

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

چکیده:

در مقاله‌ی پیش‌رو کامپوزیت‌های سرامیکی بر پایه آلومینا طبیعی و مواد فعال جاذب برای تصفیه آب دریا تهیه شده است. نتایج نهایی آزمایش‌ها نشان‌دهنده‌ی کارایی قابل قبول 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 مورد استفاده قرار گرفت. نرخ فیلتراسیون تحت فشار ۳ بار در حدود ۳۰۰ میلی‌لیتر در ساعت بوده است. روی هم رفته، بهترین نتایج برای فیلتر ساخته شده با ۲۱ و ۲ درصد وزنی کربن فعال و تیتانیوم اکسید بدست آمد. به این ترتیب میزان کاهش برای نیترات، نیتريت، 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 ساخته شده ارزان قابلیت شست‌وشو و استفاده‌ی مجدد و دوام بالا را دارا می‌باشند که می‌توانند آب دریا را بصورت موثر به حد قابل آشامیدن برسانند.

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۶ اسفند ۱۳۹۷
پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۳۹۸

کلید واژه:

فیلتر کامپوزیت سرامیکی، تصفیه آب، تیتانیوم اکسید، کربن فعال، مواد جامد محلول

۱- مقدمه

تحقیقات پزشکی جدید نشان می‌دهد که هر ساله 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 قابل شناسایی به وجود آمده به وسیله‌ی استفاده از منابع آب آلوده است، در حالی که آلودگی‌های ناشی از منابع آبی حاوی نیترات و نیتريت 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].



فیلترهای کامپوزیت سرامیکی یکی از مهم‌ترین و کارآمدترین فیلترهای مورد استفاده در صنایع مختلف از جمله 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^۱ 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 از جمله 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 پیشنهاد شده است [۸]. برای برطرف کردن موارد یاد شده و ایجاد کامپوزیت پایه سرامیکی متخلخل و پایدار استفاده از کربن فعال^۲ و مواد متخلخل همچون تیتانیوم اکسید^۳ 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 بیان شده است که این مواد به دلیل داشتن خاصیت اکسندگی موجب کاهش آلاینده‌های آلی نیز می‌شوند [۹ و ۱۰].

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. از این رو دست‌یابی به روش‌های تصفیه آب جدید، کارآمد و بادوام به یکی از چالش‌های اصلی دنیای امروز تبدیل شده است [۳]. از طرفی استانداردهای کیفیتی آب هر ساله 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 حل شده 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 قابل توجه‌ای 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 شناخته شده 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 فیلترها 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 پیشرفت‌های بزرگی در دنیای امروز شده است [۶].

¹ Ceramic Matrix Composite

² Activated carbon

³ Titanium oxide



۲- فعالیت های تجربی

۲-۱- فیلتر

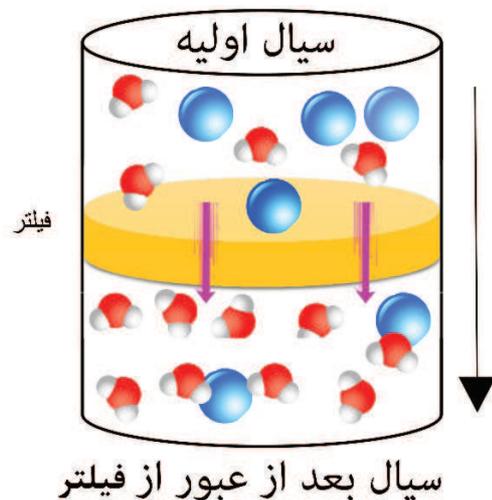
در این مقاله از فیلترهای کامپوزیت سرامیکی ارزان قیمت استفاده شد که با مواد افزودنی مختلف تقویت شد. فیلترهای کامپوزیت سرامیکی در سه ضخامت ۱۰، ۲۰ و ۴۰ میلی متری تهیه شدند و مورد تست قرار گرفتند. برای ساخت فیلترهای کامپوزیت سرامیکی از روش ارزان قیمت مخلوط کردن مواد با روش دوغابی و پرس با فشار بالا استفاده شده است [۱۱]. فیلترهای تولیدی در ضخامت های مختلف تست شد و سپس بهترین کارایی از نظر تراوایی و میزان فیلتراسیون انتخاب شد.

بیشترین افت فشار در نمونه با ضخامت ۴۰ میلی متر مشاهده شد. به دلیل افت فشار بالای نمونه و تراوایی بسیار کم آن فیلتر، استفاده از این فیلتر به صرفه نبوده و فیلترهای ۲۰ میلی متری پیشنهاد می گردد. در جدول شماره ۱ میزان کارایی نمونه فیلترهای ایجاد شده با ترکیبات بهینه و میزان مواد جامد محلول (TDS) بعد از عبور از فیلترها آورده شده است.

جدول ۱- میزان کارایی فیلترهای بهینه در ضخامت های مختلف

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

در این مقاله روشی ساده برای تولید کامپوزیت های پایه سرامیکی حاوی آلومینا به عنوان ماده ی پایه و تیتانیوم اکسید و کربن فعال به عنوان مواد تشکیل دهنده فعال در جهت جذب و کاهش آلاینده ها پیشنهاد شد که بر اساس آزمایش های انجام گرفته با استفاده از پایلوت ساخته شده نشان داده شد که در عمل نیز بسیار کارآمد است. در شکل شماره ۱ شماتیک تصفیه آب به وسیله ی فیلترهای کامپوزیت سرامیکی نمایش داده شده است.



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

همان گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است کاربرد اصلی فیلتر در مرحله ی اولی جدا کردن ذرات معلق موجود در آب است که آن ها را بر اساس اندازه مولکولی شان از آب جدا می کند. به بیانی دیگر مولکول های که از یک اندازه خاص بزرگتر باشند توانایی عبور از فیلتر را ندارند و همین امر باعث می شود پس از فیلتر ذرات معلق محلول در آب جدا شده و آب خالصی را داشته باشیم.



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 در نهایت 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 ساخته شده به نشان داده شده است.

۲-۵- پایلوت آزمایشگاهی فیلترهای کامپوزیت پایه سرامیکی

برای تست فیلترهای کامپوزیت سرامیکی یک ستاپ آزمایشگاهی ماژولار مورد استفاده قرار گرفت. که شماتیک آن در شکل شماره ۵ نمایش داده شده است. قبل و بعد از محل قرارگیری فیلتر، ۲ عدد فشارسنج قرار داده شده است (شماره ۸ و ۱۰) تا میزان اختلاف فشار به دست آید. به جهت کنترل فشار وارده بر فیلتر شیر بازبایی برای خروجی پمپ در نظر گرفته شده است. تمامی شیرهای استفاده شده از مدل کنترل دستی هستند. مخزن (شماره ۱۷) حاوی آب دریا است که به وسیله پمپ (شماره ۴) به طرف فیلتر (شماره ۹) هدایت می شود و پس از عبور از آن در مخزن (شماره ۱۹) جمع آوری می شود. برای کنترل میزان آب ارسالی به طرف 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 استفاده شده است. جهت جلوگیری از برگشت آب از خط اصلی به مخزن از یک شیر

همان گونه که در جدول شماره ۱ مشخص شده است میزان عبور آب از فیلترها در ضخامت ۴۰ میلی متر بسیار کم است و از طرفی میزان TDS آب با ضخامت ۲۰ میلی متر تفاوت زیادی ندارد به همین دلیل استفاده از فیلترهای ۲۰ میلی متری ارجحیت دارد.

۲-۲- افزودنی‌ها

در وهله اول برای تولید کربن فعال از گردهای ایرانی با نام علمی *Juglans regia* استفاده شد و پس از جداسازی پوست به خوبی شست و شو شد. سپس در دمای 75°C در آن خشک شد. پس از خشک شدن به مدت ۶ ساعت در هم زن به خوبی پودر شده و در درون آن تحت اتمسفر نیتروژن در دمای 950°C به مدت ۸ ساعت حرارت داده شد تا زغال چوب تشکیل شود. زغال چوب تهیه شده به مدت ۲۴ ساعت در محلول ۲ میلی گرم کلرید کلسیم برای فعال شدن قرار داده شد. سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 50°C درجه سانتی گراد خشک شدند و برای منبع تیتانیوم، از تیتانیوم اکسید با نام تجاری Degussa P25 از شرکت (ایونیک^۱) استفاده گردید.

۲-۳- تهیه خمیر آلومینا، کائولن، فلدسپار

نمونه صنعتی پیش ماده‌ی فلدسپار و پیش ماده آلومینا که یکی از مهم ترین 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.

¹ Evonik

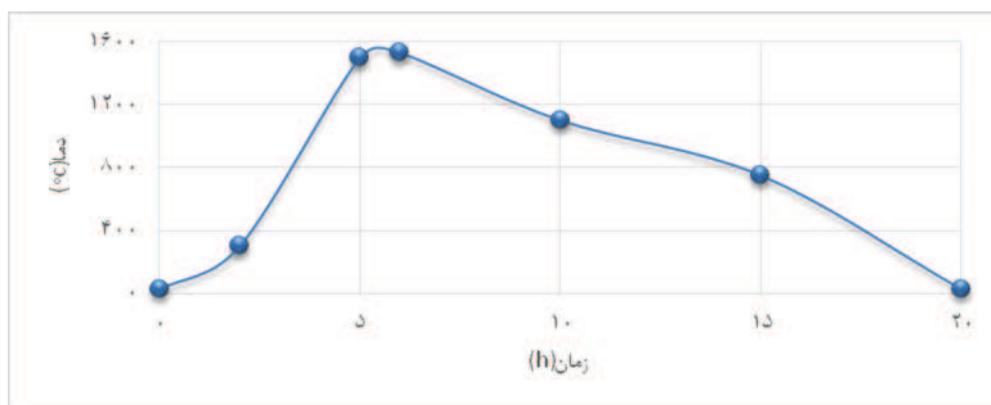


می‌شود که آب مورد استفاده جهت شست‌وشو در مخزن (شماره ۱۸) نگهداری می‌شود. پمپ‌های مورد استفاده با قدرت ۲ اسب بخار هستند تا بتوانند فشار مورد نیاز برای عبور آب از فیلتر را تأمین کنند.

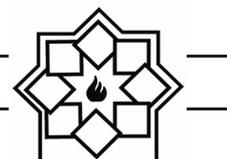
یک طرفه (شماره ۵) استفاده شده است. فشار قبل و بعد از پمپ به وسیله‌ی دو فشارسنج اندازه‌گیری می‌شود (شماره ۲ و ۳). همچنین فشار قبل و بعد از پمپ شست‌وشو نیز به وسیله‌ی دو فشارسنج بررسی می‌شود (شماره ۱۳ و ۱۴). جهت شست‌وشوی فیلتر از یک پمپ (شماره ۱۵) استفاده

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



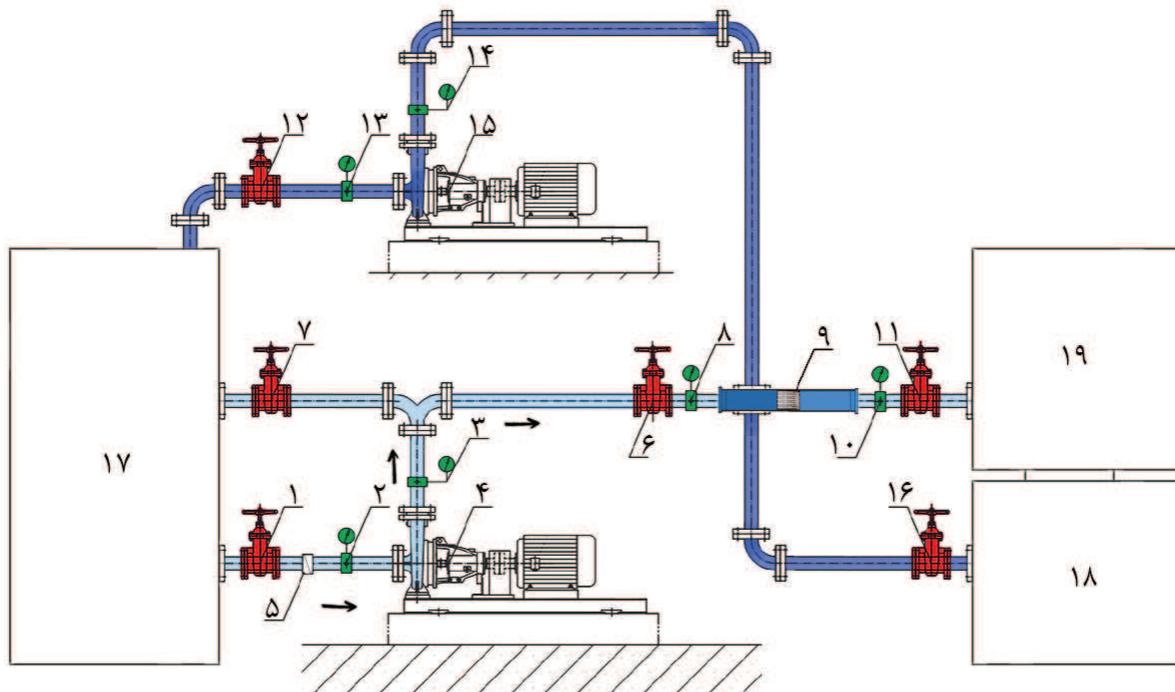
شکل ۲- نحوه حرارت‌دهی نمونه‌ها در کوره



شکل ۳- شماتیک مراحل ساخت فیلترهای کامپوزیت پایه سرامیکی



شکل ۴- نمونه‌هایی از فیلترهای ساخته شده



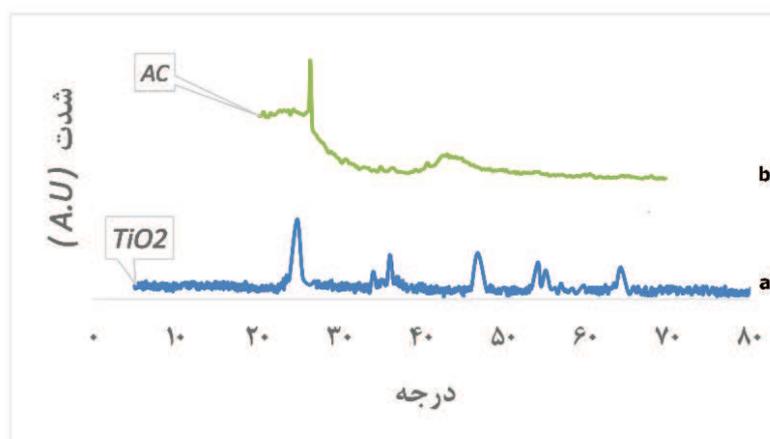
شکل ۵- شماتیک ستاپ آزمایشگاهی سیستم تست فیلتر

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 داده شده است.



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



برای انجام آزمایش‌ها نمونه آب موردنظر از آب دریای خلیج فارس در ساحل بندر بوشهر جمع‌آوری شد و مورد استفاده قرار گرفت. میزان TDS آب دریا قبل از انجام آزمایش به وسیله‌ی دستگاه سختی سنج مدل KO JINE سنجیده شد. TDS آب دریا قبل از انجام آزمایش ۳۶۰۰ ppm اندازه‌گیری شد. برای سنجش سختی کل آب از روش تیتراسیون به وسیله‌ی محلول EDTA (دی‌سدیک اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید) استفاده شد.

برای مشخص شدن میزان نیترات و نیتريت 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 داده شده است. همچنین داده‌های نمایش داده شده در نمودارهای شکل شماره ۷ به خوبی نشان‌دهنده‌ی کارایی فیلترهای کامپوزیت سرامیکی برای تصفیه آب در بخش‌های مختلف هستند. هرچند جداسازی در فیلترها به صورت فیزیکی انجام می‌شود اما جداسازی نیتريت و نیترات بیشتر به دست سایت‌های فعالی است که به واسطه‌ی مواد فعال اضافه شده به فیلترهای کامپوزیت سرامیکی شکل گرفته است [۱۰ و ۵]. کاهش سختی کل آب نیز بیشتر به همان دلیل وجود سایت‌های فعال و تبادل یونی کربن فعال شکل گرفته است. همچنین

در شکل ۶ آنالیز XRD با دستگاه XRD- Philips PW 1840 ساخت شرکت فیلیپس هلند انجام شده است. بازتابش $K\alpha$ از Cu ($\lambda K\alpha=1.78897 \text{ \AA}$) در شرایط ۴۰ KV و ۳۰ mA صورت گرفته است. تصاویر XRD از حالت مانیتوری (2θ) ۱۰ تا ۸۰ درجه و با سرعت زاویه‌ای ۰/۲ (°/Sec) ثبت شده‌اند. در شکل a TiO_2 که مربوط به ماده تیتانیا است، نشان می‌دهد که فاز کریستالی غالب آن آناز 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) شرکت Microneritics مدل TriStar II PLUS استفاده شده 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 داده شده 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 داده شده است.



اولیه شامل کربن فعال و تیتانیوم اکسید است که تغییر در درصد این مواد می‌تواند موجب به وجود آمدن خواص جدیدی در فیلتر ساخته شده 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].

جذب سطحی انجام شده در سطح TiO_2 و کربن فعال نیز در این کاهش غلظت دخیل بوده است. در منابع مختلف بیان شده 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 [۵۱۰].

میزان راندمان فیلترها تا ۱۵ لیتر آزمایش شد. بعد از فیلتر کردن ۱۵ لیتر آب کارایی فیلترها کمتر از ۵ درصد کاهش پیدا کرده بود که نشان دهنده‌ی کارایی بالای این فیلترها است. فیلترها در بازه‌های ۳ لیتری به وسیله‌ی سیستم شست‌وشو که برای آن‌ها طراحی شده بود بدون نیاز به باز کردن اتصالات ماژول فیلتر در ستاپ مورد بازیابی قرار گرفتند.

در تحقیق پیش رو بیشترین تأثیر پارامتری موجود در مواد

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

میزان در نمونه اولیه	نیترات ۵۱۷ ppm	نیتريت ۲/۸ ppm	مواد جامد حل شده ۳۶۰۰۰ ppm	سختی کل ۵۴۲۰ ppm	شماره نمونه‌ها
۳۵/۷	۱/۹	۲۷۰۰	۴۱۰۰	فیلتر شماره ۱	
۲۵/۴	۱/۵	۲۵۶۰	۳۸۰۰	فیلتر شماره ۲	
۱۲	۰/۹۲	۱۸۲۰	۳۰۱۰	فیلتر شماره ۳	
۷/۹	۰/۸۱	۱۵۰۰	۲۹۶۰	فیلتر شماره ۴	
۶/۸	۰/۷۸	۹۶۰	۲۵۱۰	فیلتر شماره ۵	
۵/۹	۰/۷	۹۱۰	۱۸۹۰	فیلتر شماره ۶	
۵/۵	۰/۶۲	۷۲۰	۱۷۳۰	فیلتر شماره ۷	
۵/۲	۰/۶۸	۸۰۰	۱۹۲۰	فیلتر شماره ۸	
۵/۱	۰/۷	۸۳۰	۲۲۰۰	فیلتر شماره ۹	
۴۵	۰/۵	۵۰۰	۳۰۰	میزان استاندارد	



و در ادامه افزایش محتوای کربن فعال، میزان کل مواد جامد محلول در آب در نمونه‌های ۹ و 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 حل شده 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 کارایی مثبت آن‌ها است. این ستاپ توانایی تصفیه آب‌های رودخانه و مابقی آب‌های پسماندهای خانگی را نیز به خوبی دارد؛ راندمان این تصفیه در موارد خانگی بسیار بالاتر خواهد بود به این دلیل که میزان آلاینده‌ی، TDS، سختی کل در آب دریا در بیشترین مقدار خود است. به همین دلیل می‌توان از این سیستم در پیش تصفیه آب‌های تأمین شده از منابع دیگر نیز استفاده کرد.

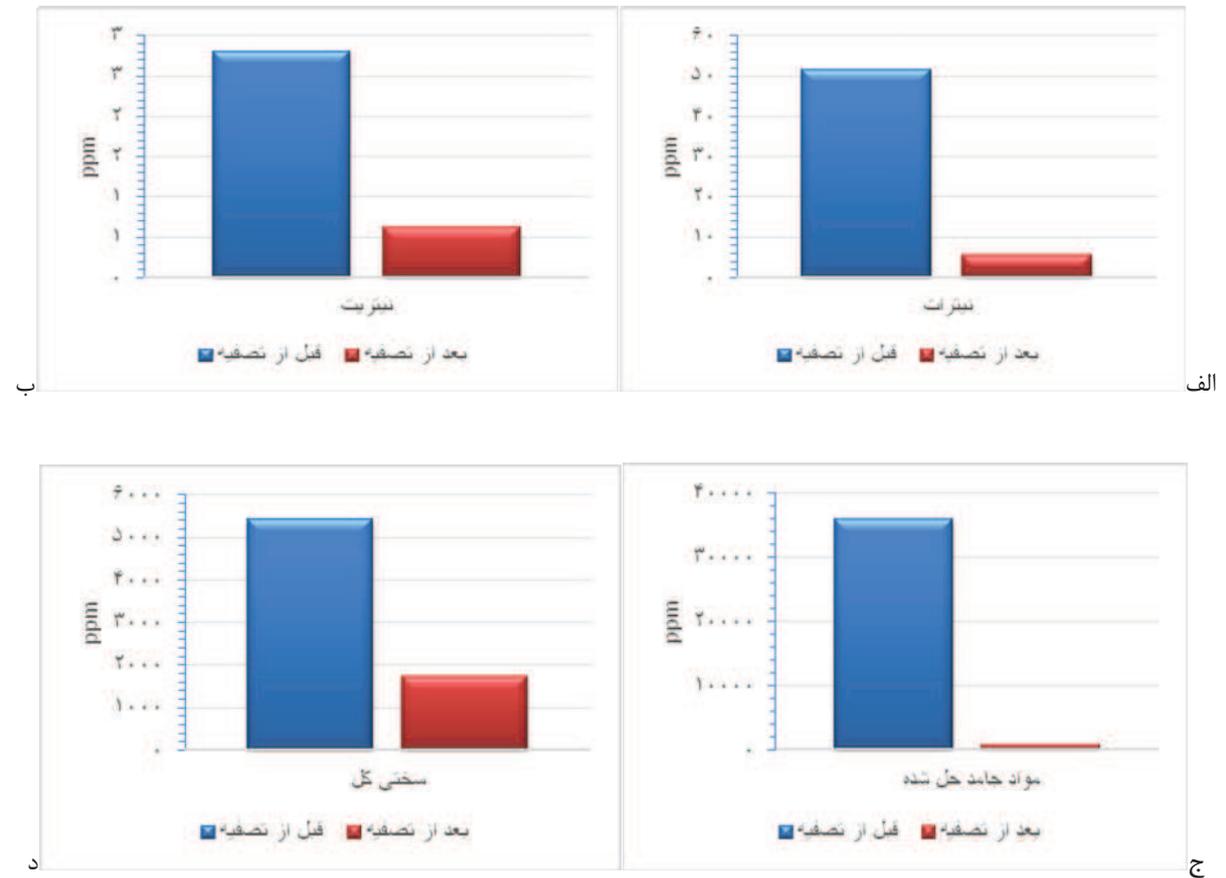
غلظت مواد حل شده، قبل و بعد از عبور فیلتر برای فیلتر شماره‌ی ۷ نیز به صورت شماتیک در شکل ۸ شبیه‌سازی شده است که قبل از فیلتر غلظت این مواد بسیار بالا بوده است که پس از عبور از فیلتر به (زیر این غلظت) کاهش پیدا کرده است. برای رسیدن به میزان تصفیه مناسب، آزمایش‌ها با انجام ۲ مرحله تصفیه با فیلتر ۲۰ میلی‌متری 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

با توجه دقیق به مقادیر مختلف و پارامترهای مختلفی بررسی شده در جدول شماره ۴ که شامل پارامترهای کیفی آب می‌باشند و بررسی پارامترهای ساختاری این فیلترها در زمان سنتز که در جدول شماره ۳ بیان شده است می‌توان نتیجه گرفت که تنها فاکتور تأثیرگذار در میزان کارایی 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 در نتیجه 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 کارایی تیتانیوم اکسید را به خوبی مشخص کند. از طرفی در تحقیقات متعددی مشخص شده 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 به‌عنوان مثال میزان کل مواد محلول در آب از ppm ۳۶۰۰۰ به حدود ppm ۷۲۰ کاهش یافته است. این در حالی است که تصفیه یک‌بار انجام گرفته است



مرحله تصفیه آب دریا توسط این فیلترهای کامپوزیت سرامیکی پیشنهاد می‌شود.

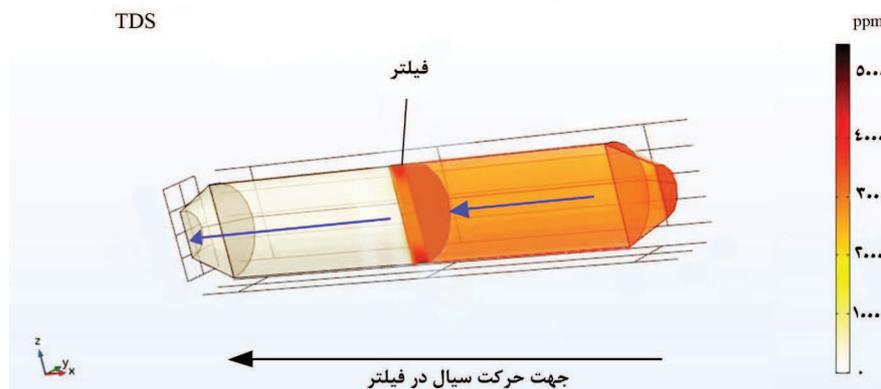
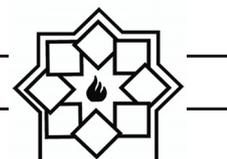
یک مرحله نیز بسیار چشمگیر می‌باشد. اما برای رسیدن به میزان استاندارد در پارامترهای کیفیت آب استفاده از دو



شکل ۷- (الف): میزان تغییرات نیترات با استفاده از فیلتر نمونه شماره ۷ با قطر ۲۰ میلی‌متر
 (ب): میزان تغییرات نیتريت با استفاده از فیلتر نمونه شماره ۷ با قطر ۲۰ میلی‌متر
 (ج): میزان تغییرات مواد جامد حل شده 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)	نیتريت (ppm)	مواد جامد حل شده (ppm)	سختی کل (ppm)
میزان در نمونه اولیه	۵۱/۷	۲/۸	۳۶۰۰	۵۴۲۰
فیلتر شماره ۷	۳/۲	۰/۳	۴۱۰	۳۸۵
میزان استاندارد	۴۵	۰/۵	۵۰۰	۳۰۰



شکل ۸- شماتیک عبور و کاهش غلظت مواد حل شده در آب از فیلتر شبیه سازی شده

۴- نتیجه گیری

پس از بررسی های انجام شده بهترین قطر فیلترهای کامپوزیت سرامیکی از میان فیلترهای ساخته شده، ضخامت ۲۰ میلی متر مشخص شد. این مهم به دلیل میزان عبور قابل قبول و کیفیت فیلتراسیون بهینه ی 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 نیتريت در نمونه فیلتر شماره ۷ به ترتیب ۹۰ و ۷۸ درصد مشخص شد، همچنین ۹۸ و 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. In *Water 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. $Y_xSi_{1-x}O_2-SO_3H$ self-assembled membrane formed on phosphorylated $Y_xSi_{1-x}O_2/Al_2O_3$ for oily seawater partial desalination and deep cleaning. *Journal of membrane science*. 2018 Jun



- 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.
- 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

