فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۳، پاییز ۱۳۹۷

ساخت غشاهای سرامیکی ارزان قیمت جهت کاهش ذرات جامد محلول در آب

محمد فانی خشتی[۱]، مجتبی ساعی مقدم[۲*]، علی یونسی[۲]

[۱] گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه سمنان

[۲] گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی قوچان

* mojtabasaei@qiet.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۶ آبان ۱۳۹۷

پذیرش: ۲ بهمن ۱۳۹۷

کلید واژه:

غشای سرامیکی متخلل، تصفیه آب، نمک زدایی.

چکیده:

غشاهای سرامیکی که در فرآیند تصفیه آب به کار می‌روند مزیت‌های زیادی نسبت به غشاهای پلیمری رایج دارند. از این رو در این مقاله به تولید غشاهای ارزان قیمت با مواد ساده در دسترس و بررسی ویژگی‌های آب عبوری از آن‌ها می‌پردازیم. در ابتدا دستگاهی برای تست غشاها ساخته شد. سپس برای ساخت سرامیک‌های متخلل از روش‌های پرس کردن و ریخته گری دوغابی استفاده شده است. برای مثال، ماده مورد استفاده شامل پودر سرامیکی حاوی ۸۴ درصد وزنی آلومینا، ۱۲درصد کائولن و ۴ درصد فلدسپار و سایر مواد افزودنی به آن می‌باشد که در شرایط مختلف از نظر مقدار ماده افزودنی و همچنین دما و فشارهای گوناگون اقدام به ساخت قرص‌هایی با ضخامت‌های مختلف از آن شده است. نتایج کلی تست دستگاه با هرکدام از قرص‌های سرامیکی نشان دهنده قدرت بالای این سرامیک‌های متخلل در فرآیند تصفیه آب می‌باشد به طوری که نمونه با ضخامت ۲۰ میلی متر توانست کل مواد جامد محلول[۱] در آب را از ۹۵۰ppm به ۴۰۰ppm کاهش دهد و همچنین در استفاده متوالی سه قرص با ضخامت‌های ۱۰، ۱۰ و ۲۰میلی‌متر کل مواد جامد محلول آب از ۱۲۰۰ ppm به ۳۲۰ ppm کاهش یافت.

۱- مقدمه

اگرچه دوسوم سطح زمین پوشیده از آب است، فقط سه درصد از آن آب شیرین است و دوسوم از آب شیرین موجود هم غیر قابل دسترس است. مهم‌ترین علتی که باعث غیر مناسب بودن آب برای آشامیدن و کارهای صنعتی می‌شود وجود انواع مختلفی از آلودگی‌ها در ابعاد میکرومتر (باکتری‌ها) تا چند ده برابر کوچکتر از نانومتر (یون‌های حل شده) در آن می‌باشد[۱].

کارآمدی روش‌های غشایی مثل نانوفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، میکروفیلتراسیون و اسمز معکوس در فرآیند تصفیه آب در بخش‌های مختلف صنعت مانند تهیه آب آشامیدنی و تصفیه پساب صنعتی تایید شده است. غشاهای سرامیکی دسته‌ای از انواع غشاهای مصنوعی هستند که از ترکیبات معدنی مانند آلومینا، تیتانیا، اکسیدهای زیرکونیوم، سیلیکا و... ساخته می‌شوند [۲] و دارای خواص

[1] Total Dissolved Solids

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

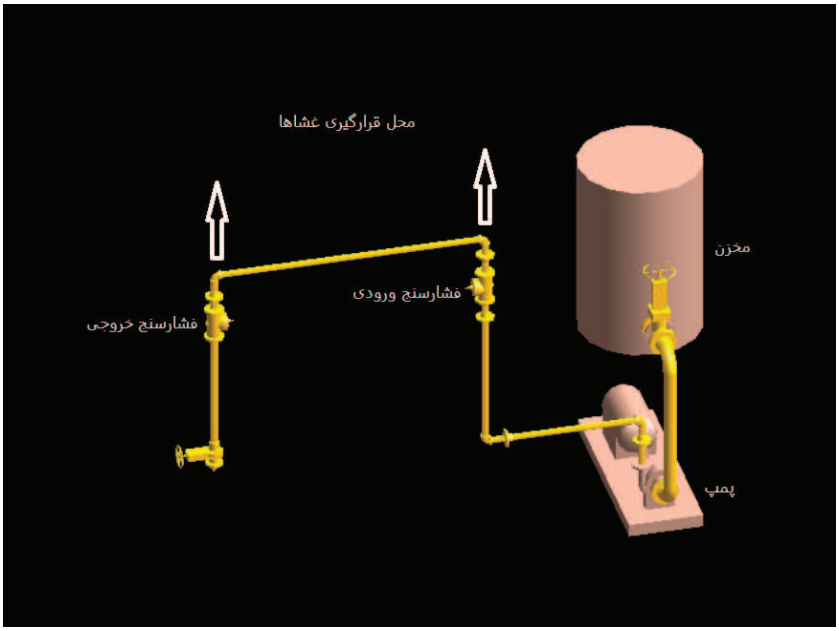
بهتر از نظر حرارتی، شیمیایی و پایداری مکانیکی (مقاومت در برابر تخریب باکتریایی) نسبت به غشاهای آلی هستند [۳]. این غشاها نسبت به نوع پلیمری (مخصوصا جهت تصفیه آب و پساب) از لحاظ قیمت نیز قابل رقابت بوده و دارای یک پتانسیل قوی جهت تصفیه آب‌های آشامیدنی و کشاورزی می‌باشند. امروزه غشاهای سرامیکی به طور موفقیت آمیزی در گستره وسیعی از صنایع مانند صنایع غذایی و نوشیدنی، لبنیات، دارو، بیوتکنولوژی، شیمی وپتروشیمی، نیمه هادی‌ها و دیگر میکروالکترونیک‌ها، استحصال فلزات و نیروگاه تولید برق مورد استفاده قرار گرفته‌اند و شرکت‌های تولیدی مهمی مانند AG nanovation, Hyflux, Pall, Argonide غشاهای سرامیکی تجاری خود را جهت استفاده در سیستم‌های تصفیه آب و پساب به بازار عرضه نموده‌اند [۶-۴]. برخی از خواص مهم غشاها عبارتند از: اندازه حفرات غشا، توزیع اندازه حفره‌های غشا، شکل حفره‌ها، درصد تخلخل و ضخامت غشا. یک غشای ایده آل برای جداسازی، غشایی است که دارای ساختاری پیوسته، عاری از ترک و شامل اندازه حفره‌های همگن و توزیع اندازه حفره‌های باریک باشد [۷]. در این پژوهش سعی شده با استفاده از امکانات موجود یک نوع غشای سرامیکی جهت کاهش کل مواد جامد محلول آب ساخته شود.

۲- فعالیت‌های تجربی

این فعالیت شامل دو بخش ساخت سیستم تصفیه و بخش تولید غشای سرامیکی است:

۱- سیستم تصفیه:

برای تست عملیاتی نمونه‌ها، یک واحد عملیاتی مطابق با شکل ۱ آماده شد.



شکل ۱- دستگاه تست غشا

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

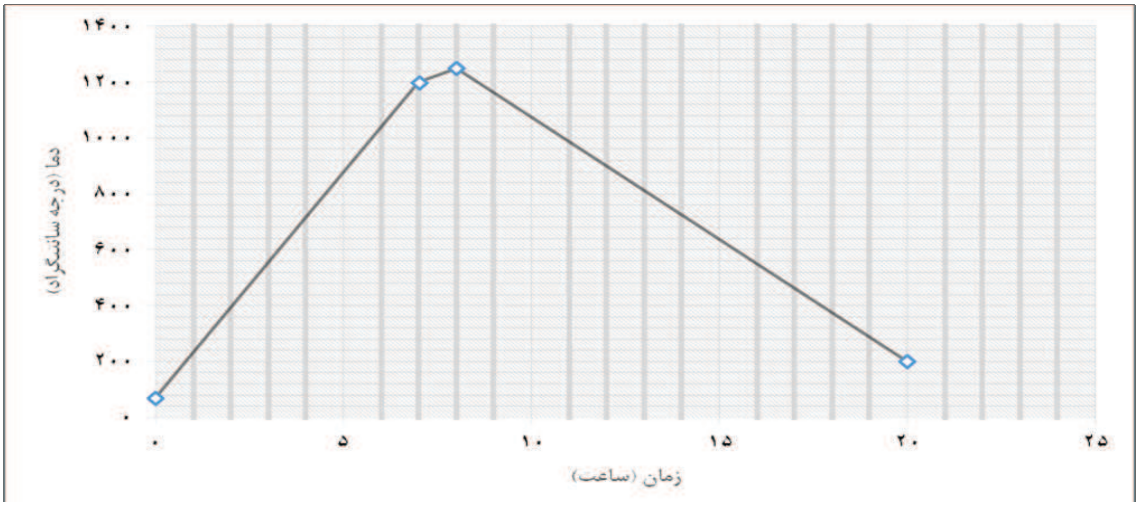
سیستم تهیه شده دارای یک فشار سنج ورودی و یک فشارسنج خروجی است .جهت اطمینان از آب بند بودن سیستم و همچنین تست فشار سنج‌ها، در حالت عدم حضور فیلتر سرامیکی، یک مسیر مستقیم با انتهای بسته تعبیه شد. هر دو فشارسنج عددی ثابت را نشان دادند که بی عیب بودن سیستم را تصدیق کرد. برای تامین آب مورد نیاز از یک مخزن ۲۰ لیتری استفاده شد که حاوی آب با سختی بالا بوده و همچنین برای تامین فشار مورد نیاز از یک پمپ با توان ۰/۳۷KW بهره برده شد. محل قرارگیری فیلترها در جایی بین دو فشارسنج تعبیه شد.

۲- ساخت سرامیک متخلخل:

در ساخت غشا از مواد اولیه ساده و ارزان در دسترس استفاده شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود. با توجه به نتایج بدست آمده به تدریج موادی مانند خاک اره جهت کارایی بهتر غشا به آن افزوده یا از آن کم شده است.

جهت ساخت نمونه‌های سرامیک متخلخل از روش‌های ارزان قیمت شامل پرس کردن و ریخته گری دوغابی جهت تولید این بدنه‌ها استفاده شود. روش‌های مد نظر شامل پرس کردن و ریخته گری دوغابی می‌باشد. در ابتدا پودر سرامیکی با درصدهای وزنی ((کائولن ۵۰ درصد) + (فلدسپار ۲۵ درصد) + (سیلیس ۲۵ درصد)) با دقت ۰/۰۱gr توزین شدند. سپس پودر سرامیکی به خوبی با هم مخلوط شده و تحت فشار ۴۰MPa پرس شدند و نمونه‌هایی به شکل قرص و به قطرهای مختلف از ۱۵mm تا ۴۰mm تهیه شد.

قرص‌های تهیه شده در کوره الکتریکی Exciton با نرخ حرارت دهی ملایم به مدت زمان ۲۰ ساعت تحت فرآیند عملیات حرارتی قرار گرفتند که در شکل۲ مشاهده می‌کنید. به دلیل دمای پخت پایین و درصد بالا از ماده گداز قرص‌ها استحکام کافی نداشتند و ترکیب دیگری تهیه شد.



شکل ۲- نمودار دمای کوره بر حسب زمان

بدین منظور نمونه‌های با ترکیب آلومینا (۸۴ درصد وزنی)، کائولن (۱۲ درصد) و فلدسپار (۴ درصد) تهیه شد. این ترکیب به همراه مقادیر مختلف صفر، ۵ و ۱۰ درصد وزنی خاک اره به منظور ایجاد تخلخل به خوبی مخلوط شدند. سپس به روش قبل تحت فشار حدود ۴۰ مگاپاسکال قرص‌هایی تهیه شد. قرص‌ها در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و سپس تحت عملیات سینترینگ قرار گرفتند. خلاصه معرفی این نمونه‌ها در جدول۱ آمده است.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

جدول ۱- معرفی نمونه‌های تهیه شده در این مقاله

نمونه‌ها	پودر سرامیک	ضخامت (mm)	توضیحات
گروه یک	کائولن ۵۰ درصد وزنی فلدسپار ۲۵ درصد وزنی سیلیس ۲۵ درصد وزنی	۴۰-۱۵	عدم استحکام مناسب به‌طوری‌که قابلیت انجام تست نداشتند.
گروه دو	آلومینا ۸۴ درصد وزنی کائولن ۱۲ درصد وزنی فلدسپار ۴ درصد وزنی	۲۰و۱۰	ترکیب با ۱۰ درصد وزنی خاک اره ترکیب با ۵ درصد وزنی خاک اره -----

جهت افزایش استحکام نمونه‌های تهیه شده با استفاده از کمی کمک ذوب مناسب (۴ درصد فلدسپار) و همچنین افزایش دمای پخت نمونه‌های آلومینایی با استحکام بالا تهیه شد که در شکل ۳ نشان داده شده است (عملیات سینترینگ در دمای ۱۵۷۰ درجه سانتی گراد، به مدت ۲ ساعت و سرعت حرارت دهی ۳ درجه بر دقیقه). همانطور که در شکل۳ مشخص شده است نمونه‌ها در دودسته تخلخل کم (3wp دارای ۵ درصد خاک اره) و زیاد (6wp دارای ۱۰ درصد خاک اره) تهیه شد. از مجموع هشت نمونه تهیه شده با ضخامت‌های متفاوت، تنها نمونه با ضخامت کم و تخلخل زیاد، به علت رطوبت کم قبل از پرس، استحکام کمی داشت و قابل استفاده نبود. بقیه نمونه‌ها دارای استحکام بالایی بودند و در ادامه کار مورد استفاده قرار گرفتند.

شکل ۳- نمونه‌های الف با تخلل کم(3wp) **و ب تخلل زیاد** (6wp)

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

در ادامه سعی شد با به دست آوردن تخلخل مناسب در غشاهای سرامیکی پایه آلومینا، در کنار استحکام بالای آن‌ها، بتوان سختی آب را بدون اعمال فشار بالا به مقدار مطلوب کاهش داد. از مجموع قرص‌های بالا فقط نمونه متراکم بدون خاک اره مقدار سختی را به صورت قابل توجهی تغییر داد. قرص‌های بدست آمده در سیستم تصفیه آب که برای انجام تست‌ها تعبیه شده است جای‌گذاری شدند و مورد آزمایش قرار گرفتند. غشاهای سری SW0 (بدون حضور خاک اره) در دو ضخامت ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر تولید شدند که در شکل۴ نشان داده شده‌اند.

شکل ۴- نمونه‌های بدون خاک اره

برای تست غشاها ابتدا از غشا با ضخامت ۲۰ میلی‌متر استفاده شد. محلول (پساب) اولیه مورد استفاده دارای TDS, ۹۵۰ppm بود که پس از تصفیه به مقدار ۴۰۰ppm کاهش یافت. با استفاده از روش سنجش وزن و زمان (اندازه‌گیری وزن آب خروجی از غشا در مدت زمان مشخص و تبدیل آن به دبی با استفاده از چگالی آب) میزان آب عبوری (دبی) از غشا مورد نظر در فشار ۱بار مقدار ۹۵ سی‌سی در ساعت می‌باشد. برای تست غشا با ضخامت ۱۰ میلیمتر از محلول با ۲۰۰۰ ppm TDS استفاده شد که پس از تصفیه به مقدار ۱۴۵۰ ppm رسید. دبی این غشا مطابق روش قبل اندازه‌گیری و مقدار ۱۳۰ سی‌سی در ساعت بدست آمد. در انتها یک آزمایش با محلول دارای ۱۲۰۰ ppm TDS و با قرار دادن سه غشا به ترتیب با ضخامت‌های ۱۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر انجام شد، (تشکیل یک غشا با ضخامت ۴۰ میلی‌متری)؛ هدف از انجام این آزمایش تشخیص وابستگی میزان کاهش TDS آب با ضخامت غشا بود و TDS محلول تصفیه به ۳۲۰ ppm رسید. لازم به ذکر است دبی‌های ذکر شده برای همگی در فشار ۱ بار بوده که با افزایش فشار انتظار می‌رود دبی افزایش یابد همچنین هر غشا بسته به ضخامت، بین ۴۰ تا ۹۰ دقیقه زمان ترشدگی نیازمند است. این نتایج در جدول۲ نیز نشان داده شده است. باید در نظر داشت که، افزایش سطح تماس غشا با محلول می‌تواند از طریق افزایش طول و افزایش قطر غشا در نمونه‌های بزرگتر باشد که سبب افزایش سطح تماس می‌شود، همچنین باعث می‌شود تا دبی عبوری و میزان آب تصفیه شده افزایش پیدا کند. سطح تماس موثر در نمونه‌های تست شده که دایره‌ای به قطر ۳ سانتی‌متر می‌باشد (سطح مورد تماس با محلول که پوشانده نشده است) برابر با ۲۸ سانتی‌متر مربع می‌باشد، در

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

حالی که در یک استوانه به طول ۲۰ سانتی‌متر و به قطر ۱۰ سانتی‌متر سطح تماس موثر برابر با ۰/۱۲۵۶ متر مربع می‌باشد و حدودا میزان دبی عبوری ۴۵ برابر بیشتر می‌شود که دبی خروجی به بیش از ۴ لیتر در ساعت افزایش یافت.

جدول ۲- نتایج حاصل از تست غشاهای بدون محتوای خاک اره

اختلاف فشار (bar)	دبی حجمی (cc/hr)	مواد جامد محلول نهایی (PPM)	مواد جامد محلول اولیه (PPM)	ضخامت غشا (mm)
۱	۱۳۰	۱۴۵۰	۲۰۰۰	۱۰
۱	۹۵	۴۰۰	۹۵۰	۲۰
۱	۴۵	۳۲۰	۱۲۰۰	۴۰

۳- نتایج و بحث

در تست‌های انجام شده از نمونه‌های سرامیک متخلخل مشاهده شد که میزان دبی عبوری از سرامیک متخلخل بسیار کم می‌باشد، بنا بر شکل ۵ که ناخالصی‌ها به صورت رنگ سیاه روی غشا قرار گرفته‌اند، نمونه‌ها از لحاظ جداسازی بسیار مفید بوده‌اند ولیکن حجم آب عبور داده با فشار bar ۱ توسط پمپ بسیار کم می‌باشد که قابلیت اندازه‌گیری TDS وجود نداشت (یکنواخت نبودن جریان عبوری از سختی سنج).

در نمونه 3WP و 6WP تست شده بر روی دستگاه میزان سختی حدود ۱۰۰ واحد کاهش نشان داد که سرامیک متخلخل در شکل ۶ مشاهده می‌شود. املاح تصفیه شده در تصویر دوم کاملا به رنگ قهوه‌ای بر روی غشای سرامیکی مشخص است.

شکل ۵- ناخالصی سیاه رنگ روی غشا

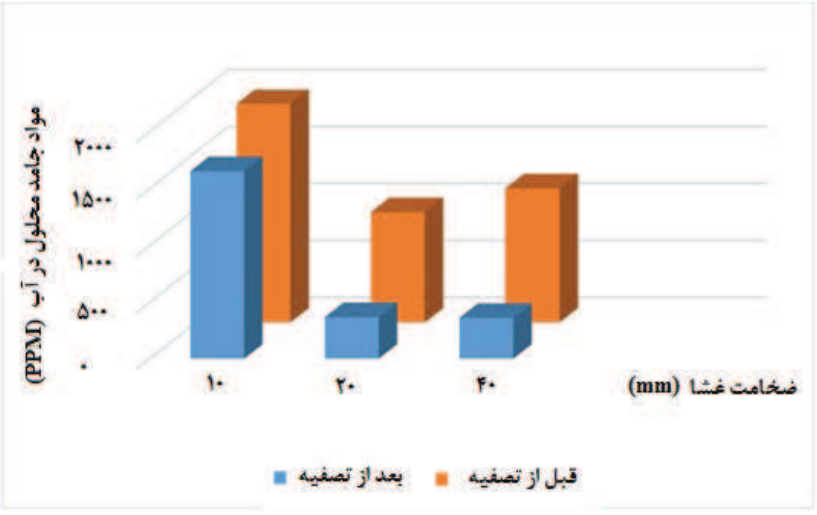
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

شکل ۶- غشای الف قبل و ب بعد از تصفیه آب

دیدگاه کلی درباره خاک اره بدین صورت است که وجود خاک اره، علاوه برافزایش تخلخل سبب ایجاد مسیرهایی برای عبور آب می‌شود که باعث می‌شود سختی آب تنها به مقدار کمی کاهش پیدا کند.

در آزمایشی که بر روی قرص‌های SW0 انجام شد نتایج نشان داد که بدون افزودنی خاک اره املاح بیشتری جذب غشا می‌شوند و همچنین با افزایش ضخامت غشا می‌توان محلول‌های با سختی بالا را به محلول‌های با سختی مطلوب رساند.



شکل ۷- نمودار میزان کاهش TDS براساس ضخامت غشا در نمونه‌های بدون خاک اره

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

۴- نتیجه گیری

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که غشاهای سرامیکی می‌توانند جایگزین مناسبی برای سایرغشاها در صنعت تصفیه آب و پساب باشند چون توانسته‌اند TDS آب را به مقدار چشم‌گیری کاهش دهند. غشا با ضخامت ۲۰ میلی‌متر TDS آب را از ppm ۹۵۰ به ppm ۴۰۰ کاهش داد و غشا با ضخامت ۱۰ میلی‌متر TDS نمونه مورد آزمایش را از ppm ۲۰۰۰ به ppm ۱۴۵۰ تغییر داد. استفاده سری از غشاهای ۱۰، ۱۰و ۲۰ میلی‌متر بیشترین قدرت در جذب املاح محلول در آب را داشت به طوری که TDS نمونه مورد آزمایش از ppm ۱۲۰۰ به ppm ۳۲۰ واحد کاهش پیدا کرد.

طبق نتایج آزمایش می‌توان بدون استفاده از خاک اره برای افزایش تخلل به مقادیر پایین‌تری از TDS رسید ولی مشکلی که در این بین ایجاد شد کاهش دبی آب خروجی بود که با افزایش تعداد ماژول‌ها به صورت موازی در نمونه‌های صنعتی و نیمه صنعتی می‌توان دبی آب تصفیه شده را افزایش داد؛ TDS خروجی متناسب آب شرب می‌باشد و حتی می‌توان با افزایش ضخامت و استفاده از تعداد بیشتری از ماژول‌ها به صورت سری خلوص آب مورد استفاده را نیز بهبود بخشید.

مراجع

[1] A. Chougui, A. Belouatek and M. Rabiller-Baudry, ‘‘Synthesis and characterization of new ultrafiltration ceramic membranes for water treatment,’’_ Journal of Water Process Engineering, In press. 2018.

[2] J. M. Benito, M. J. Sánchez, P. Pena and M. A. Rodríguez, “Development of a new high porosity ceramic membrane for the treatment of bilge water,” Desalination, Vol. 214, pp. 91-101. 2007.

[3] H. Zhang, X. Quan, S. Chen, H. Zhao, Y. Zhao and W. Li, “Zirconia and titania composite membranesfor liquid phase separation: preparation and characterization,” Desalination, Vol. 190, pp. 172–180. 2006.

[4] S. S. Wadekar and R. D. Vidic, “Comparison of ceramic and polymeric Nano filtration membranes for treatment of abandoned coal mine drainage,” Desalination, Vol. 440, pp. 135-145. 2018.

[5] Z. R. Ismagilov, R. A. Shkrabina, N. A. Koryabkina, A. A. Kirchanov, H. Veringa and P. Pex. “Porous alumina as a support for catalysts and membrane. Preparation and study,” Reaction Kinetics and Catalysis Letters, Vol. 60, pp. 225–231. 2017.

[۶] رضاخانی، ناصر، عدل طباطبایی، عباسقلی، معینیان،

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]

مهدی و ضامن، محمد،" ساخت یک نمونه غشا سرامیکی نیمه تراوا برای کاهش کل املاح محلول در آب،" پانزدهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، ۱۳۹۳.

[7] Manohar. "Development & Characterization of Ceramic Membranes,"_ International Journal of Modern Engineering Research (IJMER) _Vol.2, pp. 1492-1506. 2012

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-09-15]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1397.7.3.5.3]