فصلنامه‌ی علمی پژوهشی

علم و مهندسی سرامیک

دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۱، بهار ۱۳۹۸

ساخت فیلترهای کامپوزیت سرامیکی با محتوای نانوذرات تیتانیوم اکسید و کربن فعال برای تصفیه آب دریا

پدرام ناصحی[۱]، مجتبی ساعی مقدم[۱*]، محمد فانی خشتی[۲]

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

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

* mojtabasaei@qiet.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۶ اسفند ۱۳۹۷

پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۳۹۸

کلید واژه:

فیلترکامپوزیت سرامیکی، تصفیه آب، تیتانیوم اکسید، کربن فعال، مواد جامد محلول

چکیده:

در مقاله‌ی پیش‌رو کامپوزیت‌های سرامیکی بر پایه آلومینا طبیعی و مواد فعال جاذب برای تصفیه آب دریا تهیه‌شده است. نتایج نهایی آزمایش‌ها نشان‌دهنده‌ی کارای قابل‌قبول فیلترهای تولیدشده با مواد فعال در جهت کاهش آلاینده‌های نیتراتی و مواد محلول در آب دریا مطابق استاندارد ۱۰۵۳ است. برای آزمودن فیلترهای کامپوزیت سرامیکی دستگاه فیلتری ماژولار ساخته شد و مورداستفاده قرار گرفت. نرخ فیلتراسیون تحت‌فشار ۳ بار در حدود ۳۰۰ میلی‌لیتر در ساعت بوده است. روی هم رفته، بهترین نتایج برای فیلتر ساخته‌شده با ۲۱ و ۲ درصد وزنی کربن فعال و تیتانیوم اکسید بدست آمد. به‌این‌ترتیب میزان کاهش برای نیترات، نیتریت، کل مواد جامد محلول و سختی کل پس از فیلتراسیون به ترتیب ۹۰، ۷۸، ۹۸ و ۶۸ درصد برای فیلتر شماره ۷ مشاهده شد. فیلترهای ساخته‌شده ارزان قابلیت شست‌وشو و استفاده‌ی مجدد و دوام بالا را دارا می‌باشند که می‌توانند آب دریا را بصورت موثر به حد قابل آشامیدن برسانند.

۱- مقدمه

تحقیقات پزشکی جدید نشان می‌دهد که هرساله حدود ۱۰ تا ۲۰ میلیون نفر در دنیا به دلیل عدم دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بیماری‌های ناشی از آن جان خود را از دست می‌دهند. این آمار نشان‌دهنده‌ی بیماری‌های سریع و قابل‌شناسایی به وجود آمده به‌وسیله‌ی استفاده از منابع آب آلوده است، درحالی‌که آلودگی‌های ناشی از منابع آبی حاوی نیترات و نیتریت موجب بیماری‌های همچون سرطان می‌شود که سال‌ها بعد نشانه‌های آن مشخص می‌شود [۱]. کمبود آب آشامیدنی سالم در جهان زمانی وضعیت خطرناک‌تری پیدا می‌کند که مدنظر داشته باشیم رشد جمعیت جهان در قرن گذشته بیش از ۴ برابر بوده است. این موضوع به معنای مصرف بیشتر آب آشامیدنی و از طرفی تولید آلودگی بیشتر در سطح جهان است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد مصرف آب آشامیدنی در جهان تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۷ برابر مدت مشابه در قرن گذشته خواهد شد [۲].

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

افزایش جمعیت جهان، آلوده شدن منابع آبی موجود و نبودن روش‌های تصفیه آب آسان و کاربردی موجب آن گشته که آب به یک کالای رقابتی و ویژه در جهان و حتی کشور ما تبدیل شود. ازاین‌رو دست‌یابی به روش‌های تصفیه آب جدید، کارآمد و بادوام به یکی از چالش‌های اصلی دنیای امروز تبدیل‌شده است [۳]. از طرفی استانداردهای کیفیتی آب هرساله سخت‌گیرانه‌تر می‌شوند و موجب آن می‌گردند که تصفیه آب و رساندن آن به کیفیت استاندارد سخت‌تر و دشوارتر گردد. یکی از منابع در دسترس آب دنیا دریاها هستند. استفاده از آب دریا به دلیل وجود آلاینده‌های موجود در آن، میزان بسیار زیاد جامدهای حل‌شده و شوری بسیار بالای آب دریا موجب آن شده است که استفاده از آب دریا به‌صورت طبیعی امکان‌پذیر نباشد [۴،۵].

یکی از روش‌های تصفیه آب دریا و تکنولوژی‌های در دسترس استفاده از فیلترهای کامپوزیت سرامیکی است. فیلترهای کامپوزیت سرامیکی از فن‌آوری‌های پیشتاز در صنعت تصفیه آب هستند که برتری‌های قابل‌توجه‌ای نسبت به دیگر روش‌های موجود برای تصفیه آب مانند ضدعفونی یا تقطیر دارند. دلیل این امر این است که فیلترهای کامپوزیت سرامیکی نیازی به افزودنی شیمیایی یا حرارت برای پاک‌سازی آب ندارند. این تکنولوژی از سال‌های بسیار دور برای انسان شناخته‌شده است اما در طول سال‌ها تغییرات و اصلاحات بزرگی در آن به وجود آمده است. از حدود ۱۵۰ سال قبل که ماکسول برای اولین بار فیلتر ها را به دنیا به صورت امروزی معرفی کرد تا به امروز انقلاب بزرگی در استفاده از این تکنولوژی به وجود آمده است. تغییراتی که موجب پیشرفت های بزرگی در دنیای امروز شده است[۶].

فیلترهای کامپوزیت سرامیکی یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین فیلترهای مورداستفاده در صنایع مختلف ازجمله صنایع تصفیه آب آشامیدنی هستند. از ویژگی‌های مهم این فیلترها می‌توان به مقاومت مکانیکی بالا، کارایی بالا در تصفیه آب، ارزان بودن، راحتی استفاده و در دسترس بودن این فیلترهای اشاره کرد[۷].

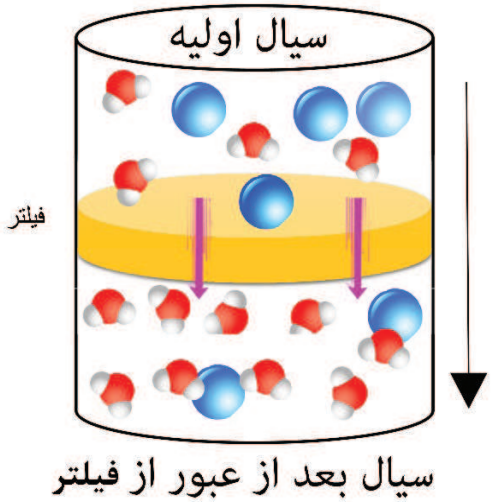
کامپوزیت‌های پایه سرامیکی[1] در دنیای امروزی کاربردهای بسیار ویژه‌ای دارند که یکی از کاربردهای مهم آن‌ها استفاده به‌عنوان فیلتر است. ویژگی‌های این کامپوزیت‌های به‌عنوان فیلتر مواد خاصی را شامل می‌شود. از میان این موارد می‌توان به استفاده آن‌ها در تصفیه آب با کارایی بالا اشاره کرد. به‌صورت طبیعی مواد معدنی حاوی آلومینا طبیعی و آهن در تصفیه آب به‌عنوان جاذب و تجزیه‌کننده‌ی مواد آلی مؤثر هستند ولی داشتن مشکلاتی ازجمله عدم تخلخل دائمی، نفوذپذیری کم، دوام پایین و قابلیت استفاده‌ی مجدد کم موجب گشته تا استفاده از این مواد کم باشد. برای برطرف کردن این مشکل‌ها مواردی همچون تولید کامپوزیت‌های ترکیبی و استفاده از مواد پایدارکننده پیشنهادشده است [۸]. برای برطرف کردن موارد یادشده و ایجاد کامپوزیت پایه سرامیکی متخلخل و پایدار استفاده از کربن فعال[2] و مواد متخلخل همچون تیتانیوم اکسید[3] پیشنهاد می‌شود که باعث تثبیت ساختار متخلخل می‌شود و ویژگی‌های مانند جذب و ضدعفونی در یک کامپوزیت پایه سرامیکی را بهبود می‌بخشد. از طرفی در منابع مختلف بیان‌شده است که این مواد به دلیل داشتن خاصیت اکسندگی موجب کاهش آلایندگی‌های آلی نیز می‌شوند[۱۰و ۹].

[1] Ceramic Matrix Composite
[2] Activated carbon
[3] Titanium oxide

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

در این مقاله روشی ساده برای تولید کامپوزیت‌های پایه سرامیکی حاوی آلومینا به‌عنوان ماده‌ی پایه و تیتانیوم اکسید و کربن فعال به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده فعال در جهت جذب و کاهش آلاینده‌ها پیشنهاد شد که بر اساس آزمایش‌های انجام‌گرفته با استفاده از پایلوت ساخته‌شده نشان داده شد که در عمل نیز بسیار کارآمد است. در شکل شماره ۱ شماتیک تصفیه آب به‌وسیله‌ی فیلترهای کامپوزیت سرامیکی نمایش داده‌شده است.



شکل ۱- شماتیک تصفیه آب به‌وسیله‌ی فیلترهای کامپوزیت سرامیکی و کاهش غلظت مواد محلول بعد از فیلتر

همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده‌شده است کاربرد اصلی فیلتر در مرحله‌ی اولی جدا کردن ذرات معلق موجود در آب است که آن‌ها را بر اساس اندازه مولکولی‌شان از آب جدا می‌کند. به بیانی دیگر مولکول‌های که از یک اندازه خاص بزرگ‌تر باشند توانایی عبور از فیلتر را ندارند و همین امر باعث می‌شود پس از فیلتر ذرات معلق محلول در آب جداشده و آب خالصی را داشته باشیم.

۲- فعالیت های تجربی

۲-۱- فیلتر

در این مقاله از فیلترهای کامپوزیت سرامیکی ارزان‌قیمت استفاده شد که با مواد افزودنی مختلف تقویت شد. فیلترهای کامپوزیت سرامیکی در سه ضخامت ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌متری تهیه شدند و مورد تست قرار گرفتند. برای ساخت فیلترهای کامپوزیت سرامیکی از روش ارزان‌قیمت مخلوط کردن مواد با روش دوغابی و پرس با فشار بالا استفاده‌شده است[۱۱]. فیلترهای تولیدی در ضخامت‌های مختلف تست شد و سپس بهترین کارای ازنظر تراوای و میزان فیلتراسیون انتخاب شد.

بیشترین افت فشار در نمونه باضخامت ۴۰ میلی‌متر مشاهده شد. به دلیل افت فشار بالای نمونه و تراوای بسیار کم آن فیلتر، استفاده از این فیلتر به‌صرفه نبوده و فیلترهای ۲۰ میلی‌متری پیشنهاد می‌گردد. در جدول شماره ۱ میزان کارایی نمونه فیلترهای ایجادشده با ترکیبات بهینه و میزان مواد جامد محلول (TDS) بعد از عبور از فیلترها آورده شده است.

جدول ۱- میزان کارایی فیلترهای بهینه در ضخامت‌های مختلف

ردیف	ضخامت فیلتر	TDS قبل از عبور از فیلتر ppm	TDS بعد از عبور از فیلتر ppm	شدت جریان عبوری
۱	۱۰ میلی‌متر	۳۶۰۰۰	۴۳۴۰	۵۴۰ میلی‌لیتر در ساعت
۲	۲۰ میلی‌متر	۳۶۰۰۰	۷۲۰	۳۰۰ میلی‌لیتر در ساعت
۳	۴۰ میلی‌متر	۳۶۰۰۰	۵۴۰	۱۱۵ میلی‌لیتر در ساعت

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]
[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

همان‌گونه که در جدول شماره ۱ مشخص‌شده است میزان عبور آب از فیلترها در ضخامت ۴۰ میلی‌متر بسیار کم است و از طرفی میزان TDS آب با ضخامت ۲۰ میلی‌متر تفاوت زیادی ندارد به همین دلیل استفاده از فیلترهای ۲۰ میلی‌متری ارجحیت دارد.

۲-۲- افزودنی‌ها

در وهله اول برای تولید کربن فعال از گردوهای ایرانی با نام علمی Juglans regia استفاده شد و پس از جداسازی پوست به‌خوبی شست‌وشو شد. سپس در دمای ^{o}C ۷۵ در آون خشک شد. پس از خشک شدن به مدت ۶ ساعت در هم زن به‌خوبی پودر شده و در درون آون تحت اتمسفر نیتروژن در دمای ^{o}C۹۵۰ به مدت ۸ ساعت حرارت داده شد تا زغال چوب تشکیل شود. زغال چوب تهیه‌شده به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۲ میلی‌گرم کلرید کلسیم برای فعال شدن قرار داده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد خشک شدند و برای منبع تیتانیا، از تیتانیوم اکسید با نام تجاری Degussa P25 از شرکت (ایونیک[1]) استفاده گردید.

۲-۳- تهیه خمیر آلومینا، کائولن، فلدسپار

نمونه صنعتی پیش ماده‌ی فلدسپار و پیش ماده آلومینا که یکی از مهم‌ترین اکسیدهای سرامیکی است و نمونه صنعتی پیش ماده کائولن از کارخانه کائولن خراسان تهیه شدند. خمیری متشکل از این سه ماده با درصدهای مشخص شده در جدول شماره ۲ تهیه شد.

۲-۴- ساخت فیلترها

به جهت ساخت فیلتر مواد (خمیر آلومینا- کائولن- فلدسپار، تیتانیوم اکسید و کربن فعال) مطابق جدول شماره ۲ و شکل شماره ۳ با یکدیگر مخلوط شدند که این عمل اختلاط در دستگاه همزن مکانیکی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه انجام گرفت، سپس زیر فشار پرس تا فشار ۳۰ مگا پاسکال فشرده شدند و درنهایت در کوره به مدت ۲۰ ساعت تحت حرارت قرار گرفتند، تغییرات حرارت دهی براساس زمان در شکل ۲ نمایش داده شده است. همچنین در شکل شماره ۴ نمونه‌ای از فیلترهای ساخته‌شده به نشان داده شده است.

۲-۵- پایلوت آزمایشگاهی فیلترهای کامپوزیت پایه سرامیکی

برای تست فیلترهای کامپوزیت سرامیکی یک ستاپ آزمایشگاهی ماژولار مورداستفاده قرار گرفت. که شماتیک آن در شکل شماره ۵ نمایش داده‌شده است. قبل و بعد از محل قرارگیری فیلتر، ۲ عدد فشارسنج قرار داده‌شده است (شماره ۸ و ۱۰) تا میزان اختلاف فشار به دست آید. به جهت کنترل فشار وارده بر فیلتر شیر بازیابی برای خروجی پمپ در نظر گرفته‌شده است. تمامی شیرهای استفاده‌شده از مدل کنترل دستی هستند. مخزن (شماره ۱۷) حاوی آب دریا است که به‌وسیله‌ی پمپ (شماره ۴) به‌طرف فیلتر (شماره ۹) هدایت می‌شود و پس از عبور از آن در مخزن (شماره ۱۹) جمع‌آوری می‌شود. برای کنترل میزان آب ارسالی به‌طرف فیلتر و همچنین فشار آب از دو شیر (شماره ۱) برای باز کردن خروجی مخزن و یک شیر (شماره ۷) جهت برگشت به داخل مخزن استفاده‌شده است. جهت جلوگیری از برگشت آب از خط اصلی به مخزن از یک شیر

[1] Evonik

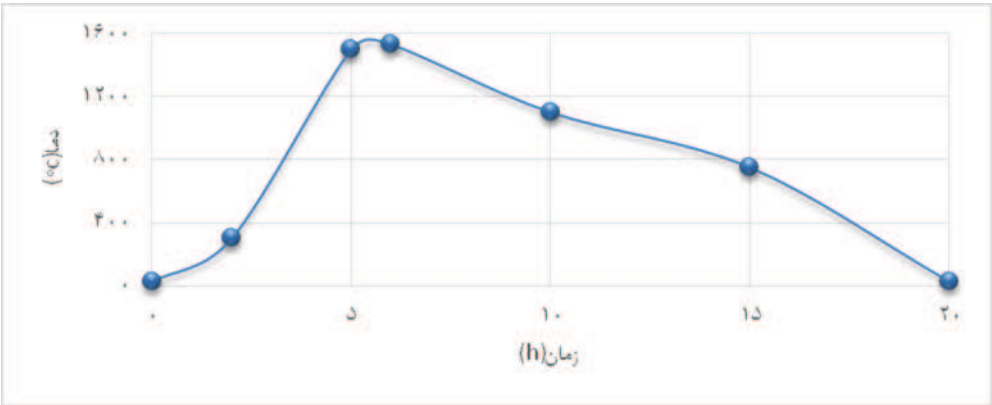
[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

یک‌طرفه (شماره ۵) استفاده‌شده است. فشار قبل و بعد از پمپ به‌وسیله‌ی دو فشارسنج اندازه‌گیری می‌شود (شماره ۲ و ۳). همچنین فشار قبل و بعد از پمپ شست‌وشو نیز به‌وسیله‌ی دو فشارسنج بررسی می‌شود (شماره ۱۳ و ۱۴). جهت شست‌وشوی فیلتر از یک پمپ (شماره ۱۵) استفاده می‌شود که آب مورداستفاده جهت شست‌وشو در مخزن (شماره ۱۸) نگهداری می‌شود. پمپ‌های مورد استفاده با قدرت ۲ اسب بخار هستند تا بتوانند فشار مورد نیاز برای عبور آب از فیلتر را تأمین کنند.

جدول ۲- مواد تشکیل دهنده فیلترهای ساخته شده

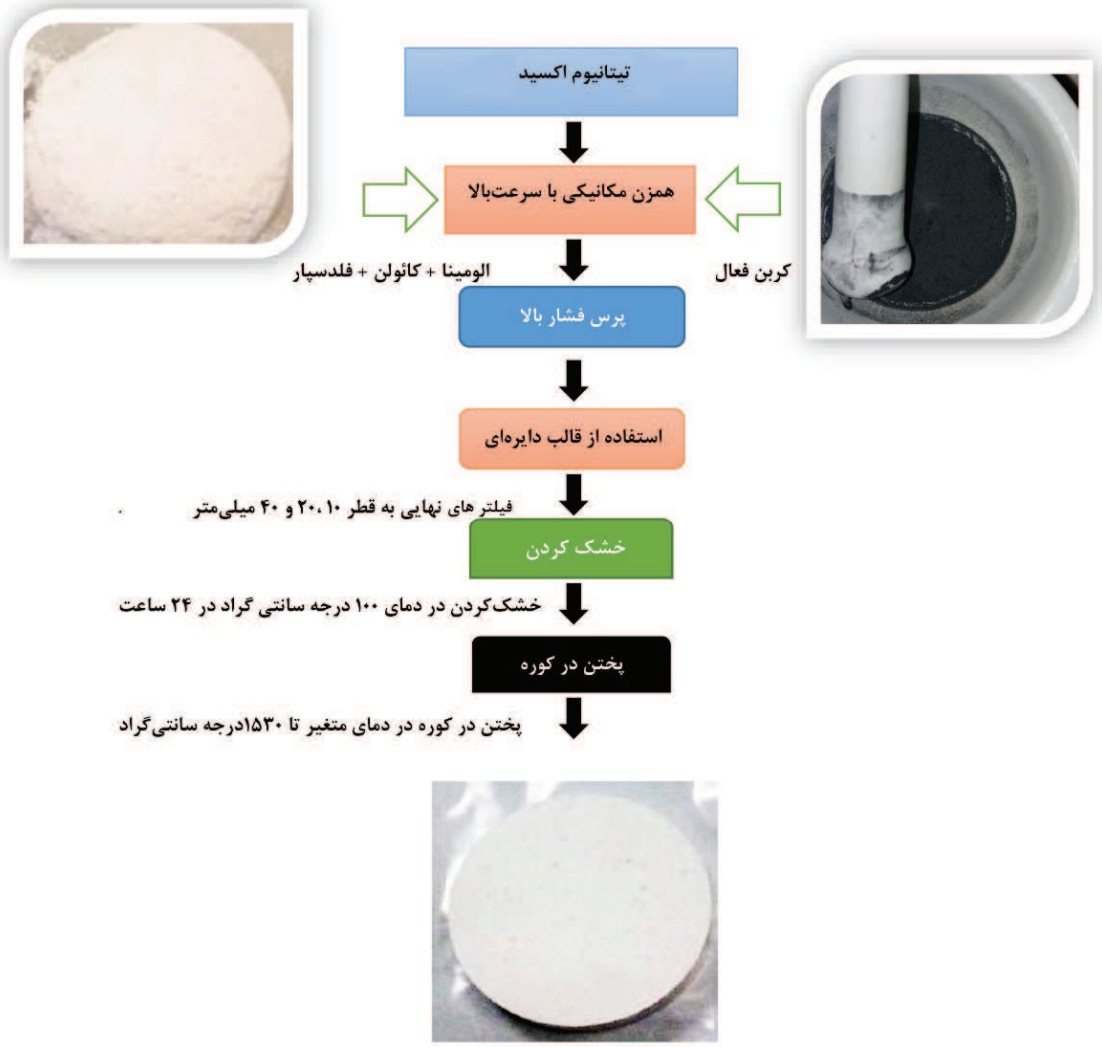
شماره نمونه	درصد وزنی آلومینا	درصد وزنی کائولن	درصد وزنی فلدسپار	درصد وزنی تیتانیوم اکسید	درصد وزنی کربن فعال
۱	۸۴	۱۲	۴	۰	۰
۲	۸۰	۱۰	۴	۲	۴
۳	۷۷	۱۰	۴	۲	۷
۴	۷۴	۱۰	۴	۲	۱۰
۵	۷۱	۸	۴	۲	۱۵
۶	۶۸	۸	۴	۲	۱۸
۷	۶۵	۸	۴	۲	۲۱
۸	۶۱	۸	۴	۲	۲۵
۹	۵۷	۸	۴	۲	۲۹



شکل ۲- نحوه حرارت‌دهی نمونه‌ها در کوره

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

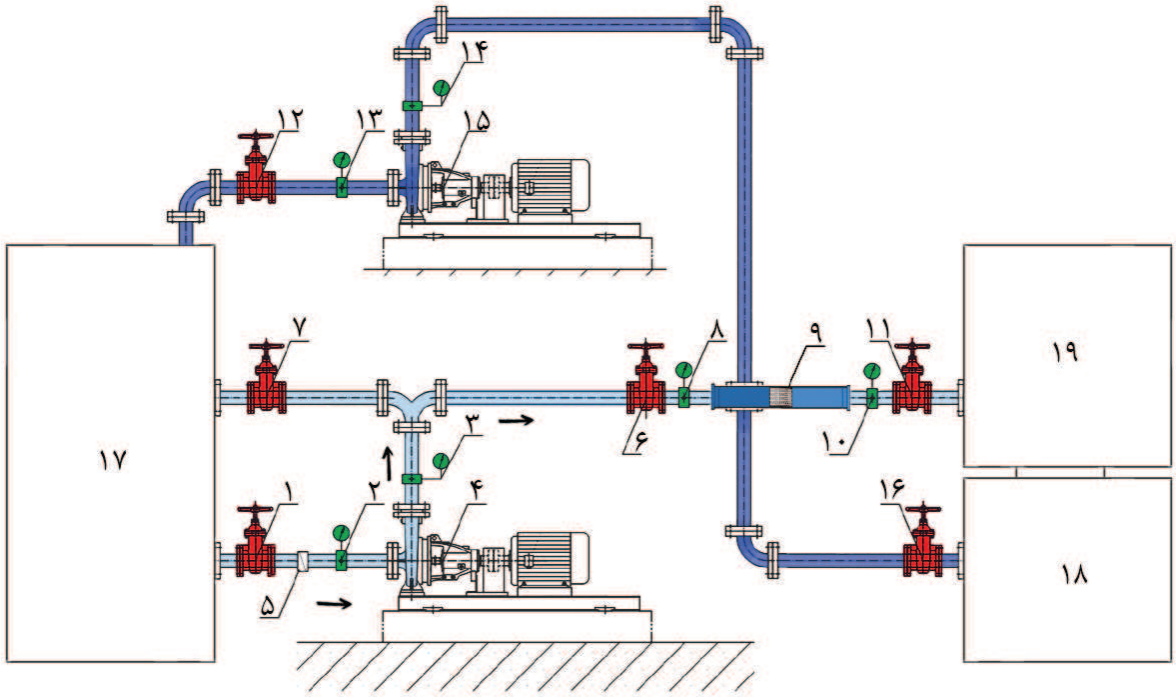


شکل ۳- شماتیک مراحل ساخت فیلترهای کامپوزیت پایه سرامیکی

شکل ۴- نمونه‌هایی از فیلترهای ساخته‌شده

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]



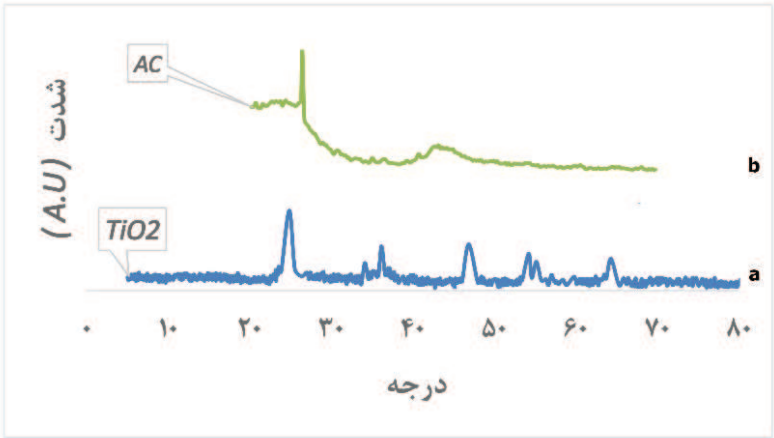
شکل ۵- شماتیک ستاپ آزمایشگاهی سیستم تست فیلتر

۲-۶- ارزیابی نمونه‌های سنتز شده

در این قسمت در اولین قدم آزمایش‌های شناسایی و کنترل سطح مواد سنتز شده قرار گرفته است به‌منظور شناسایی مواد.

۲-۷- پراش سنجی اشعه ایکس (XRD)

به‌منظور بررسی ساختار نمونه‌های آماده‌شده و کربن فعال، پراش سنجی اشعه ایکس (XRD) انجام شد که نتایج آن در شکل ۶ نشان داده‌شده است.



شکل ۶- الگوی XRD برای افزودنی‌های تیتانیا (a) و کربن فعال (b)

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

در شکل ۶ آنالیز XRD با دستگاه XRD- Philips PW 1840 ساخت شرکت فیلیپس هلند انجام‌شده است. بازتابش Kα از Cu (λ Kα=1.78897 °A) در شرایط ۴۰ KV و ۳۰ mA صورت گرفته است. تصاویر XRD از حالت مانیتوری (2θ) ۱۰ تا ۸۰ درجه و با سرعت زاویه‌ای (°/Sec) ۰/۰۲ ثبت‌شده‌اند. در شکل a TiO_2 که مربوط به ماده تیتانیا است، نشان می‌دهد که فاز کریستالی غالب آن آناتاز است و پیک‌های مشخصه آن در زوایای دقیق خود وجود دارند. شکل b AC مربوط به کربن فعال است که پیک‌های مشخصه در 2θ نقاط ۲۰ و ۴۳ درجه نشان‌دهنده‌ی تشکیل شدن کربن فعال است.

۲-۸- مساحت سطح (BET)

برای مشخص شدن مساحت سطح از دستگاه تخلخل‌سنج Surface Area & Porosity Analyzer(BET) ساخت شرکت Micronerities مدل TriStar II PLUS استفاده‌شده است. نتایج حاصل از مساحت سطح برای افزودنی‌ها نشان می‌دهد که مساحت سطح ویژه‌ی BET در دو ماده‌ی تولیدشده بالا هست و توانایی جذب بالایی را دارا هستند. مساحت سطح دو ماده در جدول شماره ۳ نمایش داده‌شده است.

جدول ۳- مساحت سطح ویژه‌ی مواد افزودنی

نمونه	مساحت سطح BET(m^2/g)
تیتانیوم اکسید	۵۴
کربن فعال	۲۰۲

۳- نتایج آزمون فیلتر

در این قسمت نتایج آزمون‌های فیلتری قرار داده‌شده است.

برای انجام آزمایش‌ها نمونه آب موردنظر از آب دریای خلیج‌فارس در ساحل بندر بوشهر جمع‌آوری شد و مورداستفاده قرار گرفت. میزان TDS آب دریا قبل از انجام آزمایش به‌وسیله‌ی دستگاه سختی سنج مدل KO JINE سنجیده شد. TDS آب دریا قبل از انجام آزمایش ۳۶۰۰۰ppm اندازه‌گیری شد. برای سنجش سختی کل آب از روش تیتراسیون به‌وسیله‌ی محلول EDTA (دی‌سدیک اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید) استفاده شد.

برای مشخص شدن میزان نیترات و نیتریت موجود در آب از دستگاه طیف‌سنج مرئی فرابنفش (UV-Visible) ساخت شرکت UNICO مدل UV/VIS 4800 استفاده شد.

ارزیابی عملکرد فیلترهای کامپوزیت پایه سرامیکی بعد از تصفیه آب انجام گرفت. نتایج به‌دست‌آمده با استانداردهای ایران به شماره استاندارد ۱۰۵۳ مقایسه شد و داده‌ها نشان می‌دهد فیلترهای کامپوزیت سرامیکی برای تصفیه آب بسیار خوب و بهینه عمل می‌کنند. داده‌های میزان تأثیر فیلترهای کامپوزیت سرامیکی بر روی پارامترهای کیفیت آب در جدول شماره ۴ نشان داده‌شده است. همچنین داده‌های نمایش داده‌شده در نمودارهای شکل شماره ۷ به‌خوبی نشان‌دهنده‌ی کارایی فیلترهای کامپوزیت سرامیکی برای تصفیه آب در بخش‌های مختلف هستند. هرچند جداسازی در فیلترها به‌صورت فیزیکی انجام می‌شود اما جداسازی نیتریت و نیترات بیشتر به دست سایت‌های فعالی است که به‌واسطه‌ی مواد فعال اضافه‌شده به فیلترهای کامپوزیت سرامیکی شکل‌گرفته است [۱۰و۵]. کاهش سختی کل آب نیز بیشتر به همان دلیل وجود سایت‌های فعال و تبادل یونی کربن فعال شکل‌گرفته است. همچنین

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

جذب سطحی انجام‌شده در سطح TiO_2 و کربن فعال نیز در این کاهش غلظت دخیل بوده است. در منابع مختلف بیان‌شده است که نانو مواد TiO_2 توانایی حذف مواد آلاینده‌ی موجود در آب را نیز دارا می‌باشند که می‌تواند کیفیت کلی آب را بالا ببرد[۱۰و۵].

میزان راندمان فیلترها تا ۱۵ لیتر آزمایش شد. بعد از فیلتر کردن ۱۵ لیتر آب کارایی فیلترها کمتر از ۵ درصد کاهش پیداکرده بود که نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای این فیلترها است. فیلترها در بازه‌های ۳ لیتری به‌وسیله‌ی سیستم شست‌وشو که برای آن‌ها طراحی‌شده بود بدون نیاز به باز کردن اتصلات ماژول فیلتر در ستاپ مورد بازیابی قرار گرفتند.

در تحقیق پیش رو بیشترین تأثیر پارامتری موجود در مواد اولیه شامل کربن فعال و تیتانیوم اکسید است که تغییر در درصد این مواد می‌تواند موجب به وجود آمدن خواص جدیدی در فیلتر ساخته‌شده شود. کربن فعال به دلیل داشتن سطح ویژه‌ی بالای خود می‌تواند پارامترهای مهمی در فیلتر ایجاد کند. این تغییرات و توانایی‌های جدید فیلتر ناشی از اضافه کردن کربن فعال در نمونه به دلیل سطح ویژه بالای کربن فعال و توانای جذب فیزیکی و شیمیایی این ماده ایجاد می‌شود. از طرفی وجود تیتانیوم اکسید موجب کاهش آلاینده‌های آب در کنار کربن فعال می‌شود به همین دلیل درصد وزنی این مواد تغییر بالای را از خود نشان می‌دهد در سطح نمونه‌های سنتز شده و برای جبران از درصد وزنی آلومینا که نقش پرکننده را دارد کم می‌شود[۱۲].

جدول ۴- میزان تصفیه پس از یک‌بار عبور از فیلتر با ضخامت ۲۰ میلی‌متری.

میزان در نمونه اولیه / شماره نمونه‌ها	نیترات ۵۱/۷ ppm	نیتریت ۲/۸ ppm	مواد جامد حل‌شده ۳۶۰۰۰ ppm	سختی کل ۵۴۲۰ ppm
فیلتر شماره ۱	۳۵/۷	۱/۹	۲۷۰۰	۴۱۰۰
فیلتر شماره ۲	۲۵/۴	۱/۵	۲۵۶۰	۳۸۰۰
فیلتر شماره ۳	۱۲	۰/۹۲	۱۸۲۰	۳۰۱۰
فیلتر شماره ۴	۷/۹	۰/۸۱	۱۵۰۰	۲۹۶۰
فیلتر شماره ۵	۶/۸	۰/۷۸	۹۶۰	۲۵۱۰
فیلتر شماره ۶	۵/۹	۰/۷	۹۱۰	۱۸۹۰
فیلتر شماره ۷	۵/۵	۰/۶۲	۷۲۰	۱۷۳۰
فیلتر شماره ۸	۵/۲	۰/۶۸	۸۰۰	۱۹۲۰
فیلتر شماره ۹	۵/۱	۰/۷	۸۳۰	۲۲۰۰
میزان استاندارد	۴۵	۰/۵	۵۰۰	۳۰۰

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

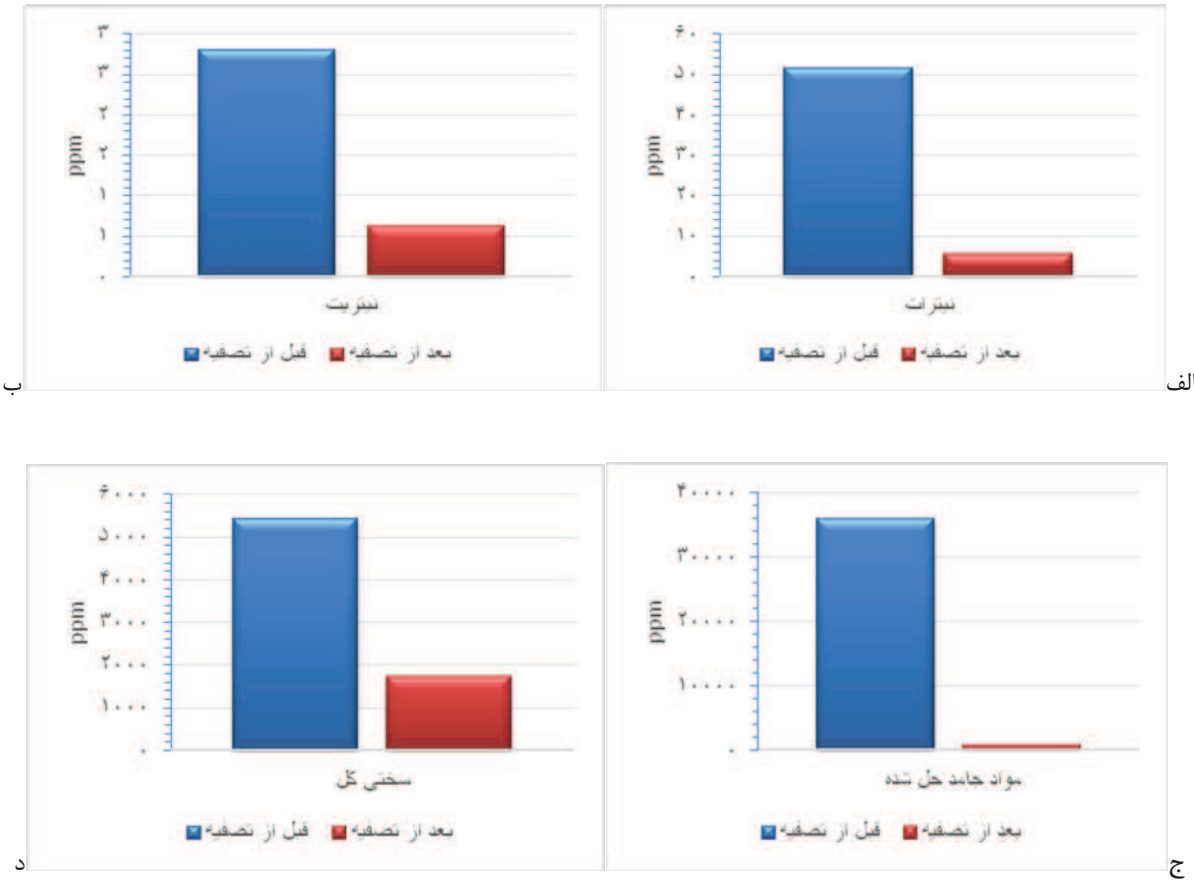
با توجه دقیق به مقادیر مختلف و پارامترهای مختلفی بررسی‌شده در جدول شماره ۴ که شامل پارامترهای کیفی آب می‌باشند و بررسی پارامترهای ساختاری این فیلترها در زمان سنتز که در جدول شماره ۳ بیان‌شده است می‌توان نتیجه گرفت که تنها فاکتور تأثیرگذار در میزان کارای فیلترها درصد کربن فعال است که در زمان سنتز فیلترهای مختلف تغییر چشم‌گیری را داشته است. وجود کربن فعال در فیلترها موجب جذب سطحی آلاینده‌ها می‌شود. این مهم با بارگذاری میزان بالاتر کربن فعال در فیلترها افزایش می‌یابد، اما همان‌گونه که مشاهده می‌شود با بارگذاری بیش از ۲۰ درصد به دلیل کلوخه شدن کربن فعال در سطح فیلتر راندمان کار کاهش شدید پیدا می‌کند. این مهم به دلیل جمع شدن و تجمع بالای کربن فعال در سطح فیلتر است که موجب کلوخه شدن کربن فعال و درنتیجه کاهش سطح ویژه‌ی آن ماده در فیلتر می‌شود. که موجب کاهش راندمان می‌گردد. از طرفی وجود تیتانیوم اکسید در فیلتر به دلیل تعامل‌های الکترواستاتیک آن در فیلتر موجب افزایش راندمان جذب و از طرفی حذف آلاینده‌ها می‌شود. این مهم می‌تواند تأثیر و کارای تیتانیوم اکسید را به‌خوبی مشخص کند. از طرفی در تحقیقات متعددی مشخص‌شده است که وجود بیش از ۲ درصد وزنی تیتانیوم اکسید به دلیل کلوخه شدن آن نمونه تأثیری را ایجاد نمی‌کند به همین دلیل بیش از ۲ درصد وزنی مورد آزمایش قرار نگرفت[۱۳]. همان‌گونه که در جدول بالا مشخص است میزان راندمان کاری تصفیه بسیار مفید بوده است به‌عنوان‌مثال میزان کل مواد محلول در آب از ppm ۳۶۰۰۰ به حدود ۷۲۰ppm کاهش‌یافته است. این در حالی است که تصفیه یک‌بار انجام‌گرفته است و در ادامه افزایش محتوای کربن فعال، میزان کل مواد جامد محلول در آب در نمونه‌های ۹و ۸ بعد از تصفیه افزایش می‌یابد، تخلخل بالاتر این فیلترها منجر به عبور بیشتر مواد محلول شده است. در عمل پیشنهاد می‌گردد که فرآیند تصفیه ۲ مرحله‌ای باشد تا پارامترهای استاندارد حاصل گردد. سختی و جامد حل‌شده در آب دریا بسیار بالا است و این باعث شده است یک مرحله تصفیه، استانداردهای لازم را ایجاد نکند به همین دلیل استفاده از دو مرحله فیلتر پیشنهاد می‌شود اما راندمان بالای فیلترها نشان‌دهنده‌ی کارای مثبت آن‌ها است. این ستاپ توانایی تصفیه آب‌های رودخانه و مابقی آب‌های پسماندهای خانگی را نیز به‌خوبی دارد؛ راندمان این تصفیه در موارد خانگی بسیار بالاتر خواهد بود به این دلیل که میزان آلایندگی، TDS، سختی کل در آب دریا در بیشترین مقدار خود است. به همین دلیل می‌توان از این سیستم در پیش تصفیه آب‌های تأمین‌شده از منابع دیگر نیز استفاده کرد.

غلظت مواد حل‌شده، قبل و بعد از عبور فیلتر برای فیلتر شماره‌ی ۷ نیز به‌صورت شماتیک در شکل ۸ شبیه‌سازی‌شده است که قبل از فیلتر غلظت این مواد بسیار بالا بوده است که پس از عبور از فیلتر به (زیر این غلظت) کاهش پیداکرده است. برای رسیدن به میزان تصفیه مناسب، آزمایش‌ها با انجام ۲ مرحله تصفیه با فیلتر ۲۰ میلی‌متری تکرار شد. نتایج حاصل با فیلتر نمونه شماره ۷ در جدول شماره ۵ آورده شده است. همان‌گونه که در جدول زیر مشخص است با تکرار دو مرحله‌ای فیلتر کردن اکثر پارامترهای آب به استاندارد رسیده و تا حدودی از میزان استاندارد نیز بهتر شده است. هرچند کارایی فیلترها حتی در

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

یک مرحله نیز بسیار چشمگیر می‌باشد. اما برای رسیدن به میـزان اسـتاندارد در پارامترهـای کیفیـت آب اسـتفاده از دو مرحله تـصفیه آب دریـا توسـط ایـن فیلترهـای کامپوزیـت سرامیکی پیشنهاد می‌شود.



شکل ۷- (الف): میزان تغییرات نیترات با استفاده از فیلتر نمونه شماره ۷ با قطر ۲۰ میلی‌متر

(ب): میزان تغییرات نیتریت با استفاده از فیلتر نمونه شماره ۷ با قطر ۲۰ میلی‌متر

(ج): میزان تغییرات مواد جامد حل‌شده با استفاده از فیلتر نمونه شماره ۷ با قطر ۲۰ میلی‌متر

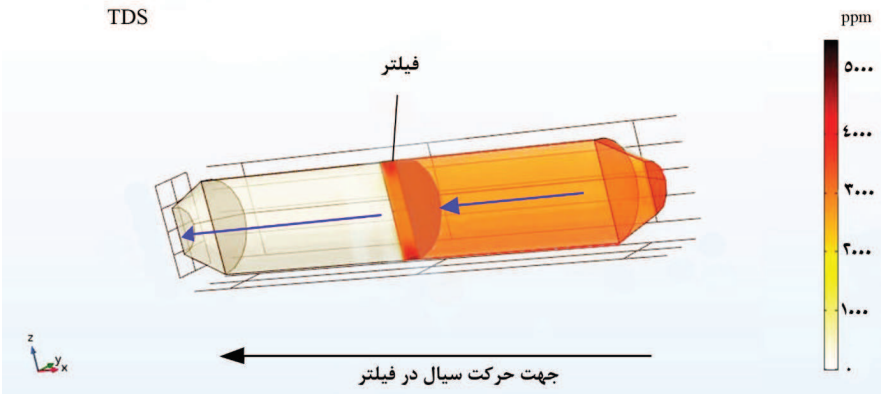
(د): میزان تغییرات سختی کل با استفاده از فیلتر نمونه شماره ۷ با قطر ۲۰ میلی‌متر

جدول ۵- میزان تصفیه پس از دو بار عبور از فیلتر ۲۰ میلی‌متری.

شماره نمونه‌ها	نیترات (ppm)	نیتریت (ppm)	مواد جامد حل‌شده (ppm)	سختی کل (ppm)
میزان در نمونه اولیه	۵۱/۷	۲/۸	۳۶۰۰۰	۵۴۲۰
فیلتر شماره ۷	۳/۲	۰/۳	۴۱۰	۳۸۵
میزان استاندارد	۴۵	۰/۵	۵۰۰	۳۰۰

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]



شکل ۸- شماتیک عبور و کاهش غلظت مواد حل‌شده در آب از فیلتر شبیه‌سازی‌شده

۴- نتیجه‌گیری

پس‌از بررسی‌های انجام‌شده بهترین قطر فیلترهای کامپوزیت سرامیکی از میان فیلترهای ساخته‌شده، ضخامت ۲۰ میلی‌متر مشخص شد. این مهم به دلیل میزان عبور قابل قبول و کیفیت فیلتراسیون بهینه‌ی فیلرها در این ضخامت است. بهترین میزان ترکیب برای ساخت فیلترهای کامپوزیت سرامیکی برای آلومینا، کائولن، فلدسپار، تیتانیوم اکسید و کربن فعال به ترتیب ۶۵، ۸، ۴، ۲ و ۲۱ درصد وزنی براساس نتایج فیلتراسیون مشخص شد. حداکثر میزان تصفیه برای پارامترهای نیترات و نیتریت در نمونه فیلتر شماره ۷ به ترتیب ۹۰و ۷۸ درصد مشخص شد، همچنین ۹۸و ۶۸ درصد کاهش به ترتیب در میزان مواد جامد محلول در آب و سختی کل برای فیلتر مذکور بدست آمد.

مراجع

[1] Serio F, Miglietta PP, Lamastra L, Ficocelli S, Intini F, De Leo F, De Donno A. Groundwater nitrate contamination and agricultural land use: A grey water footprint perspective in Southern Apulia Region (Italy). Science of the Total Environment. 2018 Dec 15;645:1425-31.

[2] du Plessis A. Current and future water scarcity and stress. InWater as an Inescapable Risk 2019 (pp. 13-25). Springer, Cham.

[3] Tortora F, Innocenzi V, di Celso GM, Vegliò F, Capocelli M, Piemonte V, Prisciandaro M. Application of micellar-enhanced ultrafiltration in the pre-treatment of seawater for boron removal. Desalination. 2018 Feb 15;428:21-8.

[4] Zhang Y, Wei S, Yong M, Liu W, Liu S. YxSi1-xO2-SO3H self-assembled membrane formed on phosphorylated YxSi1-xO2/Al2O3 for oily seawater partial desalination and deep cleaning. Journal of membrane science. 2018 Jun

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

15;556:384-92.

[5] Hilal N, Al-Zoubi H, Darwish NA, Mohamma AW, Arabi MA. A comprehensive review of nanofiltration membranes: Treatment, pretreatment, modelling, and atomic force microscopy. Desalination. 2004 Nov 5;170(3):281-308.

[6] Seeger H. The history of German waste water treatment. European Water Management. 1999;2:51-6.

[7] Zsirai T, Al-Jaml AK, Qiblawey H, Al-Marri M, Ahmed A, Bach S, Watson S, Judd S. Ceramic membrane filtration of produced water: Impact of membrane module. Separation and Purification Technology. 2016 Jun 13;165:214-21.

[8] Hubadillah SK, Othman MH, Ismail AF, Rahman MA, Jaafar J, Iwamoto Y, Honda S, Dzahir MI, Yusop MZ. Fabrication of low cost, green silica based ceramic hollow fibre membrane prepared from waste rice husk for water filtration application. Ceramics International. 2018 Jun 15;44(9):10498-509.

[9] Shivaraju HP, Egumbo H, Madhusudan P, Anil Kumar KM, Midhun G. Preparation of affordable and multifunctional clay-based ceramic filter matrix for treatment of drinking water. Environmental technology. 2019 Jun 7;40(13):1633-43.

[10] Demiral H, Gündüzoğlu G. Removal of nitrate from aqueous solutions by activated carbon prepared from sugar beet bagasse. Bioresource technology. 2010 Mar 1;101(6):1675-80.

[۱۱] فانی خشتی محمد، ساعی مقدم مجتبی، یونسی علی. ساخت غشاهای سرامیکی ارزان قیمت جهت کاهش ذرات جامد محلول در آب. علم و مهندسی سرامیک. ۱۳۹۷; ۷ (۳) :۶۱-۵۳

[12] Nguyen TV, Jeong S, Pham TT, Kandasamy J, Vigneswaran S. Effect of granular activated carbon filter on the subsequent flocculation in seawater treatment. Desalination. 2014 Dec 1;354:9-16.

[13] Shaban YA, El Sayed MA, El Maradny AA, Al Farawati RK, Al Zobidi MI. Photocatalytic degradation of phenol in natural seawater using visible light active carbon modified (CM)-n-TiO2 nanoparticles under UV light and natural sunlight illuminations. Chemosphere. 2013 Apr 1;91(3):307-13.

[Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4]

[DOR: 20.1001.1.23222352.1398.8.1.3.4] [Downloaded from ijcse.ir on 2026-06-24]