

ساخت فیلتر تصفیه آب چند لایه قابل حمل انفرادی با کاربرد در شرایط اضطرار

حسن توکلی^۱، سجاد هاشمی^۲، رسول امیر خانی^۳، مهدی غلام پور^۴

چکیده

در این کار طراحی، ساخت و بررسی عملکرد یک دستگاه تصفیه آب فشرده سبک و قابل حمل با خواص ضد میکروبی مورد مطالعه قرار گرفته است. اجزای اصلی این فیلتر، شامل گراول و ماسه، نانوذرات سیلیس، کربن فعال و ژئولیت کلینوپتیلولیت پوشش داده شده با نانوذرات نقره است. این اجزا به صورت سری در یک محفظه استوانه‌ای شکل شیشه‌ای چیده شده‌اند تا آلاینده‌های مختلف را از آب حذف کنند. در ابتدا سطح نانوذرات سیلیس با ترکیب ۳- آمینو پروپیل تری اتوکسی سیلان اصلاح گردید و سطح کربن فعال با نیتریک اسید عامل‌دار و در مرحله بعد با نانوذرات نقره پوشش داده شدند. علاوه بر این، ژئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت با استفاده از روش کاهش شیمیایی با نانوذرات نقره پوشش داده شد. کامپوزیت‌ها با استفاده از آنالیزهای مختلف شامل: میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، پراش اشعه ایکس (XRD) و طیف‌سنجی پرتو ایکس پراکنده انرژی (EDAX) ارزیابی گردیدند. نمونه‌های آب قبل و بعد از عبور از فیلتر چند لایه از طریق تست pH، تست کدورت، بررسی سختی کل، شمارش بیشترین تعداد احتمالی باکتری‌ها (MPN)، تست اکسیژن خواهی بیولوژیکی (BOD) و تست اکسیژن خواهی شیمیایی (COD) مورد ارزیابی قرار گرفتند. مزایای این فیلتر عبارتند از: اولاً، عملکرد ضد باکتریایی قوی از خود نشان می‌دهد و به طور موثری بار آلودگی میکروبی در آب را کاهش می‌دهد. ثانیاً می‌تواند پارامترهای کدورت، BOD و COD را در آب کاهش دهد که نشان‌دهنده کارایی آن در تصفیه آب است. علاوه بر این، عملکرد بالایی در کاهش سختی کل و مقدار کلراید و نیترات از خود نشان داد. فیلتر نیازی به منبع انرژی خارجی ندارد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که فیلتر طراحی شده یک دستگاه تصفیه آب بسیار کارآمد و مطلوب است.

کلمات کلیدی: فیلتر تصفیه آب قابل حمل، نانوکامپوزیت، نانوذرات نقره، کربن فعال

^۱-استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران.

^۲-دکترای شیمی کاربردی، گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران.

^۳- مربی گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران.

^۴- استادیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، ایران.

مقدمه

اگرچه بیش از ۷۰٪ از سطح کره زمین با آب پوشده شده است، اما کمتر از ۳٪ از آن به عنوان آب شیرین در دسترس است. از این مقدار ناچیز، ۷۹٪ به تشکیل قله‌های یخی می‌پردازد، ۲۰٪ نیز به عنوان آب‌های زیرزمینی شناخته می‌شود که به راحتی در دسترس نیستند. فقط ۱٪ از آب شیرین باقیمانده را دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چاه‌ها تشکیل می‌دهد که به راحتی قابلیت دسترسی دارند.

بنابراین، منابع آب آشامیدنی عبارتند از: آب‌های موجود در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، دریاها و اقیانوس‌ها. این منابع آبی ممکن است به وسیله آلاینده‌های مختلف آلوده شوند. آلاینده‌های مختلف شامل آلاینده‌های شیمیایی، بیولوژیکی، فیزیکی و حرارتی هستند. این آلاینده‌ها می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر روی محیط زیست و سلامت انسان داشته باشند. اثرات زیست محیطی شامل آلودگی اکوسیستم‌های آبی است که منجر به از بین رفتن زیستگاه‌های طبیعی و کاهش تنوع زیستی می‌شود.

آلاینده‌ها همچنین می‌توانند کیفیت آب را کاهش دهند و آن را برای بسیاری از آبزیان ناسازگار کنند و بر تعادل کلی اکولوژیکی تأثیر بگذارند. علاوه بر این، حضور آلاینده‌ها در منابع آبی می‌تواند خاک و پوشش گیاهی را نیز آلوده کرده و بر محیط اطراف تأثیر گذار باشد. آلاینده‌های آب می‌توانند خطرات جدی برای سلامتی انسان ایجاد کنند. آلاینده‌های شیمیایی همانند زباله‌های صنعتی و فلزات سنگین می‌توانند از طریق مصرف آب آشامیدنی یا مواد غذایی وارد بدن انسان شوند و مشکلات سلامتی متنوعی از جمله آسیب به اندام‌ها، مشکلات رشدی و افزایش خطر ابتلا به سرطان ایجاد کنند. آلاینده‌های بیولوژیکی نیز می‌توانند منجر به بیماری‌های قابل انتقال از آب مانند اسهال، وبا و تب حصبه شوند. در نتیجه با توجه به محدود بودن منابع آب شیرین در دسترس و نیز پیامدهای ناشی از آلودگی آب، رسیدگی به این موضوع و کاهش آن برای حفاظت از محیط زیست و سلامت انسان بسیار حیاتی است. اجرای فرآیندهای موثر تصفیه آب و اتخاذ تدابیر پیشگیری از آلودگی، گام‌های اساسی در جلب اطمینان از در دسترس بودن منابع آب پاک و ایمن به شمار می‌روند.

بیان مسئله

معمولاً برای مصارف مختلف، آب طبیعی احتیاج به تصفیه دارد. آب باید از استانداردهای کیفی خاصی برخوردار باشد تا برای مصارف انسانی بی‌خطر باشد. فرآیند تصفیه آب آشامیدنی، شامل حذف مواد آلاینده و میکروب‌ها از آب می‌باشد. مدیریت تأمین منابع آب جهت مصارف آشامیدنی و عمومی در شهرها و روستاها بسیار حائز اهمیت است، خصوصاً در مواقع اضطرار از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود. مشکلات زمان بحران و حوادث طبیعی سبب ایجاد کمبود آب و کاهش کیفیت آب خواهد شد که ممکن است در اثر تغییرات آب ورودی یا مشکلات احتمالی در سیستم‌های تصفیه باعث کاهش کیفیت آب آشامیدنی و یا در بعضی مناطق عدم امکان تصفیه آب باشد. سیستم‌های تصفیه آب موجود حجیم و سنگین بوده و همچنین نیاز به منبع انرژی خارجی دارند. آلودگی‌هایی که ممکن است در آب وجود داشته باشد شامل آلودگی‌های معمول و نیز آلودگی‌های ناشی از عوارض حملات دشمن و بیوتروریسم می‌باشد که به‌طور عمده در قالب آلودگی‌های میکروبی جای دارند. در شرایط سخت، در موقعیت‌هایی همانند کمپینگ، بحران‌های طبیعی، یا حتی در موقعیت‌هایی که منابع آب تمیز محدود هستند، داشتن یک دستگاه تصفیه آب قابل حمل می‌تواند بسیار مفید باشد. این دستگاه‌ها می‌توانند آب آلوده را تصفیه کنند و آن را برای مصرف انسانی امن کنند. گران بودن سیستم‌های تصفیه آب موجود، همچنین حجیم

بودن، سنگین بودن و مصرف انرژی این سیستم‌ها در مقابل عدم نیاز به برق و باتری و وزن کم در فیلترهای قابل حمل که امکان استفاده از آن‌ها را موقعیت‌ها و مکان‌های مختلف فراهم می‌سازد، موجب توجه روز افزون به طراحی و ساخت این دسته از فیلترها شده است.

مروری بر پژوهش‌های گذشته

(باترا^۱ و همکاران، ۲۰۱۷) طراحی و ساخت یک نوع فیلتر تصفیه آب با خاصیت ضد میکروبی قابل حمل را مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها از محفظه‌هایی جدا از هم با چیدمان ستونی حاوی لایه‌های پارچه ماسلین، شن و ماسه، عصاره برگ گیاهان دارای خاصیت ضد میکروبی همانند ریحان و چریش و کربن فعال استفاده کرده‌اند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که این فیلتر آب، در حذف کدورت، رنگ و بو و بار میکروبی آب دریاچه همراه با کاهش اسیدیته آب موثر است. در این فیلتر حدود ۲ ساعت برای تصفیه یک لیتر آب زمان لازم است.

(کوانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۳) تصفیه موثر آب با استفاده از نانوذرات نقره حاوی دانه‌های سیلیس را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این مطالعه نانوذرات نقره پوشش داده شده با دانه‌های سیلیس با اندازه‌های مختلف از ۵/۰ تا ۱ میلی‌متر، با روش احیای شیمیایی ساخته شدند و عملکرد آن‌ها برای ضد عفونی آب مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. باکتری اشیریشیا کلی برای برآورد پتانسیل ضد عفونی کنندگی آب با استفاده از یک ستون پر شده با نانوذرات نقره پوشش داده شده با دانه‌های سیلیس توسط آزمایش‌های پیوسته، استفاده شده است. مشاهدات آن‌ها نشان می‌دهد که فیلترهای ساخته شده با نانوذرات نقره پوشش داده شده با دانه‌های سلیکا بیشتر از ۹۹٪ باکتری ایکلائی، هنگامی که آب ورودی بار میکروبی تقریباً ۱۰^۶ واحد کلنی تشکیل شده در میلی‌لیتر داشت، را با زمان تماس در حدود چند ثانیه غیر فعال می‌کنند. این نانوذرات دارای ظرفیت ضد باکتریایی ۴/۵ لیتر در گرم هستند. نتایج مطالعه اثر سرعت جریان باکتری به ستون پر شده با نانوذرات نشان می‌دهد که کارایی آنتی باکتریایی فیلتر با افزایش سرعت جریان کاهش پیدا نمی‌کند.

(طاهران^۳ و همکاران، ۲۰۱۹) رویکرد جدیدی را برای ساخت دستگاه تصفیه آب قابل حمل به کار برده‌اند. غشاهای کامپوزیتی پلی آکریلونیتریل / چیتوسان^۴ و پلی آکریلونیتریل / بیوچار از طریق الکترواسپینینگ ساخته شدند و همچنین آنزیم لاکاز^۵ روی غشای پلی آکریلونیتریل / بیوچار تثبیت گردید. سه لایه از غشاهای کامپوزیتی پلی آکریلونیتریل / چیتوسان، پلی آکریلونیتریل / بیوچار / لاکاز و پلی آکریلونیتریل / بیوچار برای تصفیه آبی که از لحاظ میکروارگانیسم‌ها، ریزآلاینده‌ها و کدورت اندازه‌گیری شده بود، در فیلتر قرار گرفتند. نتایج مطالعه این تیم تحقیقاتی، حذف حدود ۸۳ درصد از ریزآلاینده‌ها، ۹۹ درصد از میکروارگانیسم‌ها و بیشتر از ۷۸ درصد کاهش کدورت، برای زمان تماس کمتر از ۵ دقیقه را نشان داد. این تصفیه‌کننده قابل حمل دارای چندین مورد مزیت نسبت به سایر دستگاه‌های متداول همانند عدم نیاز به منبع انرژی یا مواد شیمیایی و حذف همزمان باکتری‌ها و ریزآلاینده‌ها است.

تهیه و کاربرد نانوکامپوزیت‌های موثر و ارزان قیمت سرامیک / نقره در تصفیه آب توسط (موچنیری^۶ و همکاران، ۲۰۲۰) مورد بررسی قرار گرفته است. فیلترهای سرامیکی توسط ترکیب خاک رس، آرد و گلدان‌های سفالی شکسته بر اساس

۱. Batra

۲. Quang

۳. Taheran

۴. Chitosan

۵. Laccase

۶. Muchanyereyi

نسبت وزنی تهیه شدند. مخلوط خشک با آب دیونیزه مخلوط، سپس قالب گیری و خشک گردید و با نانوذرات نقره یا محلول نیترات نقره عمل آوری شد. هر دو تیمار با استفاده از دیسک‌های غوطه ور در محلول‌های مربوطه انجام شد. تجزیه و تحلیل آب تصفیه شده با این فیلترهای سرامیکی نشان داده است که pH آب تصفیه نشده توسط فیلتر تهیه شده از تنها خاک رس تا ۱/۰۸ درصد، با فیلتر نقره نیترات / خاک رس تا ۵/۲ درصد و با کامپوزیت نانوذرات نقره / خاک رس تا ۱۲ درصد کاهش یافته است. سختی آب با کامپوزیت نانوذرات تا ۶۷ درصد، درحالی‌که با فیلتر تهیه شده از خاک رس تنها، فقط ۰/۰۸ درصد کاهش می‌یابد. اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)^۱ با فیلتر خاک رس تنها تا ۵۰ درصد و با کامپوزیت‌های خاک رس / نقره تا ۱۰۰ درصد کاهش یافته است. غلظت کلراید در فیلترهای خاک رس تنها، خاک رس / نقره نیترات و خاک رس / نانوذرات نقره به ترتیب تا ۵/۶۴، ۵۴ و ۶۵ درصد کاهش می‌یابد.

یک سیستم تصفیه آب قابل حمل توسط کاظمی مقدم (کاظمی مقدم، ۱۳۹۵) طراحی شده که شامل چندین فیلتر مختلف است. سیستم تصفیه آب طراحی شده شامل یک فیلتر تهیه شده از رزین‌های تبادل کاتیونی و آنیونی با چیدمان پشت سر هم به منظور سختی زدایی از آب (کاهش کل مواد جامد محلول (TDS)^۲ از ۱۲۰۰ به کمتر از ۱۰)، کربن فعال به منظور حذف آلودگی‌های آلی، رنگ و بو از آب، زئولیت جهت حذف آلودگی‌های آلی و فلزات سنگین و نانو فیلتر سرامیکی ۲۰ نانومتری برای حذف ویروس‌ها و باکتری‌ها می‌باشد. نتایج این تحقیق حاکی از عملکرد بسیار مطلوب این پکیج در تصفیه آب با استفاده از فناوری نانو و همچنین تلفیقی از فناوری‌های جذب سطحی، تعویض یون و سختی زدایی می‌باشد.

(نظری و اکبرپور، ۱۳۹۸) یک فیلتر قابل حمل کوچک خانگی را طراحی کرده‌اند که شامل اجزای زیر می‌باشد. شیر آب ورودی: شیری که آب ورودی به پکیج را تأمین می‌کند. فیلتر شماره یک (فیلتر الیافی): فیلتری است که از الیافی خاص ساخته شده است. آب ورودی تصفیه نشده ابتدا به فیلتر شماره یک می‌رود که در این قسمت گل و لای، شن و ماسه، زنگ لوله و رسوبات دیگر از آب حذف می‌شود. این فیلتر آلودگی و رسوبات آب تا قطر پنج میکرون را می‌گیرد.

روش شناسی پژوهش

روش ساخت نانوکامپوزیت سیلیس/نقره (Silica/Ag)

در این راستا ابتدا برای اصلاح سطح نانوذرات سیلیس، ۳ میلی‌لیتر از ترکیب ۳-آمینوپروپیل تری اتوکسی‌سیلان به عنوان یک عامل جفت کننده به ۳ گرم نانوذرات سیلیس حل شده در ۳۰ میلی‌لیتر تولوئن اضافه شد. این مخلوط به مدت ۳ ساعت تحت شرایط رفلکس و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد هم زده شد. محصول حاصل پس از جداسازی توسط فیلتراسیون و شستشو با اتانول، در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (محمد عبدالله سالم^۳، ۲۰۱۹) در مرحله بعد به منظور تهیه کامپوزیت سیلیکا/نقره، ابتدا ۱ گرم از سیلیس اصلاح شده از مرحله قبلی را به محلولی حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه مخلوط شد. سپس عامل کاهنده (آسکوربیک اسید) و نیترات نقره به مخلوط اضافه شده و حجم کل به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. برای بهینه‌سازی تشکیل نانوذرات نقره، غلظت نیترات نقره در محدوده ۰/۰۰۵ تا ۰/۰۷ مولار و غلظت عامل کاهنده در محدوده ۲ تا ۱۰ درصد (حجمی / حجمی) تغییر داده شد.

۱. Biological Oxygen Demand

۲. Total Dissolved Solids

۳. Mohamed A. Salem

سپس مخلوط تحت رفلکس در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۵ دقیقه قرار گرفت. محصول حاصله پس از صاف کردن و چندین مرتبه شستشو با آب، در نهایت به مدت یک شب در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید.

تولید نانوکامپوزیت‌های کربن فعال/نقره

برای تولید نانوکامپوزیت‌های کربن فعال با نقره، مطابق روش مورد استفاده در منابع قبلی (شی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷) از اسید نیتریک غلیظ ۶۹٪ جرمی برای اکسیداسیون کربن فعال استفاده گردید. در نتیجه اکسیداسیون کربن فعال عامل دار شده با گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن تولید می‌شود. در مرحله بعد کربن فعال اصلاح‌شده (۱ گرم) در محلول نیترات نقره به حجم ۵۰ میلی‌لیتر غوطه‌ور و در دمای اتاق به مدت یک ساعت مخلوط گردید. پس از صاف نمودن، کربن فعال پوشش داده شده با یون‌های نقره به دست آمد. در مرحله بعد، Ag^+/AC حاصله با ۵۰ میلی‌لیتر محلول تری سدیم سیترات (به عنوان عامل پخش‌کننده) مخلوط شد و سپس ۱ میلی‌لیتر محلول دی متیل اتانول آمین (DMEA) (عامل کاهنده) به صورت قطره به قطره به ترکیب افزوده و مخلوط به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد هم زده شد. سپس ماده جامد حاصل توسط فیلتراسیون جدا شده و با آب دیونیزه شده شستشو داده شد. در نهایت، نمونه به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در محیط وکیوم (آون خلا) خشک شد، که به تشکیل نانوکامپوزیت‌های کربن فعال با پوشش ذرات نقره (ACs/Ag) منجر می‌شود.

سنتر نانو کامپوزیت زئولیت/نقره:

برای ساخت نانوکامپوزیت زئولیت با نقره، از روش کاهش با عوامل احیاء کننده شیمیایی (شاملی^۲ و همکاران، ۲۰۱۱) استفاده گردید. ابتدا، برای حذف آلودگی‌های موجود در ساختار زئولیت، ۱۰۰ گرم از زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت را با ۵۰ میلی‌لیتر HCl ۶ مولار مخلوط و به مدت ۲۴ ساعت تحت رفلکس قرار داده شد. سپس نمونه صاف گردید و چندین بار با آب دیونیزه شسته شد تا pH به محدوده خنثی رسید. زئولیت حاصل را به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک کردیم. در مرحله بعد، جهت آمین‌دار کردن زئولیت از گروه عاملی ۳- آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان به عنوان عامل جفت‌کننده بهره گرفتیم. به این منظور، برای هر ۲۰ گرم زئولیت، ۱/۰۵ mL از ماده ۳- آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان تحت اتمسفر گاز نیتروژن و به صورت قطره قطره به ۲۰ میلی‌لیتر استون اضافه کردیم و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت رفلکس دادیم. سپس نمونه را فیلتر کرده و چندین بار با استون تازه شستشو دادیم و در هوا خشک کردیم. در ادامه، جهت نقره‌دار کردن زئولیت آمین‌دار شده از نیترات نقره استفاده نمودیم. به این منظور، ۰/۵ گرم از نیترات نقره را در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل کردیم (در بطری تاریک)، سپس زئولیت آماده شده را به آن افزودیم و به مدت حداقل ۲ ساعت مخلوط نمودیم. سپس نمونه را صاف کرده و چندین بار با آب شستشو دادیم. در ادامه، ۰/۱۵ گرم از سدیم بور هیدرید ($NaBH_4$) در ۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه حل گردید و ظرف ۵ ثانیه به صورت یکنواخت و قطره قطره به بالنی که حاوی نمونه زئولیت آمین‌دار شده و ۳۰ میلی‌لیتر آب بود، افزودیم و به مدت ۲۴ ساعت مخلوط نمودیم. سپس نمونه را صاف کرده و چندین بار با آب مقطر شستشو دادیم و به مدت ۱۲ ساعت در آون در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید.

۱. Shi

۲. Dimethylethanolamine

۳. Shameli

اندازه گیری pH:

مقدار pH نمونه‌های آب به طور مستقیم با استفاده از یک pH متر دیجیتال اندازه گیری شد. pH متر با استفاده از محلول بافر استاندارد کالیبره گردید. pH آب مقطر اندازه گیری شد. سپس نمونه در یک بشر تمیز ریخته شد و pH آن ثبت گردید.

سنجش کدورت آب:

دستگاهی که برای اندازه گیری کدورت نمونه آب مورد استفاده قرار می‌گیرد «نفلوومتر» است که از اصل پراکندگی نور استفاده می‌کند.

روش اندازه گیری:

برای اندازه گیری کدورت، ابتدا سل دستگاه نفلوومتر hach مدل Q ۲۱۰۰ با دقت کاملاً تمیز و با آب مقطر پر و داخل دستگاه قرار داده شد و مقدار کدورت آن روی صفر تنظیم گردید. سپس نمونه آب مقطر با نمونه‌های آب جایگزین شد و مقدار کدورت آنها از روی مانیتور دستگاه ثبت شد.

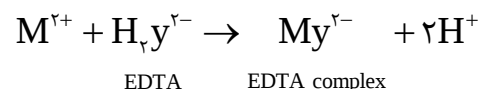
سنجش سختی کل آب:

سختی آب آن ویژگی است که از تشکیل کف کافی جلوگیری می‌کند. سختی معمولاً به دلیل وجود یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب است و هر دوی اینها در آب‌های زیرزمینی به وفور وجود دارند. وجود یون‌های فلزی دو ظرفیتی عمدتاً Ca^{2+} و Mg^{2+} است که منجر به مقادیر سختی کل می‌شود.

برای تعیین سختی آب از روش ارائه شده توسط نیلسن (نیلسن^۱، ۲۰۱۷) استفاده گردید. در ادامه توضیح مختصری از مراحل این روش ارائه شده است:

۱- برای تهیه محلول EDTA^۲ با غلظت ۰/۰۱ مولار، ۴ گرم نمک دی سدیم EDTA را در یک بشر ۴۰۰ میلی‌لیتری وزن و حل گردید و به یک بالون ژوزه یک لیتری منتقل شد. سپس با آب مقطر تا خط نشانه رقیق گردید. ۲- تهیه بافر آمونیاک - آمونیم کلرید: ۶/۷۵ گرم آمونیم کلرید را در یک بالون ۱۰۰ میلی‌لیتری وزن کرده و ۵۷ میلی‌لیتر آمونیاک غلیظ اضافه گردید و تا خط نشانه با آب مقطر به حجم رسانیده شد.

۳- ۲۵ میلی‌لیتر از آب تصفیه شده با فیلتر را اندازه‌گیری و به یک ارلن منتقل گردید و به آن ۱ میلی‌لیتر محلول بافر و ۴ الی ۵ قطره از شناساگر اریکروم بلک T اضافه گردید. محلول با EDTA ۰/۰۱ مولار تا تغییر رنگ به رنگ آبی آسمانی، تیترا گردید.



به طور خلاصه:

۱. Nielsen

۲. Ethylenediamine tetraacetic acid

- ۱- بورت شستشو داده شد و با محلول EDTA پر شد و سطح محلول داخل بورت روی مقدار صفر تنظیم گردید.
 - ۲- ۲۵ میلی لیتر از نمونه آب در ارلن مایر ریخته شد.
 - ۳- ۴ الی ۵ قطره از شناساگر اریوکروم بلک T اضافه شد و سپس به آن ۱ میلی لیتر از بافر آمونیاک - آمونیم کلرید اضافه گردید.
 - ۴- تیتراسیون تا تغییر رنگ از قرمز به آبی انجام شد.
 - ۵- حجم EDTA مصرفی از روی بورت قرائت و یادداشت شد.
- محاسبات:

$$\text{Calculations: } \frac{V_1 \times N \times \text{equivalent weight of CaCO}_3 \times 1000}{V_2}$$

که در این رابطه: V_1 حجم EDTA مصرفی، V_2 حجم نمونه استفاده شده و N نرمالیه محلول EDTA استفاده شده می باشد.

تعیین BOD آب به روش یدومتری وینکلر

در زیر مروری از روند اندازه گیری BOD به روش وینکلر آمده است:

- ۱- تهیه مواد شیمیایی به شرح زیر: الف- تهیه محلول منگنز (II) کلرید (۳ مولار): ۶۰۰ گرم از $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ را در ۶۰۰ میلی لیتر آب مقطر در یک بالون ژوژه یک لیتری حل کرده، سپس تا خط نشانه آب مقطر اضافه گردید. ب- تهیه محلول آبی یدور قلیایی: ۶۰۰ گرم از NaI را در ۶۰۰ میلی لیتر آب مقطر در بالون ژوژه یک لیتری حل کرده، سپس ۳۲۰ گرم از NaOH اضافه گردید و با آب مقطر به حجم رسانیده شد. ج- تهیه محلول اسید سولفوریک (۵۰ درصد حجمی): به تدریج ۵۰۰ میلی لیتر اسید سولفوریک به ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد.
 - ۲- تهیه نمونه: نمونه آب به یک ظرف نمونه ۲۵۰ میلی لیتری منتقل و کاملاً پر گردید. برای هر نمونه آب از دو ظرف نمونه استفاده گردید. در یکی از آنها را به خوبی بسته و در محیط تاریک در دمای اتاق برای تخمیر اکسیژن محلول در آن قرار گرفت. در روش وینکلر، هر نمونه به دو ظرف تقسیم می شود، یکی از آن دو ظرف به مدت ۵ روز تخمیر (انکوبه در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد) می شود و ظرف دیگر برای اندازه گیری مستقیم غلظت اکسیژن محلول آن مورد استفاده قرار می گیرد.
 - ۳- نمونه آب مورد آزمایش به بطری با در سمباده ای به حجم ۲۵۰ میلی لیتری منتقل و مقدار ۲ میلی لیتر از محلول منگنز (II) کلرید ساخته شده و ۲ میلی لیتر از یدور قلیایی به وسیله پپیت در زیر سطح آب مورد آزمایش تخلیه گردید و سپس در سمباده ای شیشه گذاشته شد تا حباب هوا وارد نشود.
- سپس شیشه را چندین بار وارونه کرده و هم زده شد تا رسوب هیدروکسید منگنز ظاهر شود و صبر شد تا رسوب ته نشین شود. سپس مقدار ۲ میلی لیتر اسید سولفوریک غلیظ از طریق تماس با جدار ظرف نمونه اضافه گردید.
- پس از به هم زدن کلیه رسوبات حل گردید. سپس مقدار ۱ الی ۲ میلی لیتر از محلول نشاسته به آب اضافه و با تیو سولفات سدیم ۰/۰۲۵ نرمال تا بی رنگ شدن محلول تیترا گردید. حجم تیو سولفات مصرف شده یادداشت گردید و مقدار اکسیژن محلول در نمونه بر حسب میلی گرم در لیتر از رابطه زیر بدست آمد.

$$DO\left(\frac{mg}{L}\right) = \frac{N_t \times V_t \times 8000}{V_s}$$

که در این رابطه: N_t نرمالیه تیوسولفات و V_t حجم تیوسولفات مصرف شده و V_s حجم نمونه آب می باشد. نمونه دیگر به مدت ۵ روز در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد در انکوباتور قرار داده شد، بعد از ۵ روز اکسیژن محلول باقیمانده اندازه گردید. مقدار BOD از اختلاف اکسیژن محلول در دو ظرف محاسبه گردید.

اندازه گیری اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)

روش مورد استفاده برای اندازه گیری COD :

- ۱- رقیق سازی ۲ میلی لیتر از نمونه در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر.
 - ۲- افزایش ۲/۵ میلی لیتر از نمونه رقیق شده به یک لوله آزمایش.
 - ۳- افزایش ۱/۵ میلی لیتر دی کرومات پتاسیم به نمونه.
 - ۴- افزایش ۳/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک به نمونه.
 - ۵- گرم کردن لوله به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد در راکتور COD.
 - ۶- خنک کردن نمونه و افزایش آن به یک ارلن مایر.
 - ۷- اضافه کردن ۲ تا ۳ قطره از شناساگر فروئین به نمونه
 - ۸- تیترا کردن نمونه با محلول فروس آمونیم سولفات $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ، تا جایی که رنگ محلول از سبز به نارنجی تغییر کند.
 - ۹- یادداشت حجم تیترانت استفاده شده.
- محاسبات:

$$COD = \frac{(A - B) \times C \times 8 \times 1000}{\text{ml of sample taken}}$$

که در این رابطه: A حجم فروس آمونیم سولفات استفاده شده برای نمونه شاهد بر حسب میلی لیتر، B حجم فروس آمونیم سولفات استفاده شده برای نمونه بر حسب میلی لیتر و C نرمالیه محلول فروس آمونیم سولفات استفاده شده می باشد.

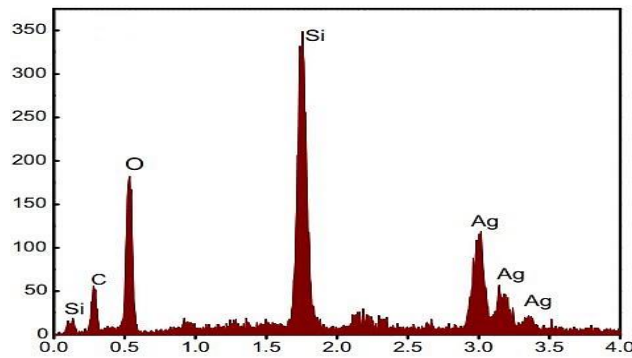
اندازه گیری یون نیترا

سازمان بهداشت جهانی، حداکثر غلظت مجاز یون نیترا در آب آشامیدنی را ۵۰ ppm بر حسب نیترا اعلام کرده است. اندازه گیری یون نیترا مطابق روش ارائه شده توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران شماره استاندارد ۲۳۵۲ انجام گردید. خلاصه روش شامل واکنش یون های نیترا با بروسین در محلول غلیظ اسید سولفوریک که یک کمپلکس زرد رنگ ایجاد می کند که این رنگ تابع نسبیت بیر - لامبرت نبوده ولی منحنی نور جذبی نسبت به غلظت یون نیترا بصورت یکنواخت می باشد و جهت آزمون لازم است که همزمان با آزمون یکسری محلول های استاندارد (از صفر تا ۵۰ میلی گرم در لیتر یون نیترا با استفاده از محلول استاندارد نیترا پتاسیم) نیز تهیه شود و اندازه گیری را در طول موج ۴۱۰ نانومتر انجام داد. رسم منحنی کالیبراسیون و محاسبه غلظت یون نیترا در نمونه مجهول از روی آن. این روش

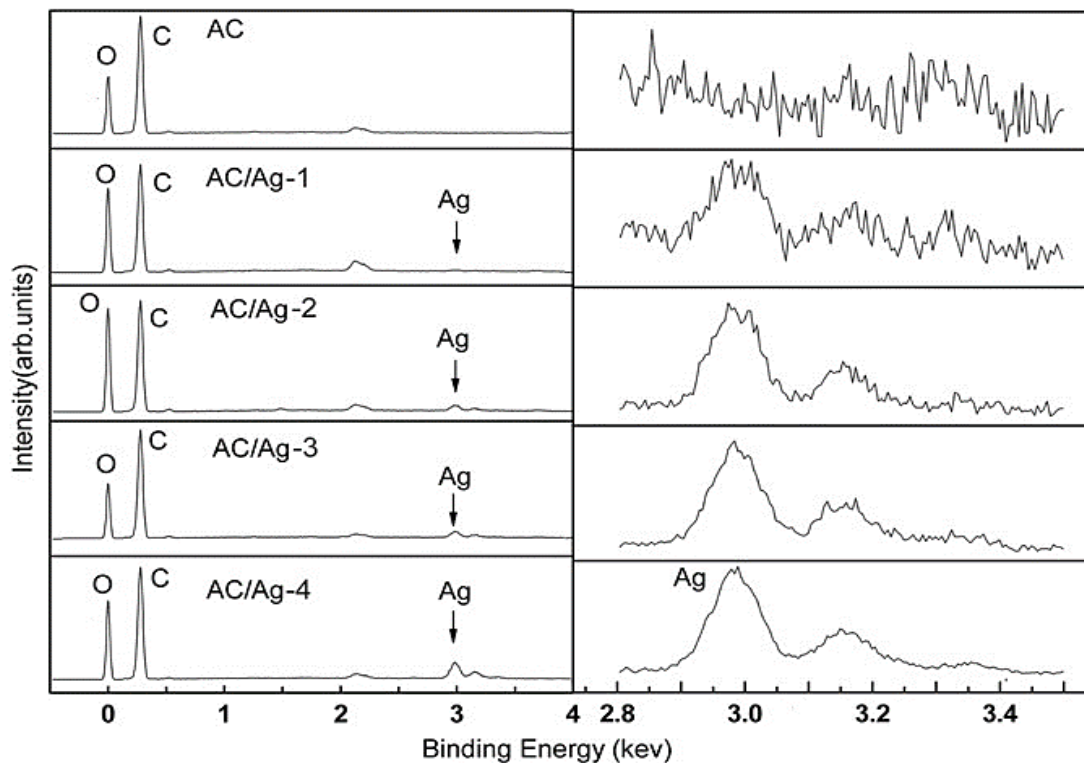
مبتنی بر واکنش یون‌های نیتрат با بروسین سولفات در محلول اسید سولفوریک غلیظ در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رنگ کمپلکس حاصل در طول موج ۴۱۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود.

یافته‌ها

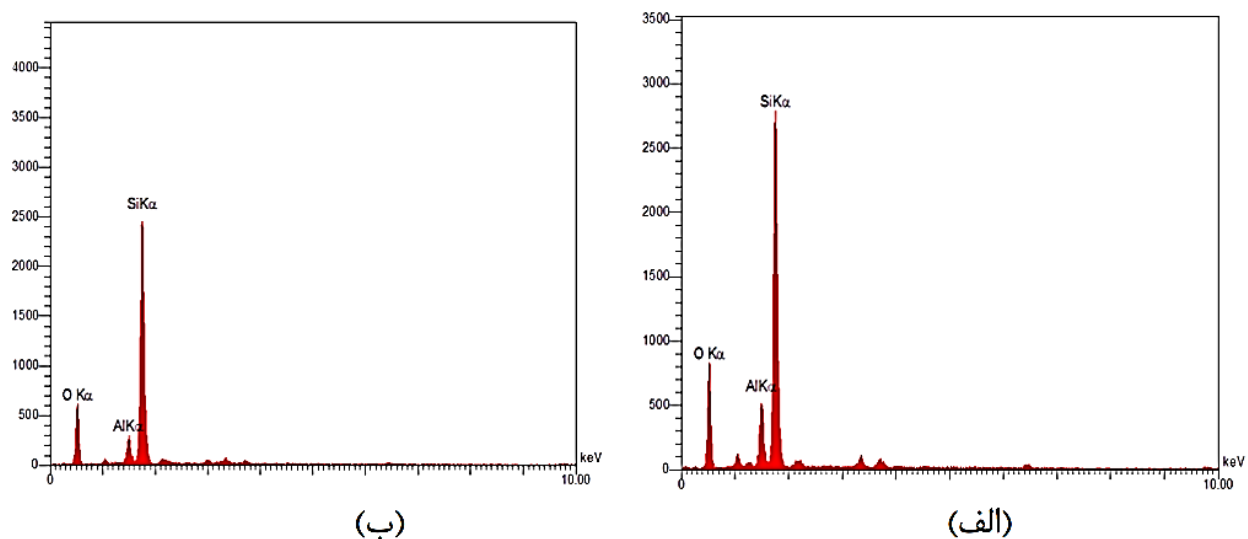
به منظور شناسایی انواع مختلف عناصر تشکیل دهنده کامپوزیت‌های سیلیس، کربن فعال و کلینوپتیلولیت با نقره، از آنالیز طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDAX) استفاده گردید. که نتایج آن در شکل‌های (۱) و (۲) و (۳) آورده شده است.



شکل (۱): تصویر EDAX نانو کامپوزیت سیلیکا - نقره

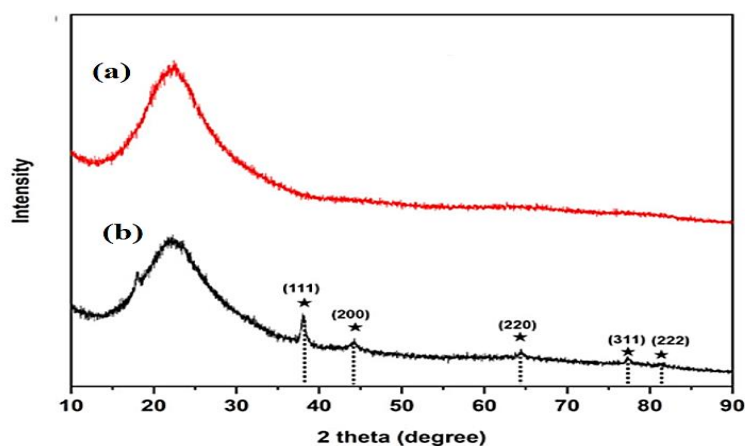


شکل (۲): تصویر EDAX مربوط به کربن فعال و نانو کامپوزیت های مختلف کربن فعال - نقره.

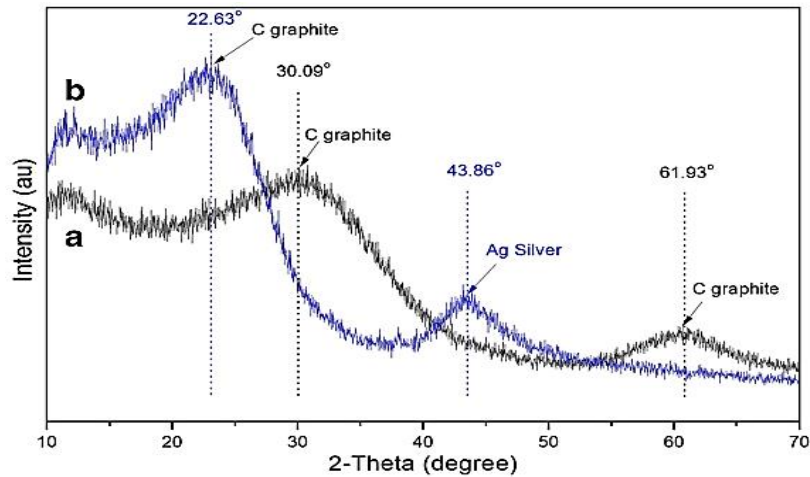


شکل (۳): تصاویر EDAX مربوط به: الف) زئولیت کلینوپتیلولیت ب) زئولیت کلینوپتیلولیت نقره دار شده.

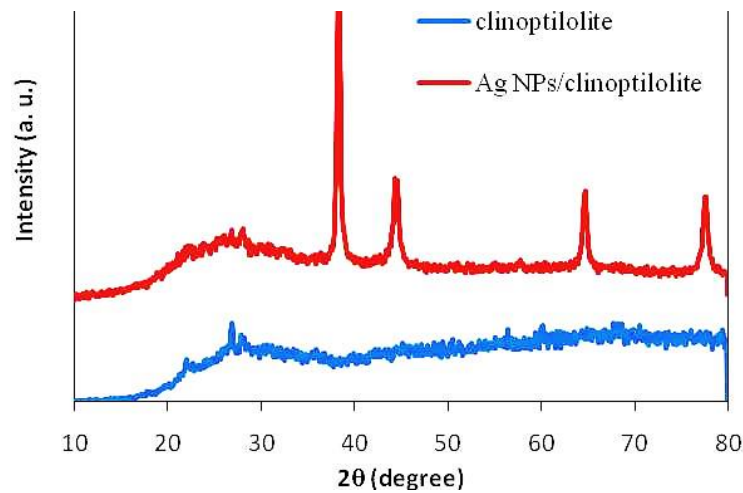
همچنین جهت تعیین ساختار بلوری نمونه‌ها، طیف پراش پرتو ایکس (XRD)^۱ کامپوزیت‌ها ثبت گردید که نتایج آن به به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) و (۶) نشان داده شده است.



شکل (۴): طیف XRD نانوذرات سیلیکا (a) و نانوکامپوزیت سیلیکا - نقره (b)



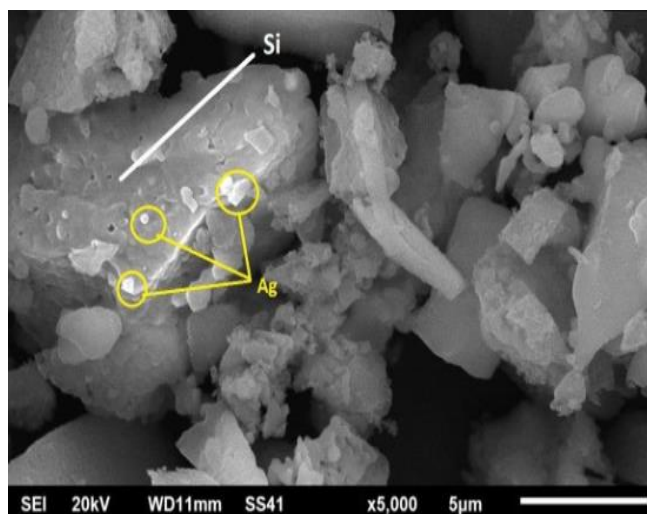
شکل (۵): طیف XRD کربن فعال (a) و نانوکامپوزیت کربن فعال - نقره (b)



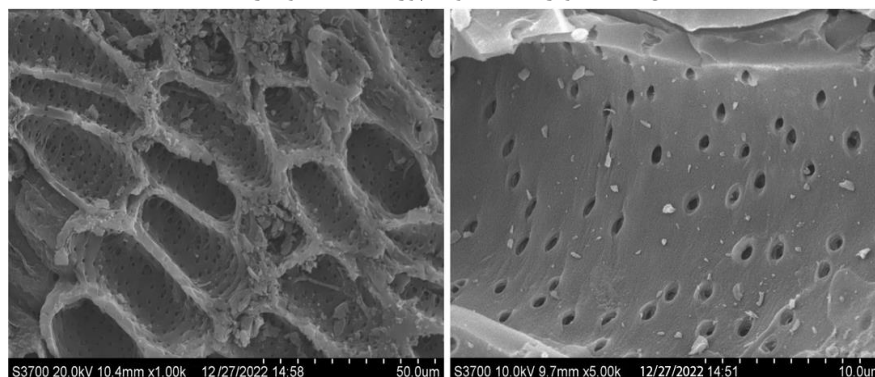
شکل (۶): طیف XRD کلینوپتیلولیت و کامپوزیت آن با نقره.

جهت تصویربرداری از کامپوزیت‌های سیلیس، کربن فعال و کلینوپتیلولیت با نقره و تعیین ویژگی‌های سطحی و مورفولوژی آن‌ها، از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)^۱ استفاده گردید که نتایج آن در شکل‌های (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) ارائه شده است.

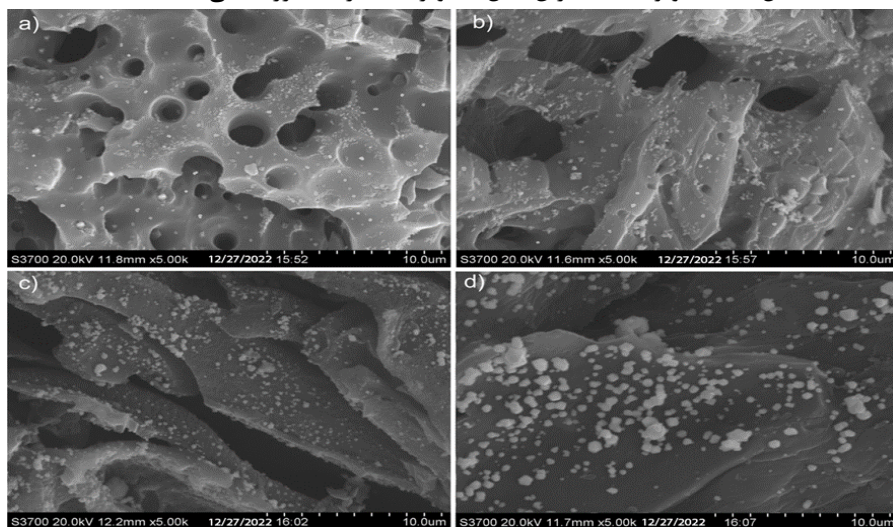
۱. Scanning electron microscopy



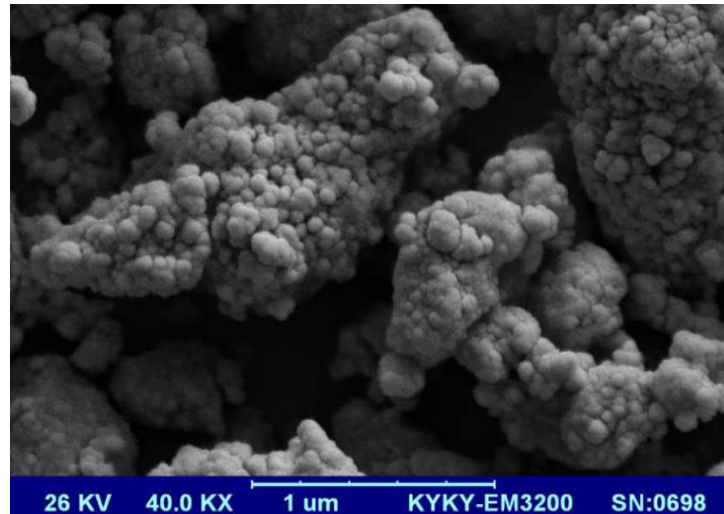
شکل (۷): تصویر SEM نانوکامپوزیت سیلیکا و نقره.



شکل (۸): تصاویر SEM کربن فعال (تصویر سمت راست بزرگنمایی شده است).

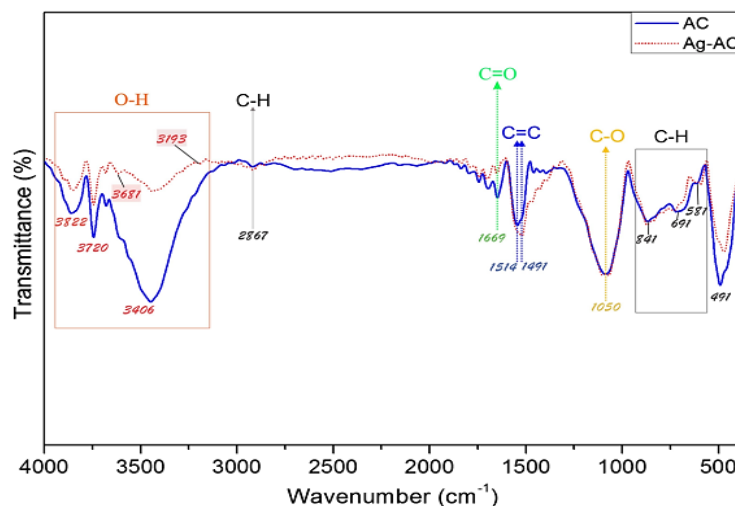


شکل (۹): تصاویر SEM کامپوزیت مختلف کربن فعال با نقره: (a) کامپوزیت شماره ۱؛ (b) کامپوزیت شماره ۲؛ (c) کامپوزیت شماره ۳؛ (d) کامپوزیت شماره ۴



شکل (۱۰): تصویر SEM کامپوزیت کلینوپتیلولیت و نقره

اطلاعات کمی درباره گروه‌های عاملی موجود در سطح کربن فعال و کربن فعال حاوی نانوذرات نقره از طریق طیف‌های FTIR به دست آمده و در شکل (۱۱) ارائه شده است.

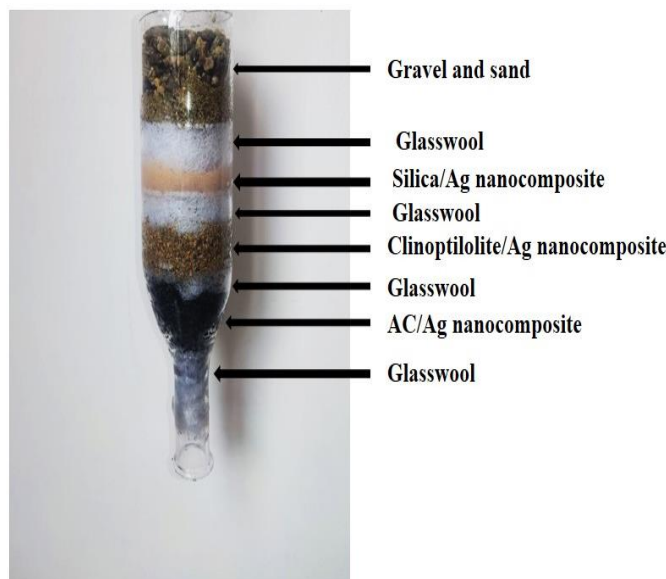


شکل (۱۱): طیف FTIR کربن فعال و نانوکامپوزیت کربن فعال نقره

تولید فیلتر چند لایه:

برای ساخت فیلتر مورد استفاده در این کار، ابتدا پشم شیشه و گراول و ماسه و کربن فعال با آب لوله کشی و سپس با آب مقطر ۳ الی ۴ مرتبه شستشو داده شد و در داخل آن خشک گردیدند. پشم شیشه، ماسه و گراول و کربن فعال اتوکلاو شدند. بعد از استریل کردن مواد، به صورت فشرده در داخل ستونی استوانه‌ای از جنس شیشه قرار داده شدند. در بالای ستون شیشه‌ای ابتدا لایه گراول و ماسه و سپس یک لایه پشم شیشه قرار گرفت. دومین لایه نانوکامپوزیت سیلیکا - نقره می‌باشد که پس از آن دو باره یک لایه پشم شیشه قرار می‌گیرد. لایه سوم کلینوپتیلولیت پوشش داده شده با نانو ذرات

نقره می‌باشد که به دنبال آن یک لایه از پشم شیشه قرار می‌گیرد. آخرین لایه کامپوزیت کربن فعال و نقره می‌باشد و در انتهای ستون یک لایه فشرده شده از پشم شیشه قرار می‌گیرد.



شکل (۱۲): تصویر فیلتر مونتاژ شده

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده از آنالیز EDAX

حضور پیک قوی نقره در طیف EDAX نانوکامپوزیت سیلیس با نقره که در شکل (۱) نشان داده شده است، اتصال موفق نانوذرات نقره به بستر سیلیس را تایید می‌کند. همچنین طیف EDAX کربن فعال و نانوکامپوزیت‌های مختلف آن با نقره که در شکل (۲) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، پیک‌هایی در نزدیکی ۳ کیلو الکترون ولت به وضوح دیده می‌شوند که به نقره نسبت داده می‌شوند. لازم به ذکر است که با افزایش غلظت نیترات نقره، شدت پیک‌های نقره قوی‌تر می‌شوند. این نتایج همچنین نشان می‌دهند که نانوذرات نقره می‌توانند در غلظت‌های کم نیترات نقره (کمتر از ۳ درصد) به طور یکنواخت بر روی سطح کربن فعال عامل دار شده، پوشش داده شوند. همان گونه که در طیف EDAX زئولیت کلینوپتیلولیت و کامپوزیت آن با نقره در شکل (۳) ملاحظه می‌شود عناصر اصلی موجود در ساختار زئولیت و همچنین زئولیت پوشش داده شده با نقره، شامل سیلیس اکسیژن و آلومینیوم است. هر چه شدت پیک بیشتر باشد عنصر مورد نظر درصد بیشتری از ساختار را به خود اختصاص می‌دهد که در این بین سیلیس دارای بیشترین مقدار می‌باشد. با این وجود با پوشش نانو ذرات نقره بر روی زئولیت بخشی از حفره‌های داخلی زئولیت توسط نانو ذرات نقره پر شده و در نتیجه از شدت پیک و عنصر سیلیس کاهش پیدا کرده و به این ترتیب حضور نانو ذرات نقره به اثبات می‌رسد.

نتایج حاصله از آنالیز XRD

الگوی پراش پرتو X سیلیس و کامپوزیت آن با نقره، در محدوده 2θ (۹۰ - ۱۰) ثبت گردید. یک پیک پهن و برجسته بین زوایای ۲ تا مساوی ۱۵ درجه و ۳۰ درجه را می‌توان در الگوهای XRD نانوذرات سیلیس در شکل (۴) مشاهده کرد که نشان دهنده وجود ذرات سیلیس با ساختار آمورف است (مورهللی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) از ساختار مکعبی با مرکز وجوه پر نانوذرات نقره هر کدام با یکی از پنج پیک پراش تیز در نانوکامپوزیت سیلیس-نقره به ترتیب در ۳۸، ۴۴، ۶۴، ۷۷ و ۸۲ درجه نمایان می‌شوند.

علاوه بر این، طیف‌های XRD کربن فعال شکل (۵) قسمت a و کربن فعال پوشش داده شده با نانوذرات نقره شکل (۵) قسمت b نشان می‌دهد که در هر دو نمونه، پیک‌هایی که در طیف XRD ظاهر می‌شوند، به خوبی با ساختار آمورف گرافیتی تطابق دارند. به عبارت دیگر، نتایج نشان می‌دهد که ساختار اتمی این دو نمونه به نحوی است که شبیه به گرافیت و آمورف است، و این مشابهت در پیک‌های طیف XRD قابل مشاهده است. پیک‌های مرتبط با ساختار کربن گرافیتی در زوایای ۳۰/۰۹ و ۶۱/۹۳ درجه برای کربن فعال و در زاویه ۲۲/۶۳ درجه برای کربن فعال حاوی نانوذرات نقره ظاهر می‌شود. پیک ناحیه ۴۳/۸۶ درجه در طیف کربن فعال حاوی نانوذرات نقره (شکل (۵) قسمت b) تایید می‌کند که نانوذرات نقره بر روی کربن فعال بارگذاری شده‌اند.

در طیف XRD کامپوزیت کلینوپتیلولیت با نقره، پیک‌های پراش ظاهر شده در زوایای ۳۸/۳۹، ۴۴/۵۱، ۶۴/۶۵ و ۷۷/۶۱ درجه با کارت استاندارد (JCPDS no. 04-0783) (جیانگ^۲ و همکاران، ۲۰۰۱) مربوط به فلز نقره، مطابقت دارد و منطبق با ساختار بلوری شبکه مکعبی مرکز وجوه پر (FCC) می‌باشند. الگوی تمیز هیچ ناخالصی مانند اکسید نقره را نشان نمی‌دهد. همچنین، کلینوپتیلولیت با پیک‌های ضعیف پراش واقع در زوایای ۲۲/۰۱، ۲۶/۸۱، ۳۰/۷۱ و ۳۲/۴۲ درجه با استفاده از فایل داده ساختار بلوری کلینوپتیلولیت (JCPDS no. 39-1383)، که با داده‌های XRD کلینوپتیلولیت گزارش شده مطابقت دارد، مشخص می‌شود (نظام زاده^۴ و همکاران، ۲۰۱۵).

نتایج به دست آمده از تست SEM

در تصویر SEM کامپوزیت سیلیس با نقره که در شکل (۷) نشان داده شده است، یک جامد با شکلی شبیه تکه‌های سنگی تیز قابل مشاهده است همچنین دانه‌های کوچک (گرانول) با اندازه ذرات و اشکال مختلف تا حدودی متخلخل وجود دارد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل (S3700N) از شرکت Corporation Hitachi High-Technologies برای مطالعه مورفولوژی سطح کامپوزیت‌های کربن فعال با نقره استفاده شد. شکل (۸) تصویر SEM کربن فعال را نشان می‌دهد، در حالی که شکل (۹) تصویر SEM کامپوزیت‌های مختلف آن با نقره را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، نانوکامپوزیت‌ها دارای سطح زبرتری نسبت به کربن فعال هستند و ذرات نقره پوشش داده شده روی سطح کامپوزیت‌ها به وضوح مشاهده می‌شوند.

برای تعیین اندازه و مورفولوژی کامپوزیت زئولیت کلینوپتیلولیت با نقره از آنالیز SEM استفاده گردید که نتایج آن در شکل (۱۰) نشان داده شده است. تصویر SEM مورفولوژی کروی با قطر بسیار باریک نشان می‌دهد.

۱. Mourhly

۲. Jiang

۳. Face centered cubic

۴. Nezamzadeh

نتایج آزمون FTIR

در طیف FTIR کربن فعال حاوی نانوذرات نقره (AC-AgNPs)، که در شکل (۱۱) نشان داده شده است، پیک‌های پهن در 3406 و 3720 و دو پیک در 3681 و 3193 cm^{-1} دیده می‌شود که حضور باندهای کششی O-H را اثبات می‌کنند. پیکی با مقادیر 3200 – 3800 cm^{-1} نشان‌دهنده وجود گروه O-H است (آنیسوزمان^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). برای نمونه کامپوزیت کربن فعال با نقره، پیک ناحیه 3406 cm^{-1} باریک‌تر شده و نسبت به نمونه کربن فعال، یک پیک جدید دارد. این امر نشان دهنده اتصال یون‌های نقره به سطوح کربن فعال می‌باشد (آلتینتیگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). یک پیک کوچک در حدود 1669 cm^{-1} وجود ارتعاشات کششی C=O در گروه‌های کربونیل را نشان می‌دهد، که شامل کتون‌ها، آلدئیدها، لاکتون‌ها و گروه‌های کربوکسیلی هستند. پیک ناحیه 1514 cm^{-1} (برای کربن فعال) و جابجایی آن به 1491 cm^{-1} (برای نانوکامپوزیت کربن فعال با نقره) نشان دهنده ارتعاشات کششی C=C (فوو^۳ و همکاران، ۲۰۰۹) با یک باند پهن به دلیل حضور نانوذرات نقره در حلقه‌های آروماتیک می‌باشند. پیکی با فرکانس 1050 cm^{-1} نشان‌دهنده ارتعاش کششی C-O گروه‌های کربوکسیلی یا لاکتون است. نتایج مشابهی در مطالعات دیگر هم گزارش شده (آلتینتیگ و همکاران، ۲۰۱۶، لازیم^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). وجود خمش خارج از صفحه C-H آروماتیک در مشتقات بنزن در محدوده 581 – 841 cm^{-1} قابل مشاهده است (آنیسوزمان و همکاران، ۲۰۱۵).

نتایج آزمایش میکروبی آب با استفاده از تست MPN^۵

مرحله تست پیش فرض:

برای بررسی کارایی فیلتر در کاهش بار میکروبی، نمونه آب گرفته شده از رودخانه قبل از تصفیه و بعد از عبور از فیلتر، مورد آزمایش بیشترین تعداد احتمالی باکتری‌ها (MPN) قرار گرفتند. به این منظور، نمونه آب به طور متوالی به ۱۰ میلی لیتر، ۱ میلی لیتر و ۰/۱ میلی لیتر رقیق گردید، سپس به ۵ لوله آزمایش از هر دسته ۵ تایی، به ترتیب ۲۰، ۱۰ و ۱۰ میلی لیتر از محیط کشت مایع لاکتوز براث اضافه شد. به هر لوله آزمایش یکی از لوله‌های دورهام (برای جمع آوری گاز کربن دی اکسید) اضافه گردید. نتایج پس از تقریباً ۲۴ ساعت نگهداری هر دو مجموعه در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد بررسی گردید. تشکیل رنگ زرد در محیط کشت نشانه ای از تولید اسید در نتیجه تخمیر لاکتوز توسط باکتری‌ها است. نتایج تست پیش فرض در مورد نمونه آب رودخانه مثبت بود (اسید و گاز در تیوب‌ها دورهام مشاهده شد)، به همین دلیل، تست تأییدیه انجام شد.

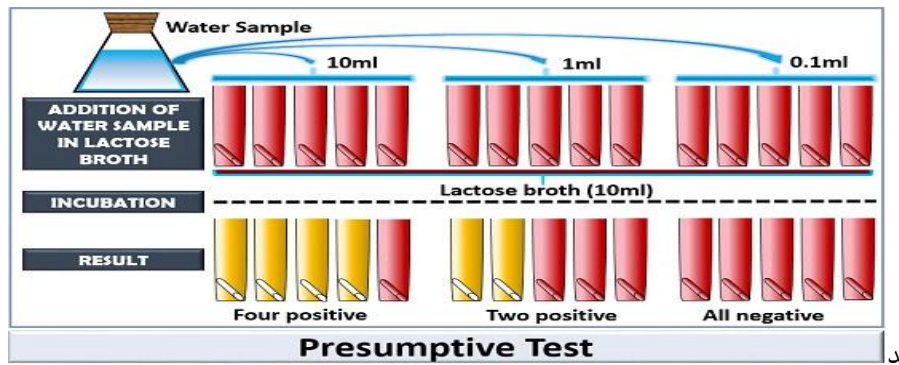
۱. Anisuzzaman

۲. Altintig

۳. Foo

۴. Lazim

۵. Most probable number



ید

شکل (۱۲): مراحل تست پیش فرض

مرحله تست تاییدیه

در لوله‌های مثبت مرحله احتمالی که در محیط کشت انتخابی تر برلیانت گرین بایل براث (BGBB^۱) کشت شده بودند، کدورت به همراه تولید گاز مشاهده گردید که تأیید کننده حضور کلی فرم‌ها می‌باشد.

مرحله تست تکمیلی

در این مرحله کلونی‌های تیره با جلای فلزی سبز روی محیط کشت EMB agar^۲ مشاهده شد که به معنای اطمینان از حضور کلی فرم‌ها در لوله برلیانت گرین بایل براتی که از آن انتقال انجام شده می‌باشد.

جدول (۱): آنالیز فیزیکی نمونه‌های آب

آنالیز فیزیکی نمونه‌های آب				
نمونه گرفته شده	pH	بو	کدورت	شاخص MPN میلی لیتر
آب رودخانه	۷/۳۰	بد بو	۱۰۲/۴۰	۲۴۰
آب تصفیه شده	۷/۸۶	بدون بو	۰	۰

تست محدوده بازدارندگی رشد

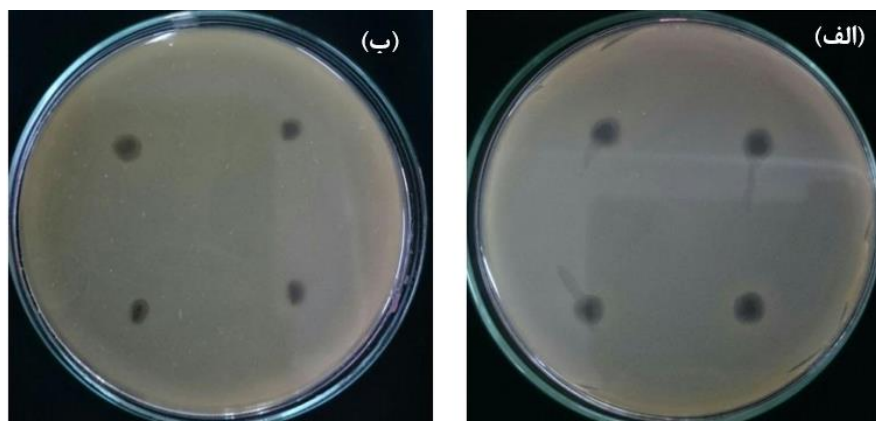
به منظور تعیین محدوده بازدارندگی رشد کامپوزیت‌های به کار رفته در فیلتر، ابتدا دو نوع باکتری (گرم منفی اشرشیکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس) (هر کدام ۱۰۰ μL) به صورت جدا در پتری دیش‌های استریل شده حاوی محیط کشت مولر هینتون آگار (MHA^۳) تلقیح گردید، سپس مقادیر یکسانی از کامپوزیت‌ها (حدود ۶ میلی گرم) و نیز مخلوط آنها در ۴ گوشه پتری دیش تلقیح شده با باکتری، قرار داده شدند. پس از ۲۴ ساعت گرمخانه گذاری در دمای ۳۷ درجه

۱. Brilliant Green Bile Broth

۲. Eosin Methylene Blue

۳. Mueller Hinton Agar

سانتیگراد، قطر ناحیه بازدارندگی رشد توسط کولیس ورنیه اندازه‌گیری گردید. نتایج مربوط به آزمایش محدوده بازدارندگی رشد بر روی دو باکتری گرم منفی اشرشیکلی و گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۱۳): تصاویر مربوط به محدوده بازدارندگی رشد نانوکامپوزیت‌ها بر روی: (الف) باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس، (ب) باکتری گرم منفی اشرشیکلی.

اثر نانوکامپوزیت بر محدوده بازدارندگی رشد هر دو نوع باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس و گرم منفی اشرشیکلی به ترتیب در شکل‌های ۱۳ الف و ب نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده حساسیت هر دو نوع باکتری نسبت به کامپوزیت‌های مورد استفاده در فیلتر است. میانگین هاله عدم رشد برای باکتری اشرشیکلی ۵/۳ mm و برای باکتری استافیلوکوکوس اورئوس ۶/۵ mm می‌باشد. نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که خاصیت ضد باکتری کامپوزیت‌های تهیه شده بر روی باکتری استافیلوکوکوس اورئوس بیشتر از باکتری اشرشیکلی است.

تأثیر فیلتر بر کاهش سختی آب

برای تعیین سختی کل آب از روش تیتراسیون کمپلکسومتری با اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA)^۱ (نیلسن^۲، ۲۰۱۷) استفاده گردید. آزمایش‌ها نشان داد که هر دو نانوذرات سیلیکا و کربن فعال با پوشش نقره تغییرات معنی‌داری در ظرفیت جذب یون‌های کلسیم و منیزیم دارند. این مواد به طور موثری سختی آب را کاهش دادند، که منجر به کاهش قابل توجهی در تشکیل رسوبات معدنی شد. اثربخشی نانوذرات سیلیکا با پوشش نقره و کربن فعال در کاهش سختی آب، می‌تواند به افزایش مساحت سطح و واکنش پذیری شیمیایی آنها نسبت داده شود. اندازه کوچک نانوذرات مساحت جذب بزرگی را فراهم می‌کند. نانوذرات نقره دارای توانایی تشکیل پیوندهای شیمیایی با یون‌های کلسیم و منیزیم هستند. این پیوندها باعث جذب محکم‌تر و ماندگارتر یون‌های فلزی می‌شوند. وجود نانوذرات نقره باعث تعاملات شیمیایی افزایش یافته با یون‌های کلسیم و منیزیم در آب می‌شود. این تعاملات باعث جذب بهتر این یون‌ها توسط کربن فعال می‌شود. علاوه بر این زئولیت کلینوپتیلولیت با جذب یون‌های کلسیم و منیزیم آب باعث کاهش سختی کل آب می‌شود. نتایج آزمون سنجش سختی کل آب نشان می‌دهد که میزان سختی کل بر حسب میلی گرم بر لیتر کربنات کلسیم از ۱۱۰ برای نمونه آب

۱. Ethylenediamine tetraacetic acid

۲. Nielsen

تصفیه نشده به حدود ۳۰ برای آب عبور کرده از فیلتر کاهش پیدا کرده است. فیلتر در کاهش سختی آب عملکردی حدود ۷۳ درصد داشته است.

نتایج به دست آمده از کدورت سنجیج

واحد سنجش کدورت NTU^۱ می باشد. یکی از معیارهای اصلی در کیفیت آب در تصفیه خانه ها، کدورت آب می باشد. آب تصفیه خانه ها باید همواره کدورت سنجی شده و میزان کدورت نباید از حد مشخصی بیشتر شود. حداکثر میزان قابل قبول برای کدورت آب آشامیدنی برابر با ۵ NTU می باشد. هر چه میزان ذرات کلوئیدی موجود در آب بیشتر باشد، نور کمتری عبور کرده و دستگاه کدورت بیشتری را نشان می دهد. کدورت نمونه آب رودخانه، قبل و بعد از تصفیه توسط دستگاه کدورت سنج دیجیتال Hach اندازه گیری گردید. میزان کدورت از حدود ۱۰۲ NTU به حدود صفر بعد از عبور از فیلتر چند لایه کاهش پیدا کرد.

نتایج اندازه گیری پارامترهای BOD و COD

جهت تعیین بار آلودگی آلی آب رودخانه دو پارامتر BOD و COD اندازه گیری گردید. میزان BOD و COD برای نمونه آب تصفیه نشده به ترتیب ۷۳ و ۱۳۸ میلی گرم در لیتر به دست آمد. بعد از عبور از فیلتر مقدار این دو پارامتر به ترتیب به ۶ و ۱۰ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا کرد. به نظر می رسد که عمده بار آلودگی آلی این رودخانه ناشی از ورود فاضلاب کشاورزی و روستایی به آن باشد.

نتایج اندازه گیری میزان یون کلرید

برای ارزیابی کارایی فیلتر در کاهش مقدار یون کلرید، مقدار این یون در نمونه آب قبل و بعد از عبور از فیلتر با استفاده از روش تیتراسیون رسوبی موهر (شوکلای^۲ و همکاران، ۲۰۱۸) اندازه گیری شد. نتایج به روند کاهشی در مقدار یون کلرید از ۱۸/۲ میلی گرم بر لیتر به حدود ۴ میلی گرم بر لیتر را نشان می دهد.

عملکرد فیلتر در کاهش یون نیترات

برای اندازه گیری یون نیترات در آب، روش اسپکتروفتومتری استفاده گردید. غلظت یون نیترات قبل از عبور از فیلتر ۴۲/۲ میلی گرم در لیتر بود که پس از تصفیه آب توسط فیلتر به عدد ۶/۵۱ رسید، که کاهشی در حدود ۸۵ درصدی را در کاهش یون نیترات از خود نشان می دهد. آلودگی نیترات به دلیل ورود رواناب های سطحی ناشی از بارندگی بر روی زمین های کشاورزی و شستشوی سموم و کودهای آلی این زمین ها همانند آمونیم نیترات و حمل آنها به داخل رودخانه می باشد.

پیشنهادهای

- کاربرد سایر نانوذرات فلزی در تهیه نانوکامپوزیت های مورد استفاده در این پژوهش جهت بررسی خاصیت آنتی باکتریایی آنها در تصفیه آب
- ساخت فیلترهای تصفیه هوا با استفاده از نانوکامپوزیت های مورد مطالعه در این پژوهش

۱. Nephelometric Turbidity Unit

۲. Shukla

- استفاده از پوکه معدنی به جای ماسه و گراول در جذب آلودگی‌های آب
- استفاده از مواد سرامیکی و کائولین به عنوان بستر به جای کربن فعال
- استفاده از باند پنبه‌ای یا الیافی همانند پلی پروپیلن جهت جدا کردن لایه های فیلتر از هم به جای پشم شیشه
- قرار دادن لایه‌ها در محفظه‌های جدا از هم و روی هم سوار کردن این محفظه‌ها جهت مونتاژ فیلتر نهایی

فهرست منابع

کاظمی مقدم، منصور (۱۳۹۵). «پکیج های تصفیه آب قابل حمل و بدون نیاز به انرژی برق»، دهمین کنگره پیشگامان پیشرفت، تهران، SID. <https://sid.ir/paper/866229/fa>

نظری، مسعود؛ اکبرپور، محمد (۱۳۹۸). «روشهای تصفیه آب و نحوه‌ی ساخت پکیج تصفیه آب»، چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش در علوم و مهندسی، <https://civilica.com/doc/936332>

Altintig, E., Arabaci, G., & Altundag, H. (2016). "Preparation and characterization of the antibacterial efficiency of silver loaded activated carbon from corncobs." *Surface and Coatings Technology*, Vol. 304, pp. 63–67.

Anisuzzaman, S. M., Joseph, C. G., Taufiq-Yap, Y. H., Krishnaiah, D., & Tay, V. V. (2015). "Modification of commercial activated carbon for the removal of 2, 4-dichlorophenol from simulated wastewater." *Journal of King Saud University-Science*, Vol. 27(4), pp. 318–330.

Batra, S., Adhikari, P., Ghai, A., Sharma, A., Sarma, R., & Suneetha, V. (2017). "Study and design of portable antimicrobial water filter." *Asian J. Pharm. Clin. Res*, Vol. 10, pp. 268–271.

Foo, K. Y., & Hameed, B. H. (2009). "Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: application to environmental problems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13(9), pp. 2495–2504.

Jiang, X., Xie, Y., Lu, J., Zhu, L., He, W., & Qian, Y. (2001). "Preparation, characterization, and catalytic effect of CS₂-stabilized silver nanoparticles in aqueous solution." *Langmuir*, Vol. 17(13), pp. 3795–3799.

Lazim, Z. M., Hadibarata, T., Puteh, M. H., & Yusop, Z. (2015). "Adsorption characteristics of bisphenol A onto low-cost modified phyto-waste material in aqueous solution." *Water, Air, & Soil Pollution*, Vol. 226, pp. 1–11.

Mourhly, A., Khachani, M., Hamidi, A. E., Kacimi, M., Halim, M., & Arsalane, S. (2015). "The synthesis and characterization of low-cost mesoporous silica SiO₂ from local pumice rock." *Nanomaterials and Nanotechnology*, Vol. 5, No. 35, PP. 1–7.

Mukaratirwa-Muchanyereyi, N., Tigere, W., Hokonya, N., Gusha, C., Guyo, U., & Nyoni, S. (2020). "Preparation and performance characterization of ceramic/silver nanoparticle composite in water purification." *International Journal of Applied Ceramic Technology*, Vol. 17(3), pp. 1522–1530.

Nezamzadeh-Ejhi, A., & Bahrami, M. (2015). "Investigation of the photocatalytic activity of supported ZnO-TiO₂ on clinoptilolite nano-particles towards photodegradation of wastewater-contained phenol." *Desalination and Water Treatment*, Vol. 55(4), pp. 1096–1104.

Nielsen, S. S., & Nielsen, S. S. (2017). "Water Hardness Testing by Complexometric Determination of Calcium." *Food Analysis Laboratory Manual*, pp. 147–152.

Quang, D. V., Sarawade, P. B., Jeon, S. J., Kim, S. H., Kim, J. K., Chai, Y. G., & Kim, H. T. (2013). "Effective water disinfection using silver nanoparticle containing silica beads." *Applied Surface Science*, Vol. 266, pp. 280–287.

Shameli, K., Ahmad, M. B., Zargar, M., Yunus, W. M. Z. W., & Ibrahim, N. A. (2011). "Fabrication of silver nanoparticles doped in the zeolite framework and antibacterial activity." *International journal of nanomedicine*, Vol. 6, pp. 331–341.

Shukla, M., & Arya, S. (2018). "Determination of Chloride ion (Cl⁻) concentration in ganga river water by Mohr method at Kanpur, India." *Green Chemistry & Technology Letters*, Vol. 4(1), pp. 6–8.

Shi, Z., Neoh, K. G., & Kang, E. T. (2007). "Antibacterial and adsorption characteristics of activated carbon functionalized with quaternary ammonium moieties." *Industrial & engineering chemistry research*, Vol. 46(2), pp. 439–445.

Salem, M. A., Elsharkawy, R. G., Ayad, M. I., & Elgendy, M. Y. (2019). "Silver nanoparticles deposition on silica, magnetite, and alumina surfaces for effective removal of Allura red from aqueous solutions." *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, Vol. 91, pp. 523–538.

Taheran, M., Kumar, P., Naghdi, M., Brar, S. K., Knystautas, E. J., Verma, M., & Surampalli, R. Y. (2019). "Development of an advanced multifunctional portable water purifier." *Nanotechnology for Environmental Engineering*, Vol. 4, pp. 1–6.

Design and Development of a Portable Water Purification Filter for Emergency and Military Water Supply

Hassan Tavakoli^{1*}, Sajjad Hashemi², Rasool Amirkhani³, Mahdi Gholampour⁴

Abstract:

The aim of this research is the design and development of a compact and portable water purification device with antimicrobial properties. The main components of the designed filter include sand, gravel, silica nanoparticles, activated carbon, and clinoptilolite coated with silver nanoparticles. These components are arranged in a series to purify water by targeting microorganisms, micro-pollutants, and turbidity. Initially, the surface of silica nanoparticles was modified with 3-aminopropyl trimethoxy silane, and the surface of activated carbon was treated with nitric acid and then coated with silver nanoparticles. Additionally, natural zeolite clinoptilolite was coated with silver nanoparticles using the chemical reduction method. The nanocomposites are evaluated using scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDAX) analyses. Water samples before and after filtration through the filter were assessed through pH testing, turbidity testing, total hardness examination, maximum probable number of bacteria testing, biological oxygen demand (BOD) testing, and chemical oxygen demand (COD) testing. The designed filter offers several advantages. Firstly, it exhibits powerful antibacterial activity, effectively reducing microbial contamination in water. Secondly, it can reduce turbidity, BOD, and COD in water, indicating its efficiency in water purification. Furthermore, the filter operates without the need for external energy sources. Therefore, the results demonstrate that the designed filter is a highly efficient and desirable water purification device.

Keywords: silver nanoparticles, activated carbon, portable water filter, water purification

١. Assistant Professor, Department of Chemistry and Physics, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University, Tehran, Iran, Email: hs.tavakoli51@gmail.com

٢. Alternative Military Service Project Student, Chemistry and Physics Department, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University, Tehran, Iran.

٣. Assistant Professor, Department of Chemistry and Physics, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University, Tehran, Iran.

٤. Assistant Professor, Department of Chemistry and Physics, Faculty of Basic Sciences, Imam Ali University, Tehran, Iran.