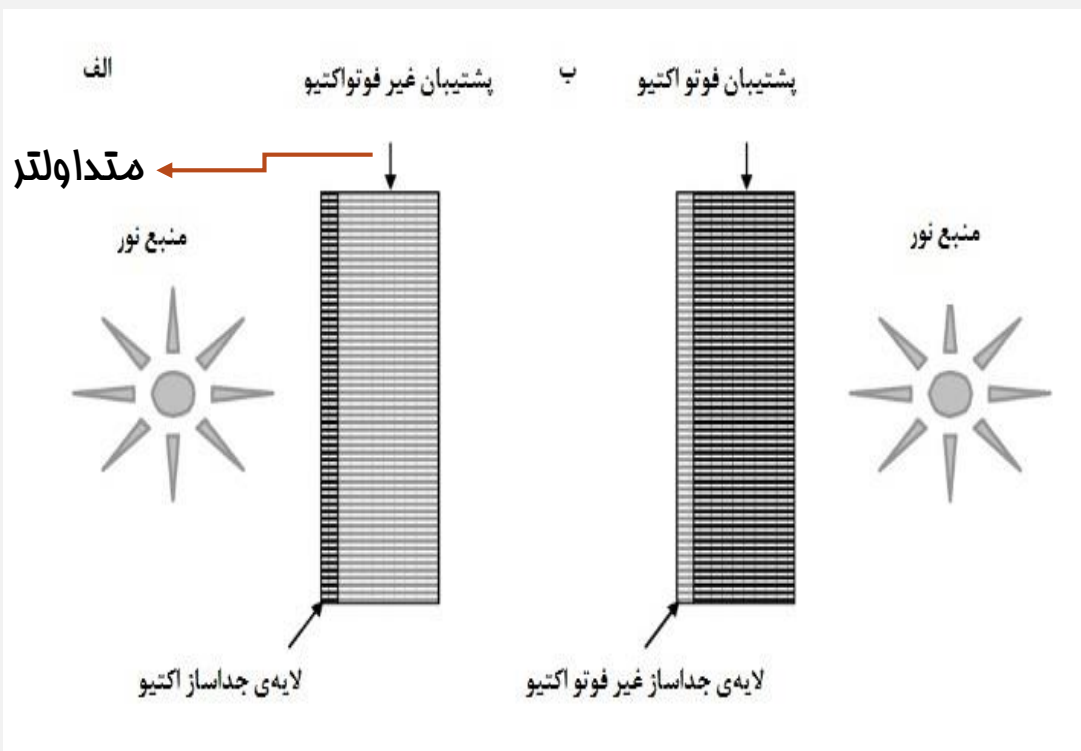
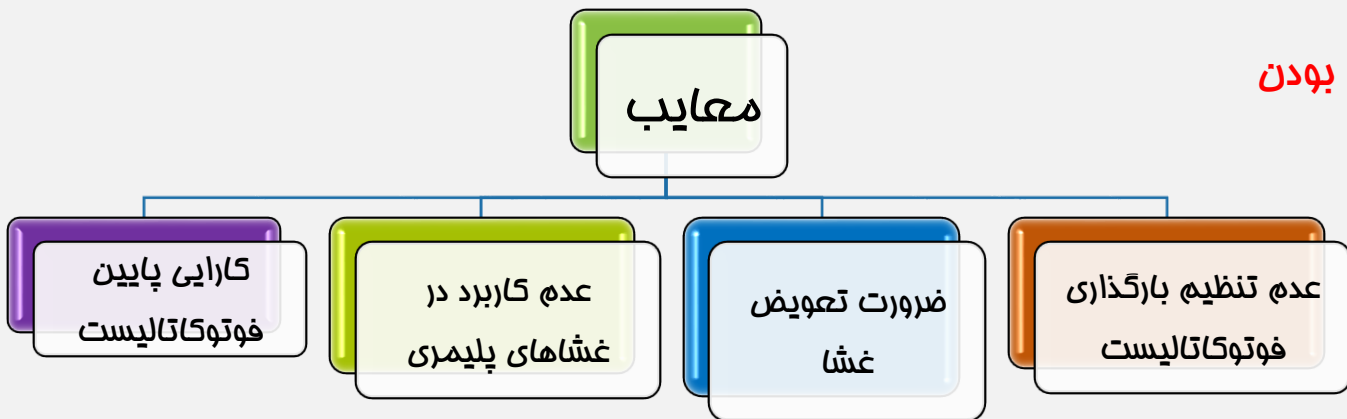


تابش بر تانک خوراک



راکتور غشایی با فوتوکاتالیست روی غشا یا غشای کاتالیستی

ضرورت توجه به جنس غشا به علت در معرض نور بودن



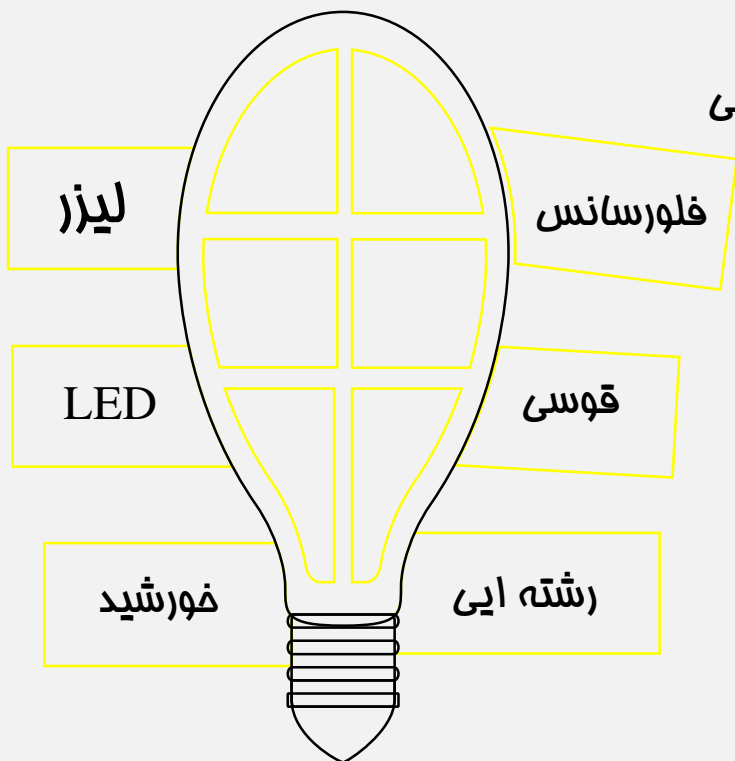
فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته

مجموعه‌ای از فرآیندها با هدف تولید رادیکال هیدروکسیل

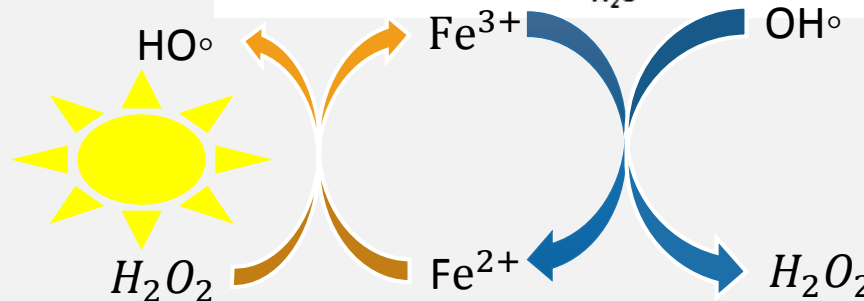
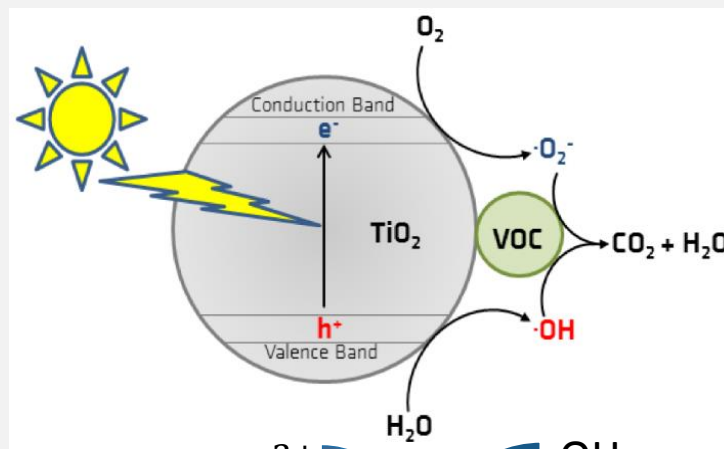
سرعت بالا، غیرانتخابی بودن نوع آلاینده، کاهش برقی از هزینه‌های عملیاتی، عملکرد در دما و فشار محیط

محدودیت کاربرد به علت تولید محصول جانبی فطرناک، انرژی زیاد و رسوب گذاری

در اثر تخریب کامل آلاینده تولید آب و کربن دی اکسید و در صورت تخریب ناقص تولید ترکیبات سمی



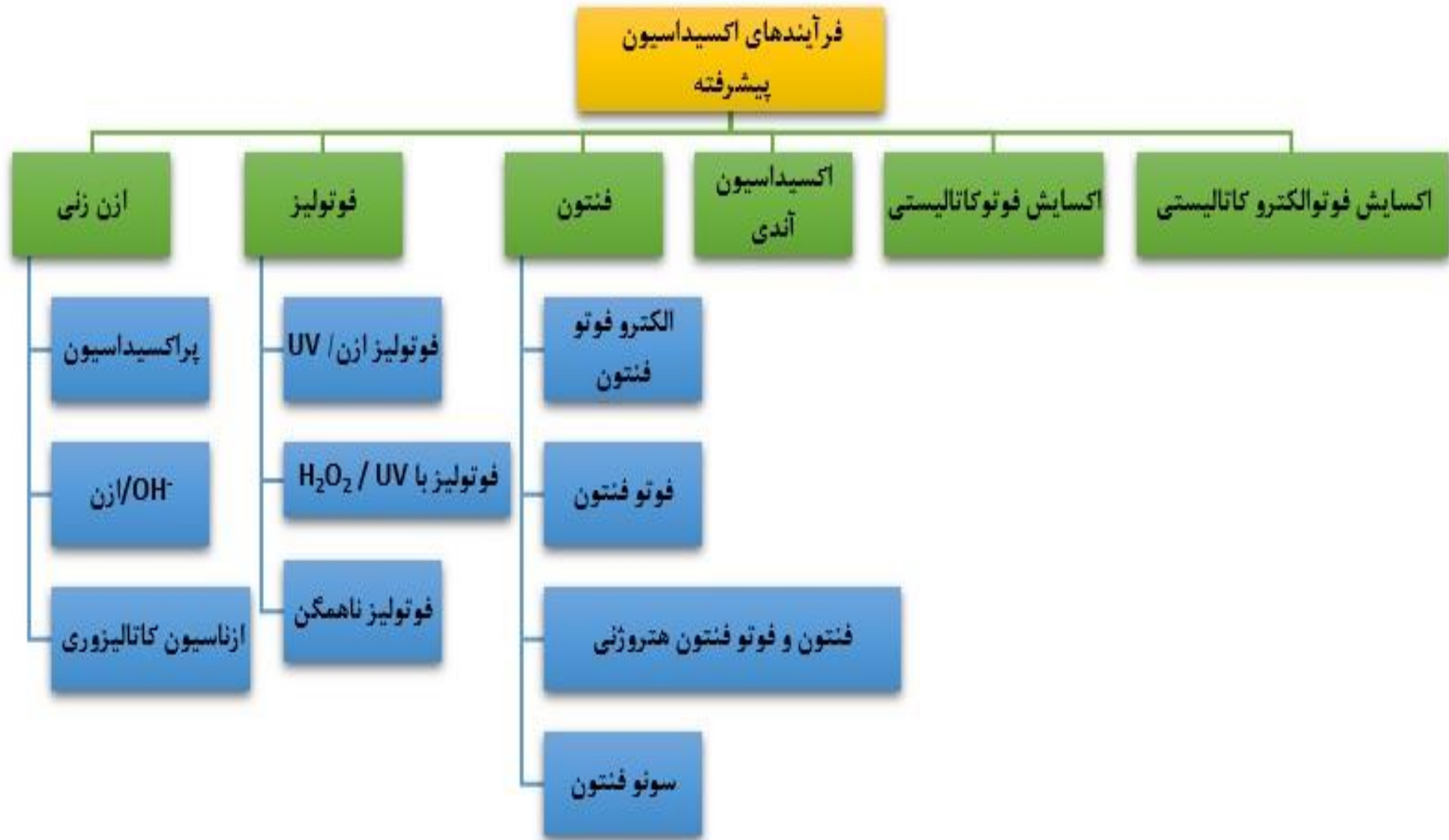
منابع اصلی تابش



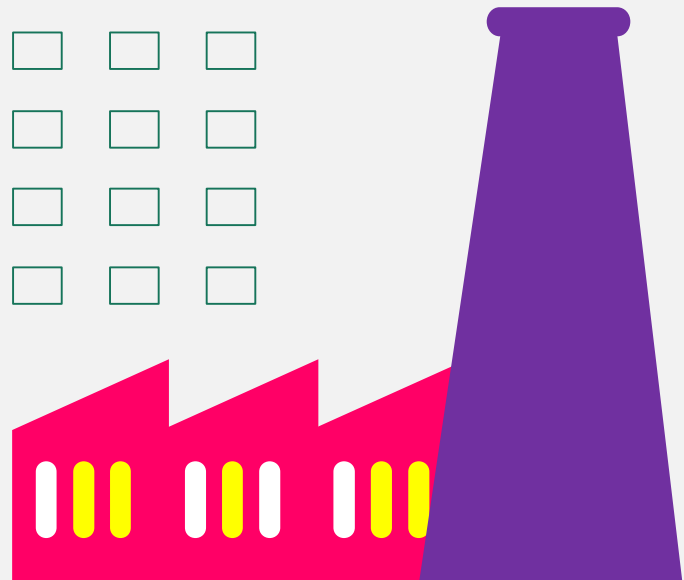
فوتولیز ناهمگن

فوتوفنتون

فرآیندهای متداوالترا



پارامترهای موثر در فرآیند تصفیه



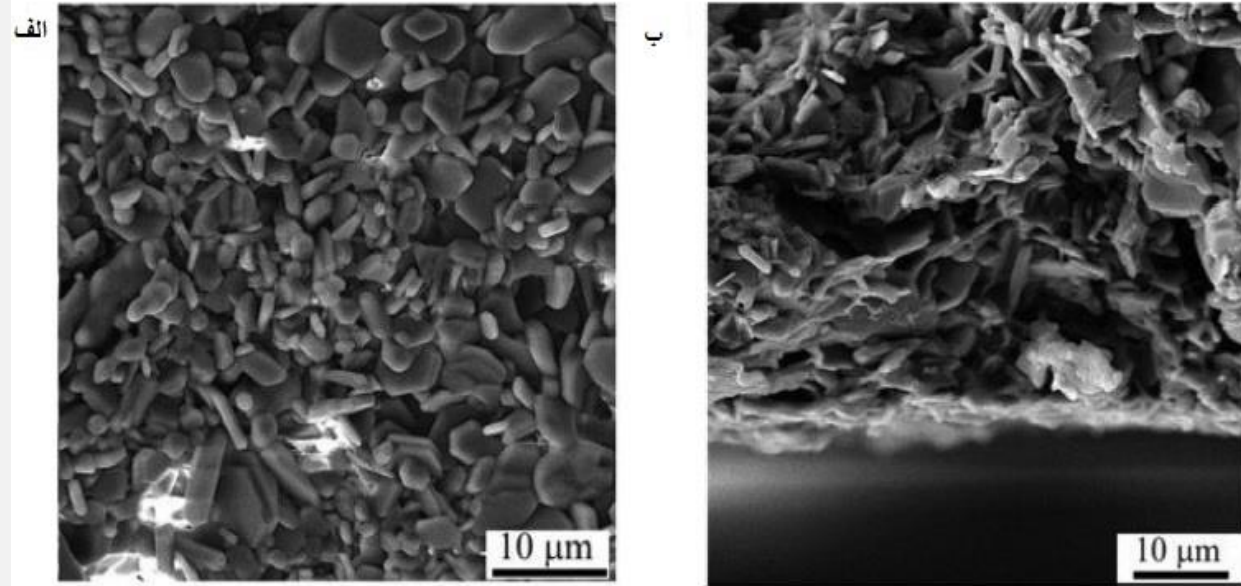
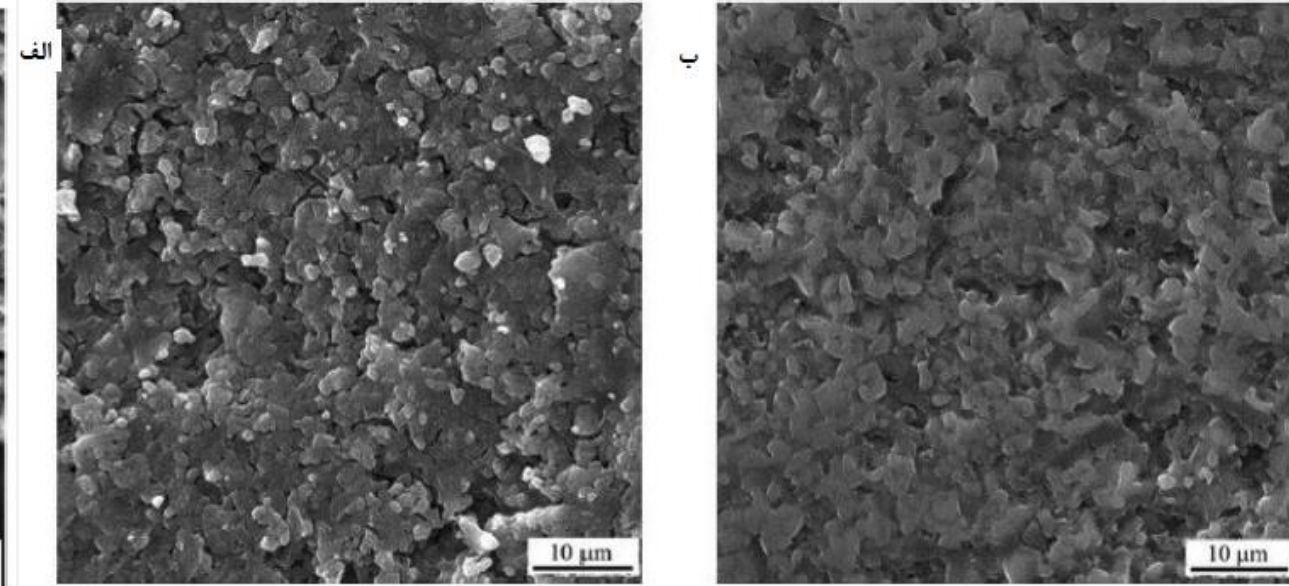


انواع رسوب

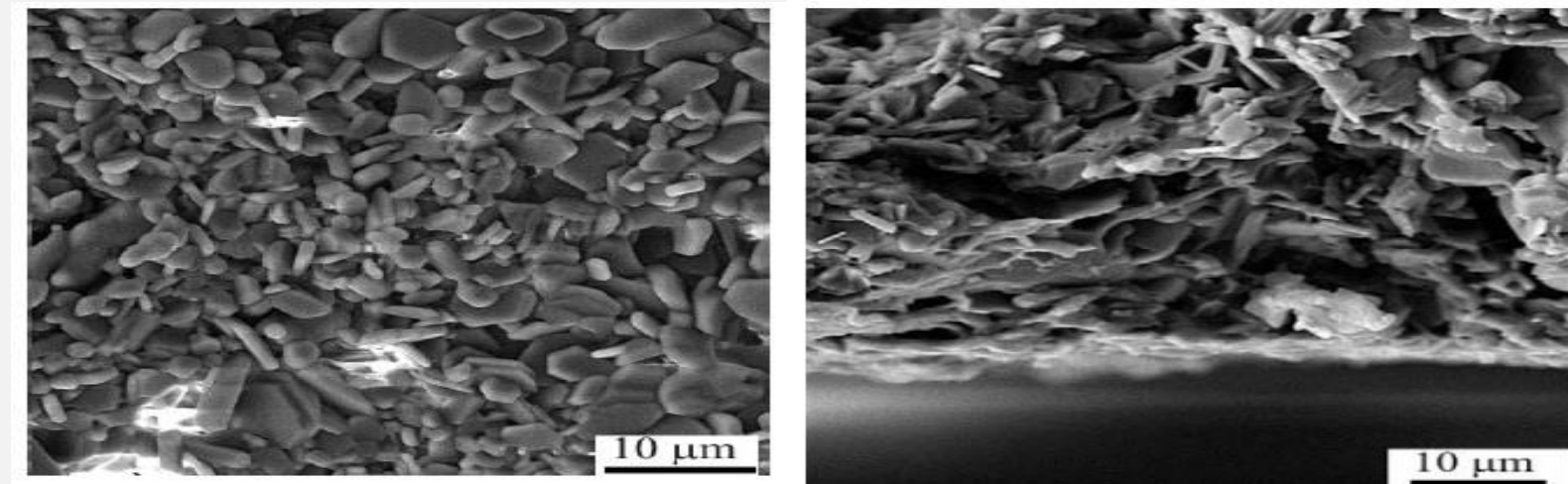


پارامتر	فرآیند غشایی	اثر
TMP	MF, UF, NF	در TMP بالا، وجود ذرات TiO_2 منجر به رسوب قابل توجه در غشاها و کاهش شار نفوذ می‌شود.
فشار	MF, UF	ذرات TiO_2 رسوب قابل توجهی ایجاد می‌کند.
CFV	MF, UF, NF	ایجاد جریان متقاطع در سرعت جریان بالا مانع تشکیل رسوب می‌شود.
هوادهی	MF, UF	هوادهی عملکرد فرآیند را بهبود می‌بخشد. با این حال، در سرعت هوادهی بالا، حباب ممکن است انتقال نور UV را ضعیف کند.
ذرات فوتوکاتالیست	MF, UF, NF	ذرات کاتالیزور با اندازه بزرگتر رسوب کمتری دارند.
غلظت فوتوکاتالیست	MF, UF, NF	افزایش غلظت فوتوکاتالیست اغلب باعث کاهش شار نفوذ و افزایش ضخامت لایه‌ی رسوب روی غشا می‌شود.
pH	-	در $pH = 6/8$ رسوب غشا اغلب کمتر است.

(Golshenas ,2020)

تصویر SEM غشا $\gamma - Al_2O_3$ تصویر SEM لایه TiO_2

(Sadeghian,2010)

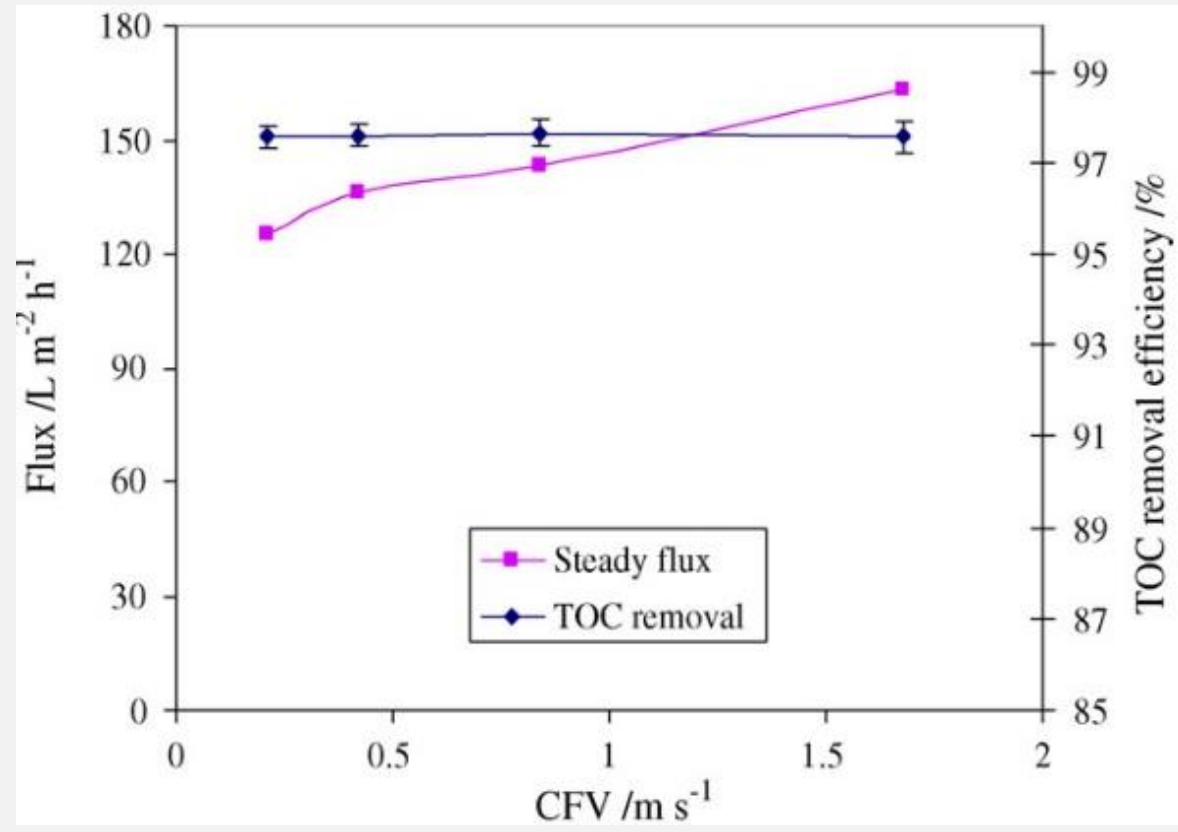
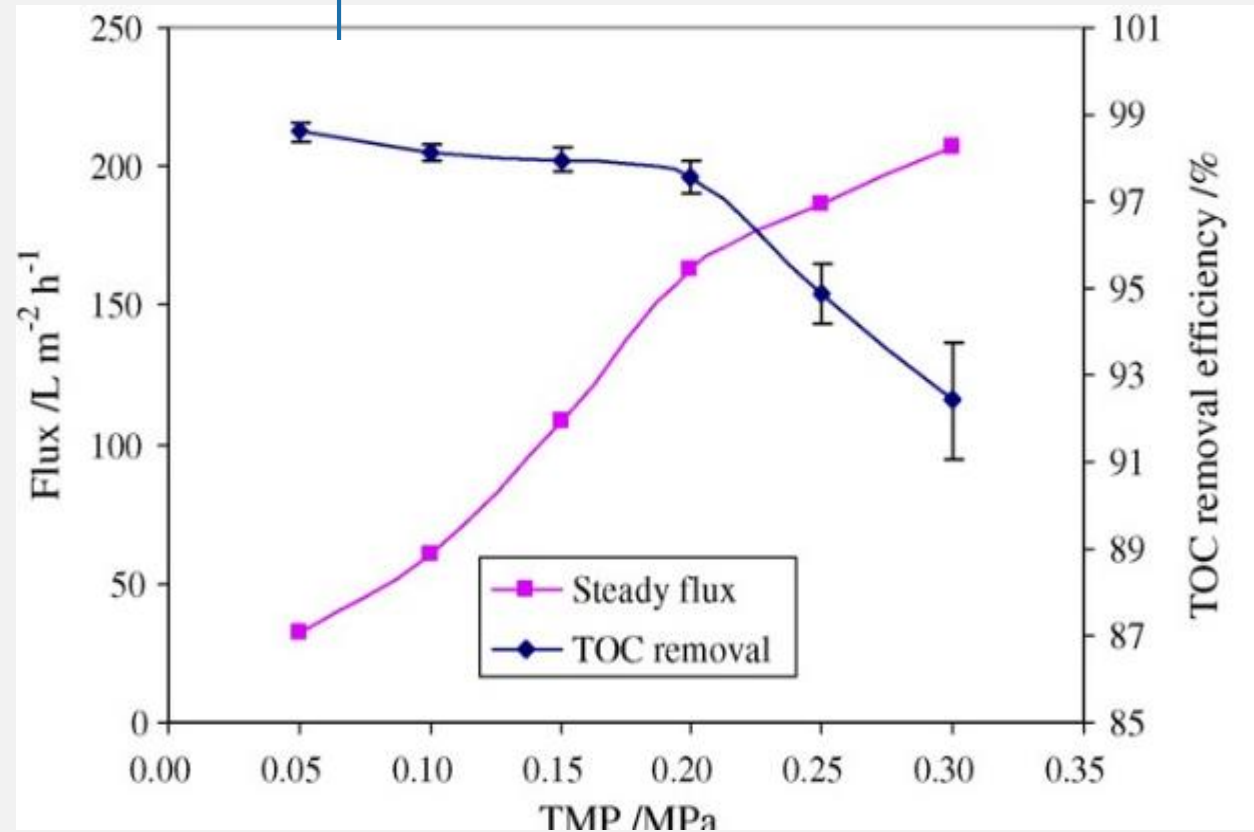
تصویر SEM غشا $\gamma - Al_2O_3$

نسبت به این تغییرات مساس تر

وانگ و همکاران (۲۰۰۷) ← میکروفیلتراسیون جریان متقاطع فاضلاب (روغنی) ← غشا $\alpha - Al_2O_3$

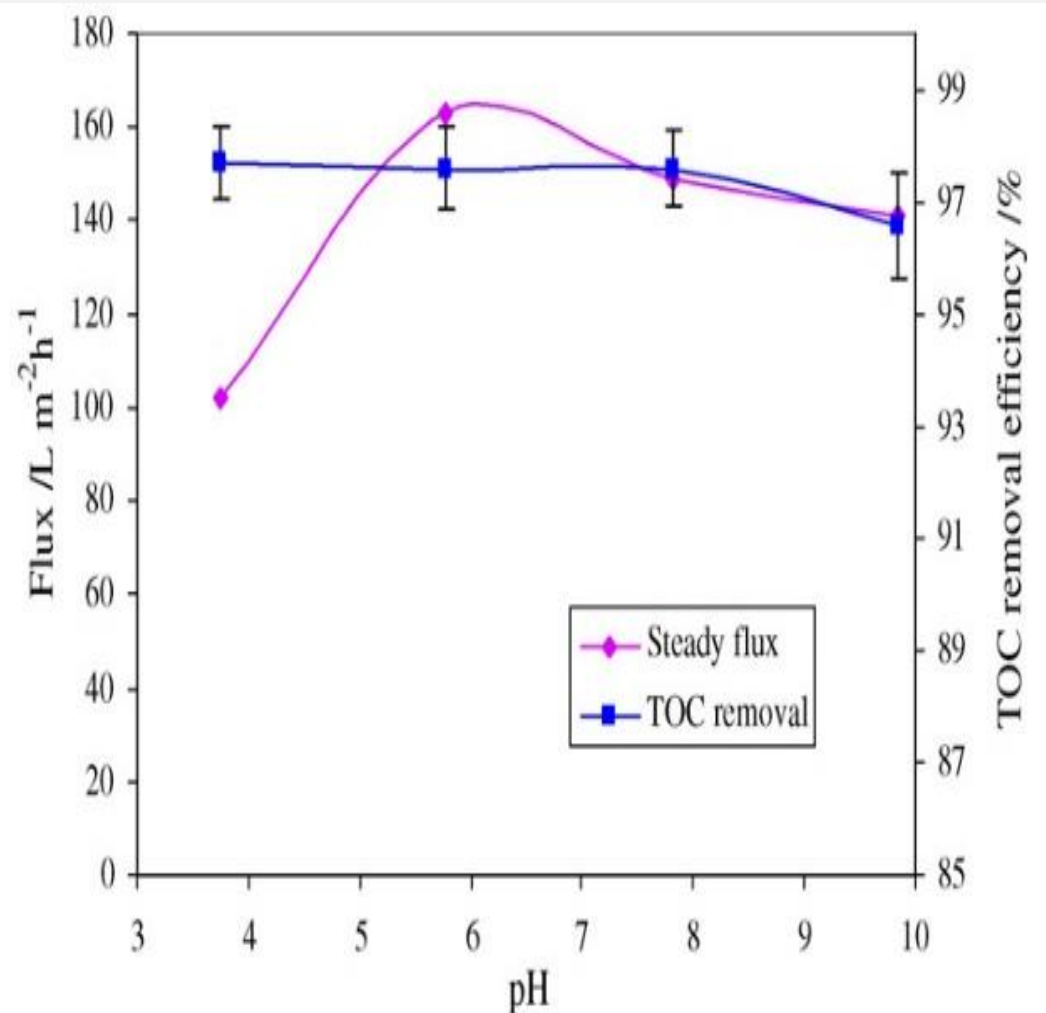
راندمان مذف بالای ۹۲/۸ %

تأثیر پارامترهای غلظت روغن، سرعت جریان و pH

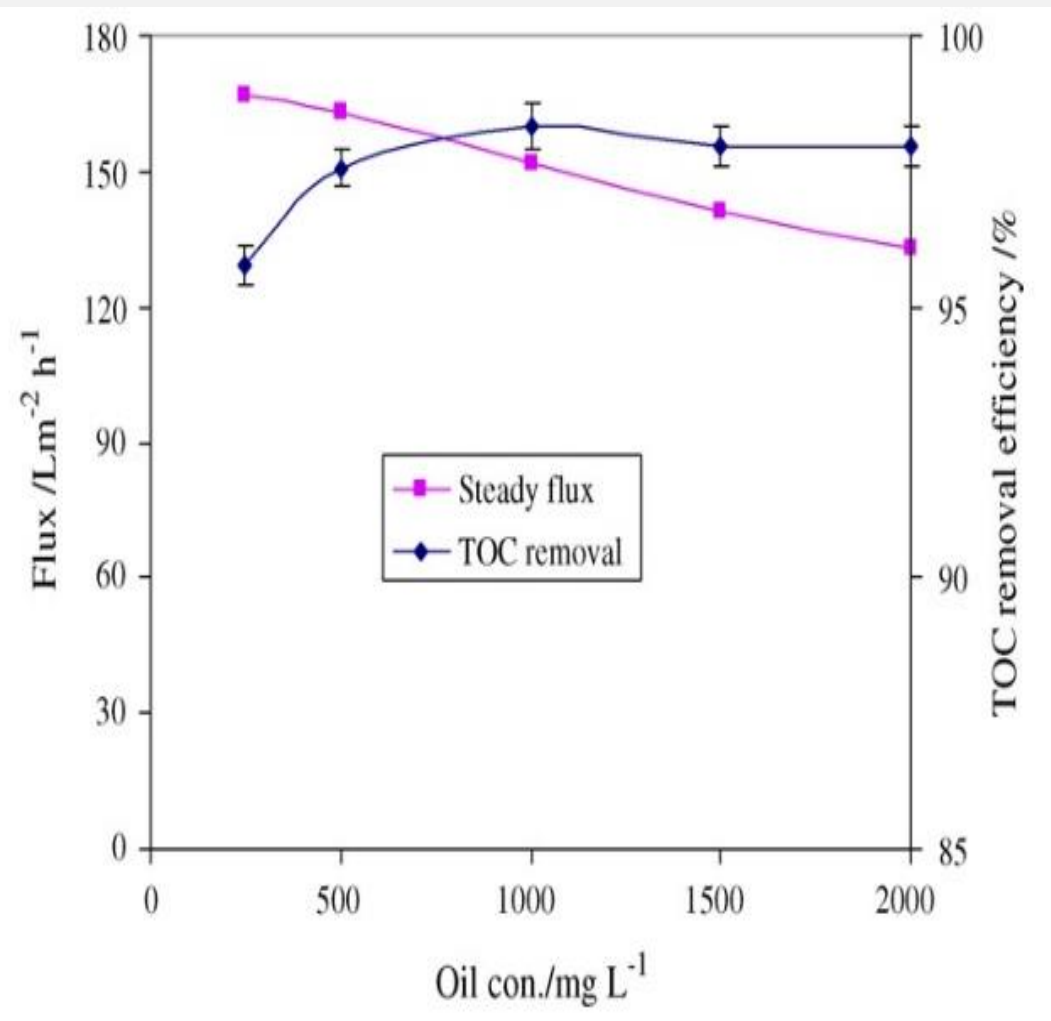


TMP=0.2 MPa مقدار بهینه

1.68 m/s مقدار بهینه



مقدار بهینه pH=5.8



مقدار بهینه غلظت روغن 500 mg/lit





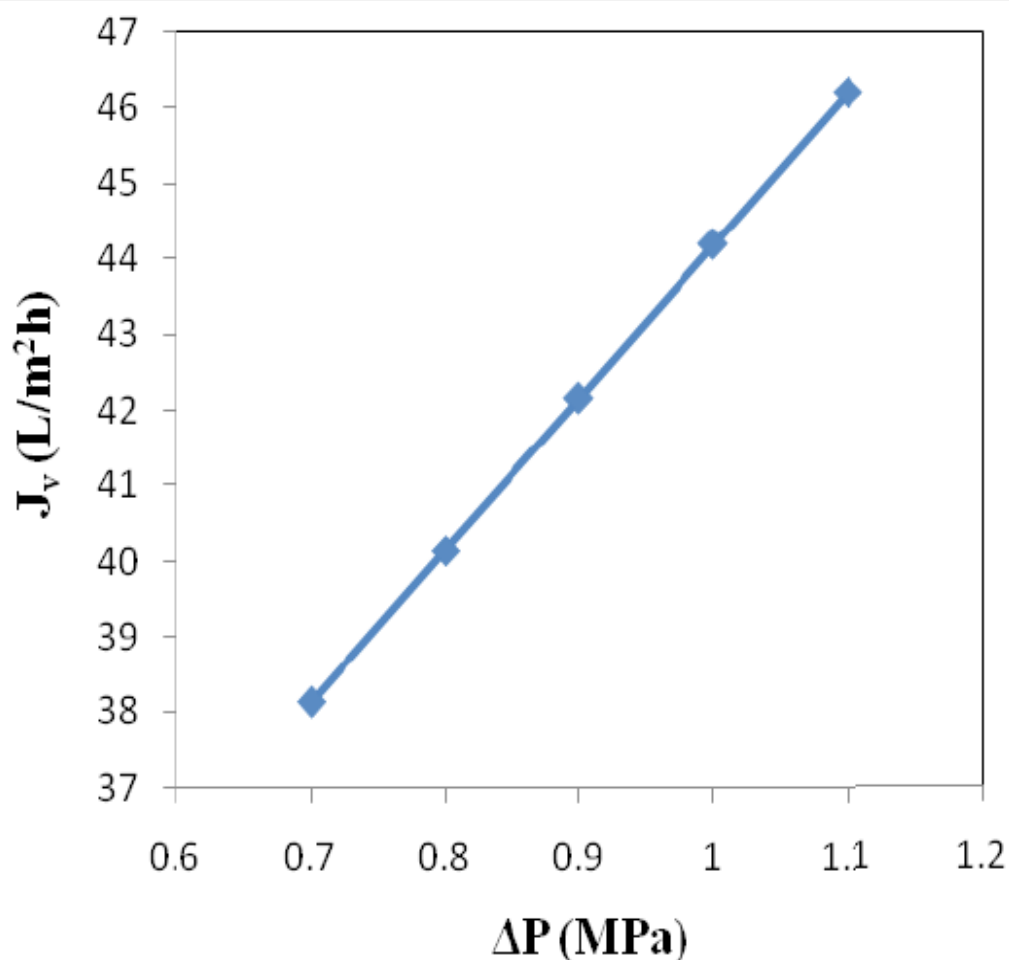
صادقیان وهمکاران (۲۰۱۰) ← نانوفیلتراسیون امولسیون روغن در آب ← غشا $\gamma - Al_2O_3$

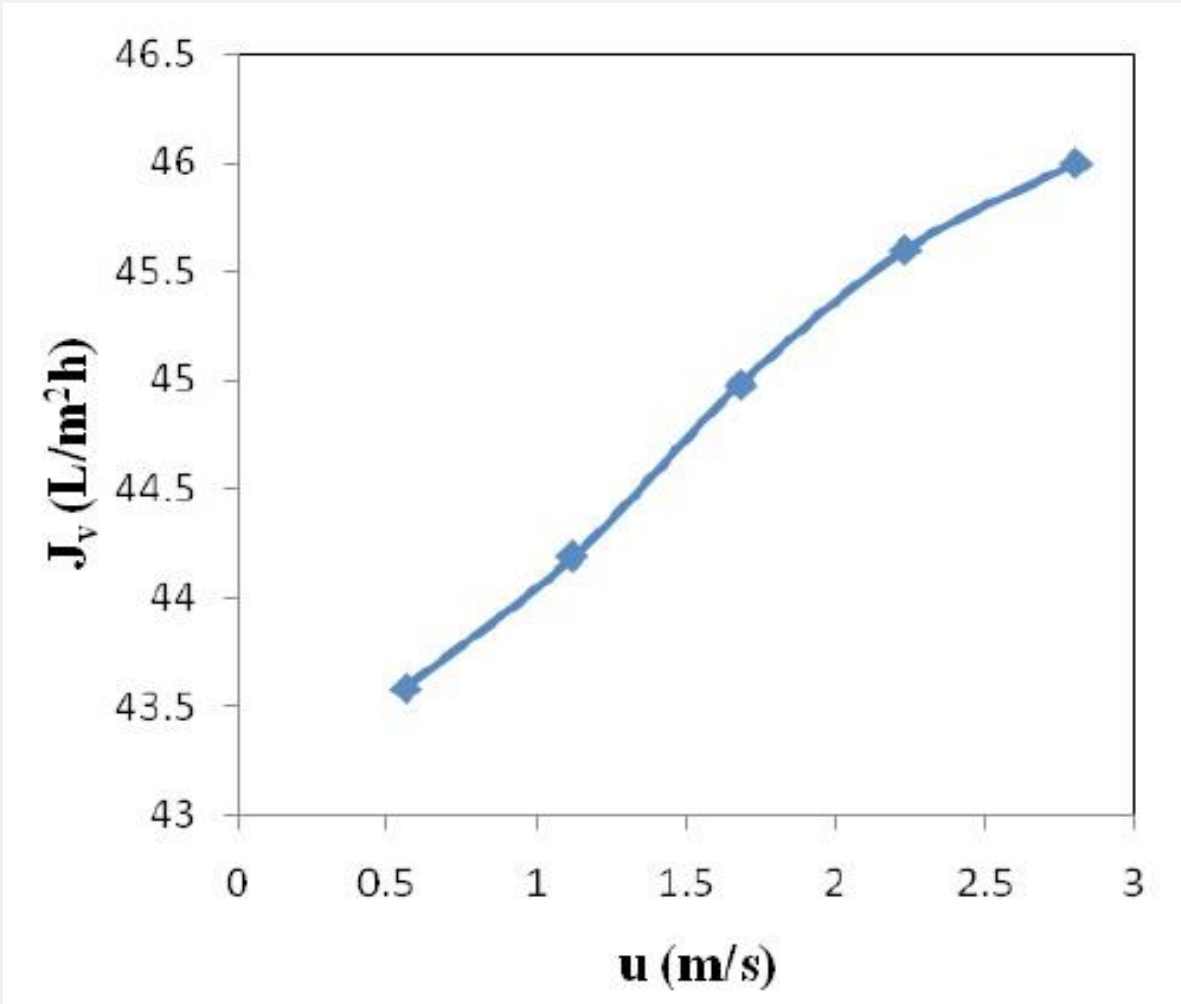


تاثیر پارامترهای غلظت آلاینده، سرعت جریان متقاطع و فشار

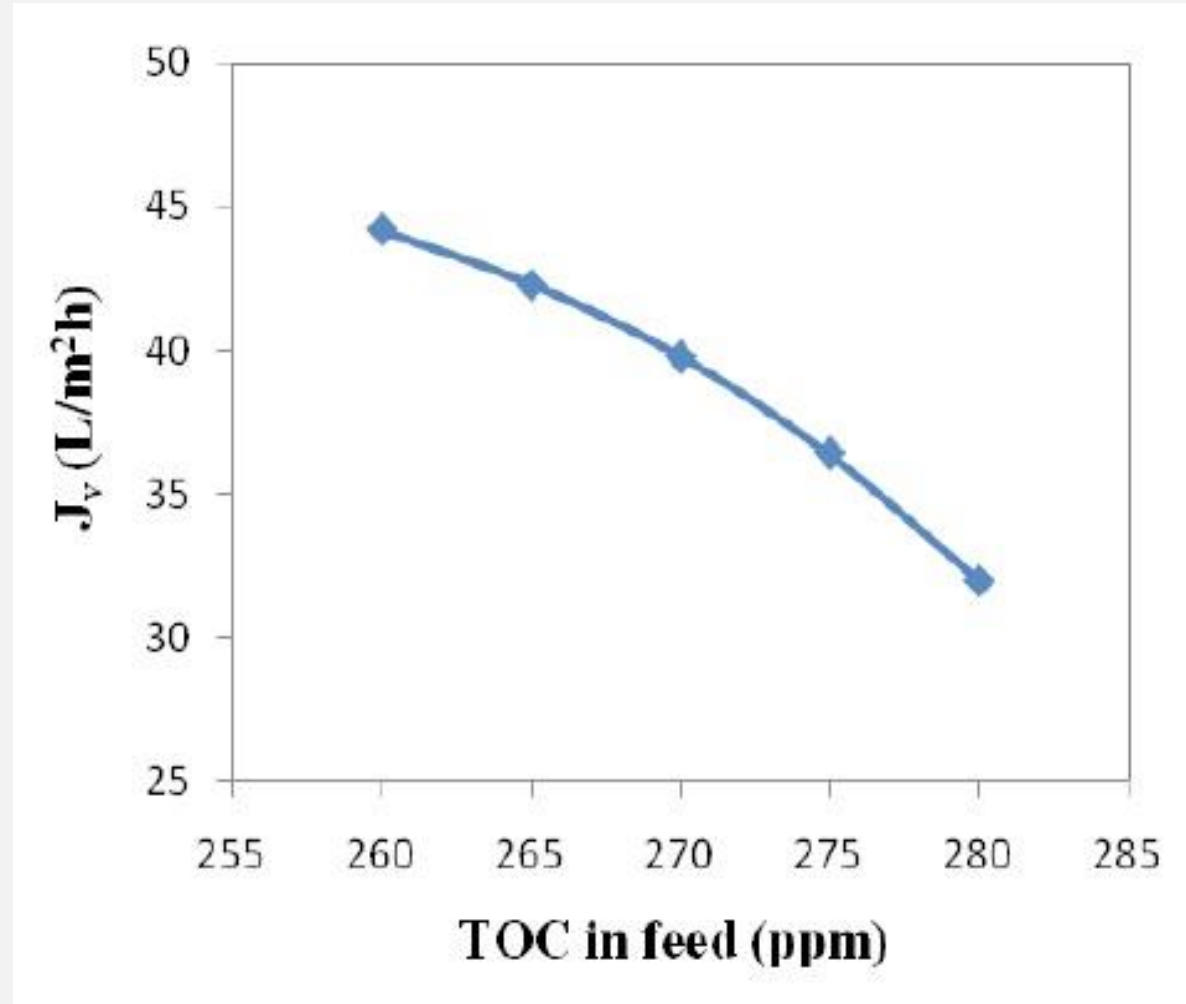
راندمان مذف ۹۰٪ 

کاهش کیفیت نفوذ با افزایش فشار، تراکم قطرات روغن در فشار بالاتر 





1/5 m/s = مقدار بهینه



260-80 mg/kg مقدار بهینه



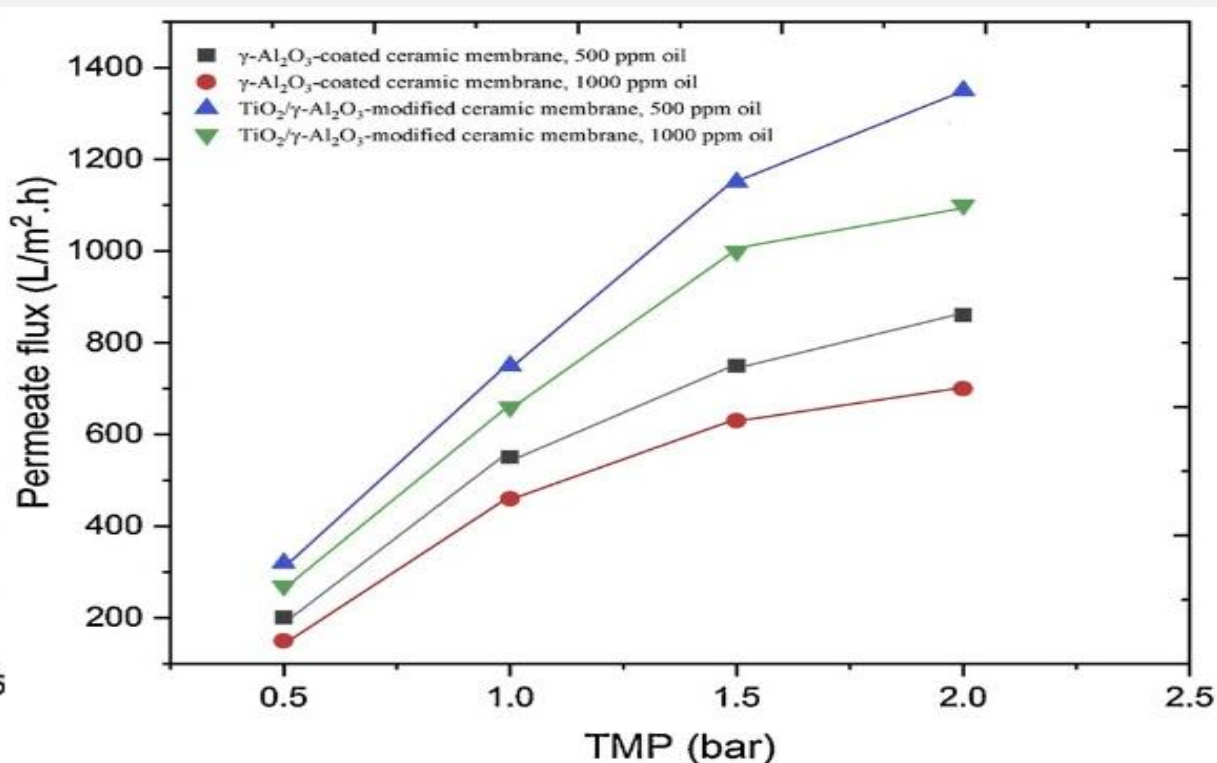
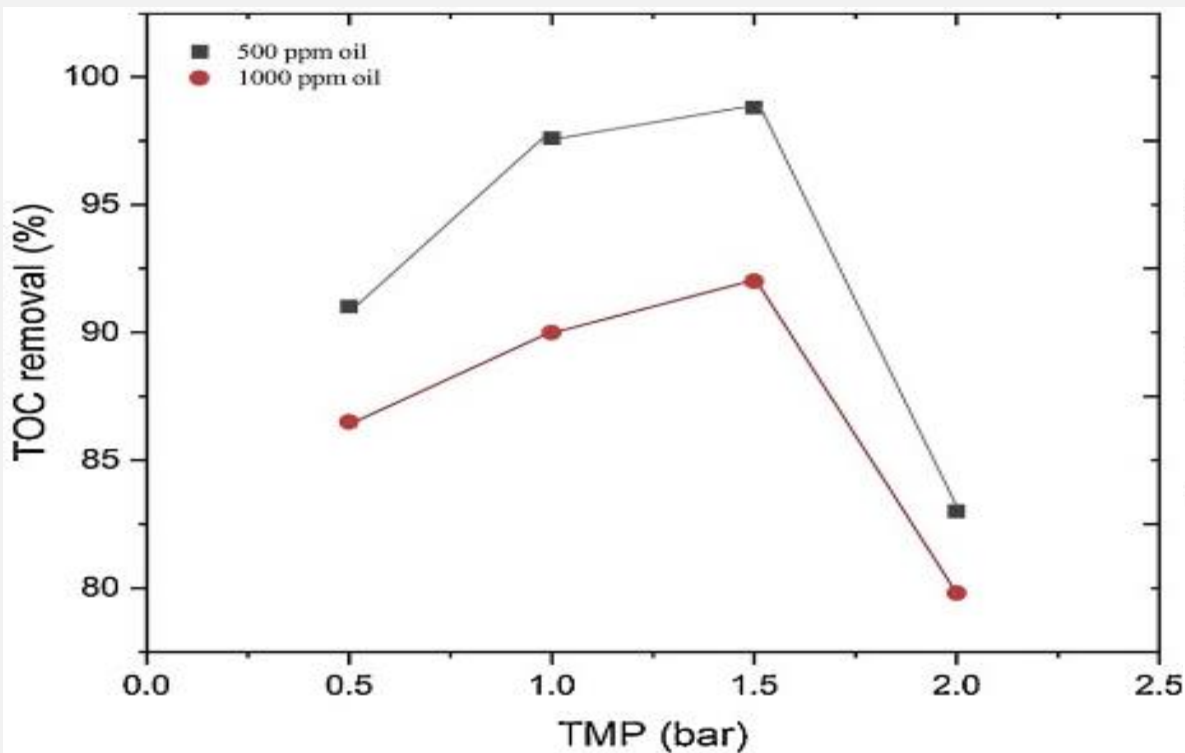


گلشناس و همکاران (۲۰۲۰) ← اولترافیلتراسیون فاضلاب روغنی با UV ← غشای سرامیکی $\text{TiO}_2/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$



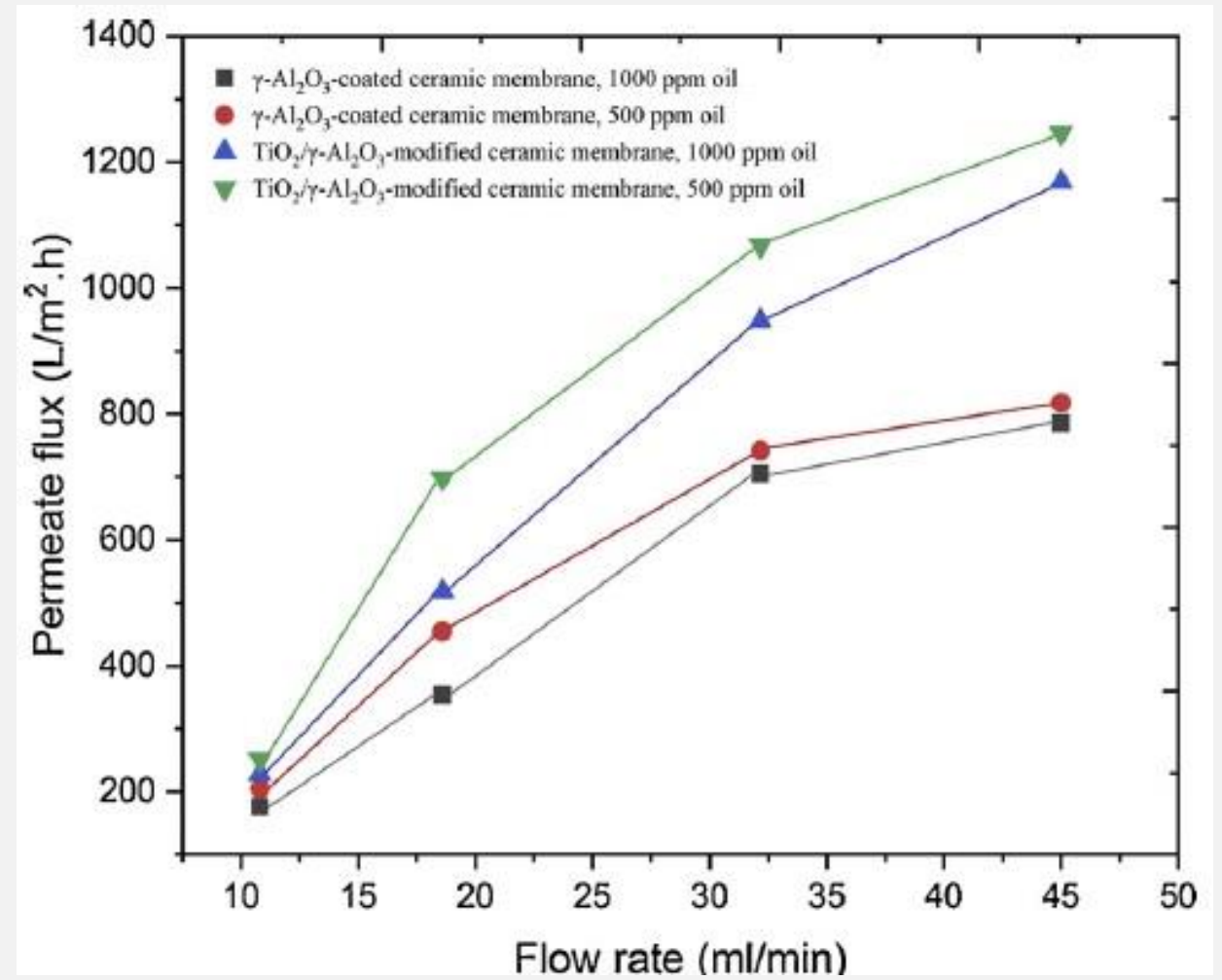
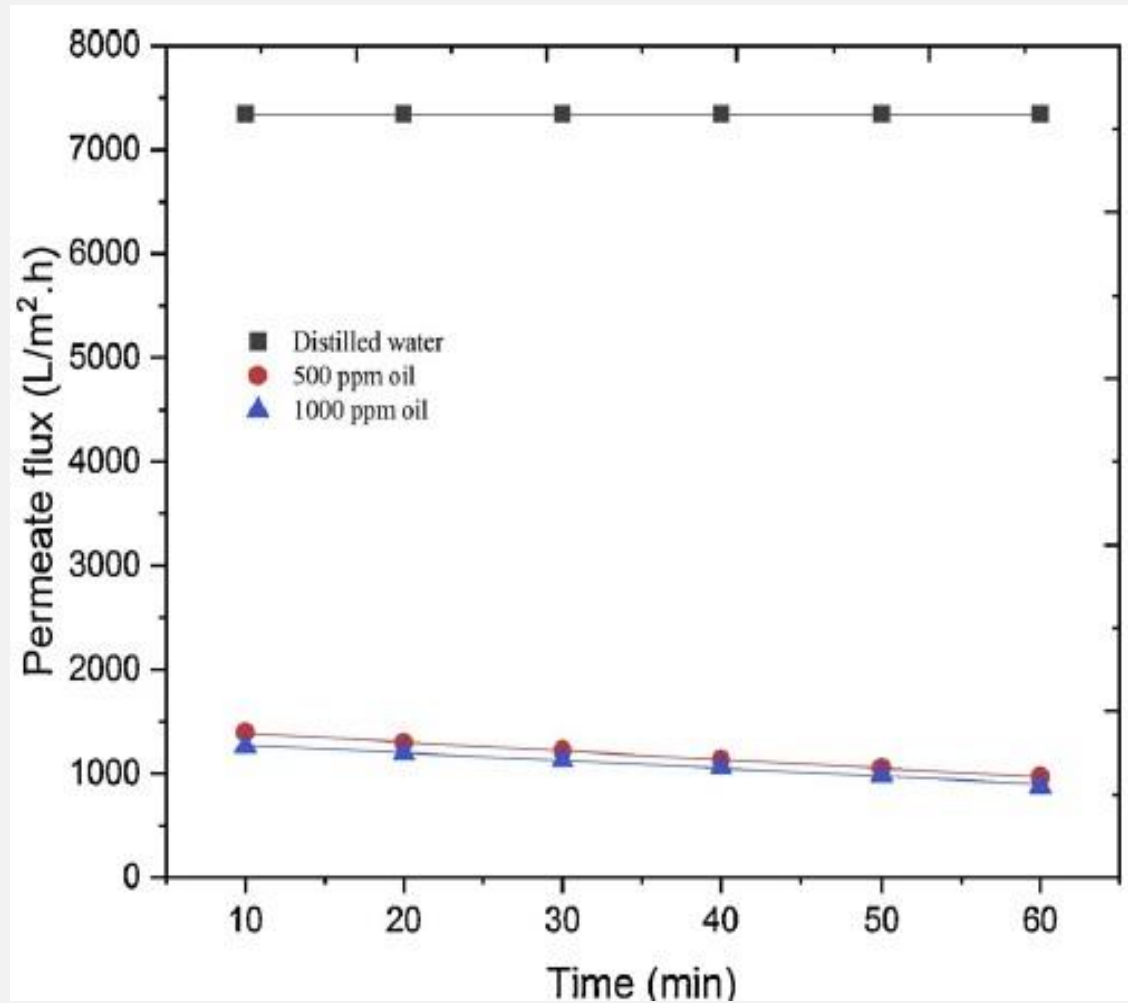
پارامترهای اساسی نرخ جریان و غلظت روغن و TMP

راندمان مذف ۹۰٪ برای غلظت روغن ۱۰۰۰ PPM و ۵۰۰ PPM



مقدار بهینه $\text{TMP}=1.5 \text{ bar}$





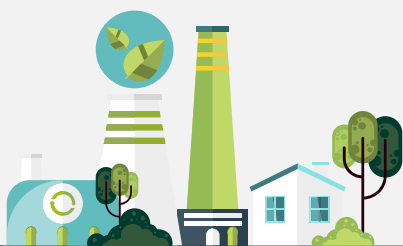
مقدار بهینه نرخ جریان = 32.16 ml/min



نتیجه گیری



- ✓ ترکیب فرآیند اکسیداسیون و جداسازی غشایی جهت حصول نتیجه ی بهتر
- ✓ انتخاب بهترین شیوه های کنترل رسوبات غشا جهت افزایش راندمان فرآیند
- ✓ ارائه راهکار مناسب فرآیند تصفیه پسابها
- ✓ جایگزینی منبع نور خورشیدی به جای لامپ های UV
- ✓ بهینه سازی غشاهای سرامیکی به عنوان جایگزین غشاهای پلیمری
- ✓ بهینه سازی پارامترهای عملیاتی



- 1) Z. Pan, C. Song, L. Li, H. Wang, Y. Pan, C. Wang, J. Li, T. Wang, and X. Feng, "Membrane technology coupled with electrochemical advanced oxidation processes for organic wastewater treatment: Recent advances and future prospects," *Chemical Engineering Journal*, vol. 376, no. xxxx, pp. 0-1, 2019. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2019.01.188>.
- 2) M. N. Chong, B. Jin, C. W. K. Chow, and C. Saint, "Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review," *Water Research*, vol. 44, no. 10, pp. 2997-3027, 2010. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039>.
- 3) P. Karami, B. Khorshidi, M. McGregor, J. T. Peichel, J. Soares, and M. Sadrzadeh, "Journal Pre-proof Thermally stable Thin Film Composite Polymeric Membranes for Water Treatment: A Review Thermally stable Thin Film Composite Polymeric Membranes for Water Treatment: A Review," *Journal of Cleaner Production*, 2019. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119447>.
- 4) P. Kumari, N. Bahadur, and L. F. Dumée, "Photo-catalytic membrane reactors for the remediation of persistent organic pollutants – A review," *Separation and Purification Technology*, vol. 230, no. May 2019, pp. 115878-115878, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115878>.
- 5) M. Wason, S. Purhoit, D. Dehon, and M. Magee, "Carbon wastewater treatment process," *Public Works*, vol. 107, no. 2, pp. 62-63, 1976.
- 6) [W. Xiang, X. Zhang, J. Chen, W. Zou, F. He, X. Hu, D. C. W. Tsang, Y. S. Ok, and B. Gao, "Biochar technology in wastewater treatment: A critical review," 2020. "water treatment," <https://zistnegar.com/floatation-wastewater-treatment/>.
- 7) "Coagulation-flocculation," <https://sharansanat.com/coagulation-flocculation-process/>.
- 8) K. James, "water quality & treatment," pp. 1-1696: McGraw-Hill, 2011.
- 10) A. Barwal, and R. Chaudhary, "To study the performance of biocarriers in moving bed biofilm reactor (MBBR) technology and kinetics of biofilm for retrofitting the existing aerobic treatment systems: a review," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 13, no. 3, pp. 285-299, 2014/09/01, 2014. <http://doi.org/10.1007/s11157-014-9333-7>.
- 11) T. A. Saleh, and V. K. Gupta, "An Overview of Membrane Science and Technology," pp. 1-23: Elsevier, 2016.
- 12) J. Lyu, X. Wen, U. Kumar, Y. You, V. Chen, and R. K. Joshi, "Separation and purification using GO and r-GO membranes," *Royal Society of Chemistry*, 2018, pp. 23130-23151. <http://doi.org/10.1039/C8RA03156H>.
- 13) A. Manni, B. Achiou, A. Karim, A. Harrati, C. Sadik, M. Ouammou, S. Alami Younsi, and A. El Bouari, "New low-cost ceramic microfiltration membrane made from natural magnesite for industrial wastewater treatment," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 8, no. 4, pp. 103906-103906, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103906>.
- 14) X. Zheng, Z. P. Shen, L. Shi, R. Cheng, and D. H. Yuan, "Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water treatment: Configurations and influencing factors," *Catalysts*, vol. 7, no. 8, 2017. <http://doi.org/10.3390/catal7080224>.
- 15) A. Julbe, D. Farrusseng, and C. Guizard, "Porous ceramic membranes for catalytic reactors — overview and new ideas," *Journal of Membrane Science*, vol. 181, no. 1, pp. 3-20, 2001. [http://doi.org/10.1016/S0376-7388\(00\)00375-6](http://doi.org/10.1016/S0376-7388(00)00375-6).
- 16) A. Basile, S. Liguori, and A. Iulianelli, "Membrane Reactors, Applications," Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013. <http://doi.org/10.1002/9781118522318.emst118>
- 17) G. Zhang, W. Jin, and N. Xu, "Design and Fabrication of Ceramic Catalytic Membrane Reactors for Green Chemical Engineering Applications," Elsevier Ltd, 2018, pp. 848-860. <http://doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.001>

- 18) F. Gallucci, A. Basile, and F. Ibney Hai, Introduction - A review of membrane reactors, 2011. http://doi.org/10.1007/978-3-642-40872-4_436-1
- 19) P. R. Gunjal, and V. V. Ranade, "Catalytic Reaction Engineering," pp. 263-314: Elsevier, 2016. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-801457-8.00007-0>
- 20) F. Gallucci, "P Packed Bed Membrane Reactor." http://doi.org/10.1007/978-3-642-40872-4_436-1.
- 21) T. Melin, B. Jefferson, D. Bixio, C. Thoeye, W. De Wilde, J. De Koning, J. van der Graaf, and T. Wintgens, "Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse," *Desalination*, vol. 187, no. 1-3, pp. 271-282, 2006. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.086>.
- 22) S. Mozia, "Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water and wastewater treatment. A review," Elsevier, 2010, pp. 71-91. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.03.021>
- 23) C. N. Rani, and S. Karthikeyan, "Performance of an indigenous integrated slurry photocatalytic membrane reactor (PMR) on the removal of aqueous phenanthrene (PHE)," *Water Science and Technology*, vol. 77, no. 11, pp. 2642-2656, 2018. <http://doi.org/10.2166/wst.2018.220>.
- 24) E. V. Shelepova, A. A. Vedyagin, I. V. Mishakov, and A. S. Noskov, "Simulation of hydrogen and propylene coproduction in catalytic membrane reactor," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 40, no. 8, pp. 3592-3598, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.09.004>.
- 25) W. Qing, F. Liu, H. Yao, S. Sun, C. Chen, and W. Zhang, "Functional catalytic membrane development: A review of catalyst coating techniques," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 282, pp. 102207-102207, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102207>.
- 26) M. Qiu, X. Chen, Y. Fan, and W. Xing, "1.11 Ceramic Membranes," *Comprehensive Membrane Science and Engineering*, vol. 1, pp. 270-297, 2017. <http://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.12243-7>.
- 27) J. D. F. Ramsay, and S. Kallus, *Zeolite membranes*: Elsevier Masson SAS, 2000. [http://doi.org/10.1016/S0927-5193\(00\)80016-9](http://doi.org/10.1016/S0927-5193(00)80016-9)
- 28) H. Abdallah, "A review on catalytic membranes production and applications," Diponegoro University, 2017, pp. 136-156. <http://doi.org/10.9767/bcrec.12.2.462.136-156>
- 29) "Microgravure roll-to-roll coater," <https://www.purdue.edu/discoverypark/birck/facilities/equipment/Roll-to-roll/Processing/Mirwec> roll-to-roll coater.php.
- 30) S. Mozia, A. W. Morawski, R. Molinari, L. Palmisano, and V. Loddo, *Photocatalytic membrane reactors: Fundamentals, membrane materials and operational issues*: Woodhead Publishing Limited, 2013. <http://doi.org/10.1533/9780857097347.1.236>
- 31) D. B. Miklos, C. Remy, M. Jekel, K. G. Linden, J. E. Drewes, and U. Hübner, "Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review," *Water Research*, vol. 139, pp. 118-131, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.042>.
- 32) F. C. Moreira, R. A. R. Boaventura, E. Brillas, and V. J. P. Vilar, "Electrochemical advanced oxidation processes: A review on their application to synthetic and real wastewaters," *Applied Catalysis B: Environmental*, vol. 202, pp. 217-261, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.037>.
- 33) J. Wang, and H. Chen, "Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective," 2020. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135249>
- 34) L. Zhao, Z. Sun, J. Ma, and H. Liu, "Enhancement mechanism of heterogeneous catalytic ozonation by cordierite-supported copper for the degradation of nitrobenzene in aqueous solution," *Environmental Science and Technology*, vol. 43, no. 6, pp. 2047-2053, 2009. <http://doi.org/10.1021/es803125h>.
- 35) B. Legube, and N. Karpel Vel Leitner, "Catalytic ozonation: A promising advanced oxidation technology for water treatment," *Catalysis Today*, vol. 53, no. 1, pp. 61-72, 1999. [http://doi.org/10.1016/S0920-5861\(99\)00103-0](http://doi.org/10.1016/S0920-5861(99)00103-0).
- 36) C. Mansas, J. Mendret, S. Brosillon, and A. Ayrat, "Coupling catalytic ozonation and membrane separation: A review," 2019. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.116221>.
- 37) W. Qiu, M. Zheng, J. Sun, Y. Tian, M. Fang, Y. Zheng, T. Zhang, and C. Zheng, "Photolysis of enrofloxacin, pefloxacin and sulfaquinolaxine in aqueous solution by UV/H₂O₂, UV/Fe(II), and UV/H₂O₂/Fe(II) and the toxicity of the final reaction solutions on zebrafish embryos," *Science of The Total Environment*, vol. 651, pp. 1457-1468, 2019. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.315>.
- 38) M. Hafezi, M. Mozaffarian, M. Jafarikoju, M. Mohseni, and B. Dabir, "Application of impinging jet atomization in UV/H₂O₂ reactor operation: Design, evaluation, and optimization," *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, vol. 389, pp. 112198-112198, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2019.112198>.

- 39) C. A. Murray, E. H. Goslan, and S. A. Parsons, "TiO₂/UV: Single stage drinking water treatment for NOM removal?," *Journal of Environmental Engineering and Science*, vol. 6, no. 3, pp. 311-317, 2007. <http://doi.org/10.1139/S06-071>.
- 40) R. Ameta, A. K. Chohadia, A. Jain, and P. B. Punjabi, *Fenton and Photo-Fenton Processes*, 2018. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00003-6>
- 41) J. L. Wang, and L. J. Xu, "Advanced oxidation processes for wastewater treatment: Formation of hydroxyl radical and application," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 42, no. 3, pp. 251-325, 2012. <http://doi.org/10.1080/10643389.2010.507698>.
- 42) A. Babuponnusami, and K. Muthukumar, "A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, pp. 557-572, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.jece.2013.10.011>.
- 43) M. Umar, H. A. Aziz, and M. S. Yusoff, "Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate," *Waste Management*, vol. 30, no. 11, pp. 2113-2121, 2010. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.003>.
- 44) Y. Baba, T. Yatagai, T. Harada, and Y. Kawase, "Hydroxyl radical generation in the photo-fenton process: Effects of carboxylic acids on iron redox cycling," *Chemical Engineering Journal*, vol. 277, pp. 229-241, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2015.04.103>.
- 45) A. A. Özcan, and A. Özcan, "Investigation of applicability of Electro-Fenton method for the mineralization of naphthol blue black in water," *Chemosphere*, vol. 202, pp. 618-625, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.125>.
- 46) S. Qiu, D. He, J. Ma, T. Liu, and T. D. Waite, "Kinetic Modeling of the Electro-Fenton Process: Quantification of Reactive Oxygen Species Generation," *Electrochimica Acta*, vol. 176, pp. 51-58, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2015.06.103>.
- 47) E. Brillas, I. Sirés, and M. A. Oturan, "Electro-fenton process and related electrochemical technologies based on fenton's reaction chemistry," *Chemical Reviews*, vol. 109, no. 12, pp. 6570-6631, 2009. <http://doi.org/10.1021/cr900136g>.
- 48) M. I. Litter, and M. Slodowicz, "An overview on heterogeneous Fenton and photoFenton reactions using zerovalent iron materials," *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, vol. 20, no. 1, 2017. <http://doi.org/10.1515/jaots-2016-0164>.
- 49) A. Shokri, "Application of Sono-photo-Fenton process for degradation of phenol derivatives in petrochemical wastewater using full factorial design of experiment," *International Journal of Industrial Chemistry*, vol. 9, no. 3, pp. 295-303, 2018. <http://doi.org/10.1007/s40090-018-0159-y>.
- 50) M. Panizza, and G. Cerisola, "Direct and mediated anodic oxidation of organic pollutants," *Chemical Reviews*, vol. 109, no. 12, pp. 6541-6569, 2009. <http://doi.org/10.1021/cr9001319>.
- 51) S. P. Il, M. H. Lee, S. B. Tae, and W. S. Kyeong, "Effects of anodic oxidation parameters on a modified titanium surface," *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*, vol. 84, no. 2, pp. 422-429, 2008. <http://doi.org/10.1002/jbm.b.30887>.
- 52) M. V. Diamanti, B. del Curto, and M. Pedferri, "Anodic oxidation of titanium: From technical aspects to biomedical applications," *Journal of Applied Biomaterials and Biomechanics*, vol. 9, no. 1, pp. 55-69, 2011. <http://doi.org/10.5301/JABB.2011.7429>.
- 53) M. Coto, S. C. Troughton, J. Duan, R. V. Kumar, and T. W. Clyne, "Development and assessment of photo-catalytic membranes for water purification using solar radiation," *Applied Surface Science*, vol. 433, pp. 101-107, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.10.027>.
- 54) H. O. Seo, T. G. Woo, E. J. Park, B. J. Cha, I. H. Kim, S. W. Han, and Y. D. Kim, "Enhanced photo-catalytic activity of TiO₂ films by removal of surface carbon impurities; the role of water vapor," *Applied Surface Science*, vol. 420, pp. 808-816, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.05.223>.
- 55) U. I. Gaya, and A. H. Abdullah, "Heterogeneous photocatalytic degradation of organic contaminants over titanium dioxide: A review of fundamentals, progress and problems," *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, vol. 9, no. 1, pp. 1-12, 2008. <http://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2007.12.003>.

- 56) F. B. Li, and X. Z. Li, "The enhancement of photodegradation efficiency using Pt–TiO₂ catalyst," *Chemosphere*, vol. 48, no. 10, pp. 1103-1111, 2002. [http://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00201-1](http://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00201-1).
- 57) R. Molinari, M. Borgese, E. Drioli, L. Palmisano, and M. Schiavello, "Hybrid processes coupling photocatalysis and membranes for degradation of organic pollutants in water," *Catalysis Today*, vol. 75, no. 1-4, pp. 77-85, 2002. [http://doi.org/10.1016/S0920-5861\(02\)00047-0](http://doi.org/10.1016/S0920-5861(02)00047-0).
- 58) S. Mozia, "Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water and wastewater treatment. A review," *Separation and Purification Technology*, vol. 73, no. 2, pp. 71-91, 2010. <http://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.03.021>.
- 59) Z. F. Cui, Y. Jiang, and R. W. Field, "Fundamentals of Pressure-Driven Membrane Separation Processes," pp. 1-18: Elsevier, 2010. <http://doi.org/10.1016/B978-1-85617-632-3.00001-X>
- 60) S. Riaz, and S. J. Park, "An overview of TiO₂-based photocatalytic membrane reactors for water and wastewater treatments," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 84, pp. 23-41, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.12.021>.
- 61) A. Golshenas, Z. Sadeghian, and S. N. Ashrafizadeh, "Performance evaluation of a ceramic-based photocatalytic membrane reactor for treatment of oily wastewater," *Journal of Water Process Engineering*, vol. 36, no. September 2019, pp. 101186-101186, 2020. <http://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101186>.
- 62) F. L. Hua, Y. F. Tsang, Y. J. Wang, S. Y. Chan, H. Chua, and S. N. Sin, "Performance study of ceramic microfiltration membrane for oily wastewater treatment," *Chemical Engineering Journal*, vol. 128, no. 2-3, pp. 169-175, 2007. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2006.10.017>.
- 63) Z. Sadeghian, F. Zamani, and S. N. Ashrafizadeh, "Removal of oily hydrocarbon contaminants from wastewater by γ -alumina nanofiltration membranes," *Desalination and Water Treatment*, vol. 20, no. 1-3, pp. 80-85, 2010. <http://doi.org/10.5004/dwt.2010.1154>.
- 64) S. Leong, A. Razmjou, K. Wang, K. Hapgood, X. Zhang, and H. Wang, "TiO₂ based photocatalytic membranes: A review," *Journal of Membrane Science*, vol. 472, pp. 167-184, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.memsci.2014.08.016>.
- 65) W. Zhang, L. Ding, J. Luo, M. Y. Jaffrin, and B. Tang, "Membrane fouling in photocatalytic membrane reactors (PMRs) for water and wastewater treatment: A critical review," *Chemical Engineering Journal*, vol. 302, pp. 446-458, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.cej.2016.05.071>.
- 66) Y. Jing, L. Guo, and B. P. Chaplin, "Electrochemical impedance spectroscopy study of membrane fouling and electrochemical regeneration at a sub-stoichiometric TiO₂ reactive electrochemical membrane," *Journal of Membrane Science*, vol. 510, pp. 510-523, 2016. <http://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.03.029>.
- 67) C. Li, X. Guo, X. Wang, S. Fan, Q. Zhou, H. Shao, W. Hu, C. Li, L. Tong, R. R. Kumar, and J. Huang, "Membrane fouling mitigation by coupling applied electric field in membrane system: Configuration, mechanism and performance," *Electrochimica Acta*, vol. 287, pp. 124-134, 2018. <http://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.06.150>.

سپاس از توجه و نظر شما بزرگواران

🚫 کرونا رو جدی بگیریم

