

سنتز سبز فیلتر نانوکامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی با عصاره گیاهی و کاربرد آن در حذف آلودگی منابع آبی

سهراب حاج محمدی^۱، دادخدا غضنفری^{۲*}، عنایت‌الله شیخ‌حسینی^۲، ناهید رستاخیز^۳، حمیده اسدالله‌زاده^۳

۱- دانشجوی دکترای شیمی آلی، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

۳- استادیار، گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کرمان، ایران

* نویسنده مسئول: ghazanfari@iauk.ac.ir

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹، پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۱

چکیده

منابع آبی جزو سرمایه‌های طبیعی هر کشوری به شمار می‌آیند. لذا حفظ این منابع طبیعی از جمله چالش‌های مهم همه کشورها به شمار می‌آید. استفاده بیش از حد از مواد شیمیایی و صنعتی و ورود آنها به منابع آبی، مشکلات فراوانی را برای این منابع به وجود آورده است. لذا ارائه روش‌های نوین در حذف آلاینده‌های آبی از اهمیت زیادی برخوردار است. روش سنتز سبز نانوذرات به علت دارا بودن ویژگی‌هایی مانند ایمنی بیشتر، سازگاری با محیط زیست، ساده و کم هزینه بودن مورد توجه زیاد واقع شده است. در این کار پژوهشی سنتز سبز نانوذرات اکسید روی با استفاده از گیاه *دافنه ماکروناتا* انجام شد و در تهیه نانوفیلتر استات سلولز / اکسید روی مورد استفاده قرار گرفت. تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانوفیلتر نشان می‌دهد میانگین اندازه قطر نانوالیاف در حدود ۴۰ نانومتر و میانگین اندازه نانوذرات حدود ۴۷ نانومتر می‌باشد. همچنین تاثیر این فیلتر در حذف رنگ متیل‌اورانژ از منابع آبی در شرایط مختلف غلظت رنگ، میزان جذب و pH مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد فیلتر نانوکامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی قادر به حذف حدود ۹۰ درصد رنگ متیل‌اورانژ در شرایط بهینه می‌باشد. همچنین نتایج بررسی اثر ضد میکروبی این ساختار بر روی ۴ نمونه باکتری بیماری‌زا شامل باسیلوس سرئوس و *استافیلوکوس / پیدرمیس*، سالمونلا و اسینتوباکتر انجام شد. نتایج نشان داد بیشترین قطر هاله عدم رشد مربوط به باکتری‌های بیماری‌زای باسیلوس سرئوس و *استافیلوکوس / پیدرمیس* و حدود ۲۲ میلی‌متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: استات سلولز، اکسید روی، سنتز سبز، *دافنه ماکروناتا*، نانوفیلتر

مقدمه

می‌شود. لذا ارائه راهکارهایی جهت حذف این ترکیبات ضروری به نظر می‌رسد (۲). متیل‌اورانژ یکی از مهمترین شناساگرهای اسید- بازی است که برای تعیین pH اسیدی و بازی در محیط‌های آزمایشگاهی و صنعتی و نیز در بخش طیف‌سنجی جهت تعیین فرمولاسیون مواد استفاده می‌شود. به دلیل استفاده فراوان این ترکیب در فرایندهای صنعتی، غلظت زیاد این ماده در فاضلابهای کارخانه‌ها و ورود آن به آبهای سطحی مشکلاتی را برای محیط زیست ایجاد کرده است (۳).

آلودگی آب موضوع مهمی است که در سالهای اخیر مورد توجه کارشناسان محیط زیست در سرتاسر دنیا قرار گرفته است. بیشتر آلودگی آب‌های سطحی ناشی از ورود فاضلاب‌های صنعتی است که حاوی انواع مواد شیمیایی، رنگ و افزودنی‌های صنعتی می‌باشند (۱).

رنگها از متداولترین آلاینده‌های موجود در پساب خروجی از صنایعی همچون نساجی و رنگرزی می‌باشند که نمونه‌های مختلفی از آنها به وفور در صنایع مختلف استفاده

استفاده از پلیمرهای مختلف و با اهداف کاربردی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۱، ۱۲).

یکی از پلیمرهای پرکاربرد در تهیه نانوالیاف پلیمرهای زیستی از جمله مشتقات سلولز هستند. در سال‌های اخیر، با توجه به مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی، پلیمرهای زیستی از جمله سلولز به عنوان یک ماده جایگزین سبز برای مشتقات نفتی مطرح شده‌اند. در این راستا استرهای سلولز یکی از بزرگترین و پرمصرف‌ترین مشتقات سلولزی هستند که با تغییر شبکه پیوندهای هیدروژنی ذاتی سلولز و ایجاد جانشینی‌های جدید در زنجیره حاصل می‌شود و برای اهداف خاص مورد استفاده قرار می‌گیرند. جایگزینی‌هایی که به صورت گروه‌های استیل در استات سلولز ایجاد شده‌اند، از تشکیل کامل پیوندهای هیدروژنی جلوگیری می‌کنند و برهمکنش‌های جدیدی در زنجیره سلولزی ایجاد می‌کنند. استرهای سلولزی از نظر واکنش‌پذیری متفاوت از سلولز عمل کرده و می‌توان از آنها در کاربردهای مختلفی مانند صنایع داروسازی، غشاهای جداسازی، پوشش‌ها و رنگ‌ها، فیلترهای کروماتوگرافی گازی و غیره استفاده کرد (۱۳).

نانوذرات نیز از دیگر ساختارهای نانومتری هستند که در فرایند فیلتراسیون و حذف انواع آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانوذرات اکسید روی یکی از پرکاربردترین نانوذرات هستند که به دلیل خواص ضد میکروبی و فوتوکاتالیستی مناسب و منحصر بفرود، کاربردهای زیادی در تولید انواع فیلترهای ضد میکروبی دارند (۱۴). نانوذرات در صنایع به روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف تولید می‌شوند. با این وجود آلودگی‌های محیط‌زیستی مانند آلودگی‌های شیمیایی می‌تواند در اثر انجام انواع فرآیندهای شیمیایی و فیزیکی که برای تولید نانوذرات استفاده می‌شود، ایجاد شود. از این رو، پژوهشگران تلاش‌های بسیاری برای سنتز انواع نانومواد توسط فرآیندهای سازگار با محیط زیست با استفاده از میکروارگانیسم‌های مختلف و عصاره‌های گیاهی متنوع انجام داده‌اند (۱۵، ۱۶). سنتز نانوذرات با استفاده از عصاره‌های گیاهی مختلف روشی ساده، موثر و کم‌هزینه در

با توجه به مقاوم بودن این ترکیبات به تجزیه شدن در طبیعت و نیز سمیت زیاد آن، امروزه فرآیندهای مختلفی برای تصفیه رنگ‌ها در محلول‌های آبی استفاده می‌شود که شامل جذب، انعقاد شیمیایی و فرایندهای غشایی می‌باشد (۴، ۵). با این حال اکثر روش‌های ذکر شده منجر به حذف کامل آلاینده‌های رنگی به ویژه در مقادیر کم نمی‌شوند. همچنین برخی سیستم‌های تصفیه آب پرهزینه بوده و نیاز به نصب تجهیزات ویژه‌ای دارند. لذا نیاز به ارائه روش‌های جدید در حذف آلاینده‌ها ضروری به نظر می‌رسد.

نانوفناوری، به عنوان یک رویکرد جدید علمی، توانمندی تولید انواع مواد، ابزارها و سامانه‌های جدیدی است که با کنترل کردن ابعاد مولکول‌ها و اتم‌ها، منجر به ایجاد خواص جدیدی در مواد می‌گردد (۶). این فناوری جدید کاربردهای بسیاری در حوزه‌های مختلف از جمله مهندسی مواد، محیط زیست و پزشکی دارد (۷). کاربردهای گسترده این فناوری و پیامدهای صنعتی و اجتماعی آن، این تکنولوژی را به یک موضوع فرارشته‌ای تبدیل کرده‌است. محدوده نانو ساختاری این فناوری شامل طیف وسیعی از نانوذرات، نانوالیاف و نانو پوشش‌ها می‌باشد. فناوری تولید نانوفیلتر از فناوری‌های پرکاربرد در حوزه نانو است که کاربرد گسترده‌ای از صنایع غذایی و دارویی تا صنعت آب و فاضلاب و همچنین صنایع نفت و گاز دارد. یکی از کاربردهای نانوفیلترها در تصفیه آب برای تصفیه آب‌های آلوده و فاضلاب‌های صنعتی است. در تهیه نانوفیلترها از ساختارهای نانومتری متفاوتی مانند نانوذرات و نانوالیاف استفاده می‌شود (۸، ۹). نانوالیاف ساختارهایی یک بعدی هستند که تنها یک بعد، خارج از محدوده نانو دارند. این ترکیبات به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر بفردی همچون متخلخل بودن، مساحت سطح بالا، خواص مکانیکی و شیمیایی مطلوب و پایداری گرمایی زیاد در طراحی و ساخت انواع فیلترهای زیستی و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۰). متداولترین روش برای تولید نانوالیاف، فرآیند الکتروریسی می‌باشد. این روش، یک روش موثر و سازگار با محیط زیست است که قابل کنترل بوده و با

Acinetobacter baumannii (PTCC 1709) و (PTCC 1855) بودند که از بانک میکروبی مرکز پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه شدند.

تهیه عصاره گیاهی

گونه *دافنه ماکروناتا* جمع‌آوری شده از مناطق کوهستانی اطراف شهرستان بافت، توسط متخصصین گیاه‌شناس دانشگاه شهید باهنر کرمان شناسایی و مورد تأیید قرار گرفت. سپس برگ‌های تازه گیاه با آب مقطر به خوبی شسته شده و به مدت یک هفته در دمای اتاق به دور از نور مستقیم خورشید خشک شدند. برگ‌های خشک شده، توسط آسیاب برقی به صورت پودر درآمده و عصاره‌گیری از آنها، به وسیله حلال متانول ۸۰٪ با همزدن مخلوط در دمای اتاق به مدت ۲۴ ساعت انجام شد. محلول به دست آمده توسط کاغذ صافی واتمن ۴۲، صاف شد و به مدت ۳۰ دقیقه به وسیله دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. در نهایت، عصاره به دست آمده در شیشه‌های استریل و برای استفاده‌های بعدی در یخچال با دمای تقریبی ۴- درجه سانتیگراد نگهداری شد.

سنتز سبز نانوذرات اکسید روی با استفاده از عصاره گیاه دافنه ماکروناتا

به منظور سنتز نانوذرات اکسید روی، از عصاره برگ گیاه *دافنه ماکروناتا* استفاده شد. در این تحقیق ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول نیترات روی ۰٫۵ مولار در ظرف وارد شد. سپس ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره گیاهی *دافنه ماکروناتا* به دست آمده به محیط اضافه شد و سپس بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت. نمونه به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط به آرامی هم‌زده شد. تشکیل سوسپانسون سفید رنگ در محیط نشان‌دهنده تشکیل هیدروکسید روی در محیط است. بعد از ته‌نشین شدن رسوبات هیدروکسید روی، نمونه در دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شد تا رسوبات کاملاً جدا شوند. رسوب

تولید انواع نانوذرات است. هر چند گیاهان مختلفی برای سنتز انواع نانوذرات به کار گرفته شده‌اند. با این وجود به دلیل جذابیت و کاربرد نانوذرات تلاش برای یافتن روش‌های سنتز سبز نانوذرات با نمونه‌های گیاهی جدید توسط محققین ادامه دارد (۱۷، ۱۸). گیاه *دافنه* یکی از گیاهان بومی ایران به ویژه در نواحی مرکزی و شرقی است که دارای تنوع گونه‌های زیاد بوده و کاربردهای دارویی و زیستی فراوانی دارد. گونه‌های مختلف این تیره از زمانهای گذشته برای درمان انواع بیماری‌های پوستی، ناراحتی روماتیسمی و درد مفاصل و همچنین برخی سرطان‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفتند (۱۹).

با توجه به اینکه گزارش‌های کمی در مورد کاربرد این گیاه در سنتز نانوذرات منتشر شده است در این کار پژوهشی سنتز سبز نانوذرات اکسید روی با استفاده از عصاره این گیاه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نانوفیلتر سلولزی حاوی این نانوذرات تهیه شد و جهت حذف آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی از آب مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

مواد شیمیایی مورد نیاز شامل پلیمر استات سلولز با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰، حلال متانول و اسید استیک با درجه خلوص ۹۵ درصد، نیترات روی و حلال دی‌متیل سولفوکسید با درجه خلوص ۹۸ درصد، محیط کشت مولر هینتون آگار از شرکت مرک آلمان، اسید سولفوریک ۹۵ درصد و پودر کلرید باریم بدون آب جهت ساخت استاندارد مک‌فارلند از شرکت مرک آلمان تهیه شد و بدون خالص‌سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. میکروارگانیسم‌های استفاده شده جهت انجام تست ضد میکروبی، شامل دو نمونه باکتری‌های گرم مثبت *Bacillus cereus* (PTCC 1665) و *Staphylococcus epidermidis* (PTCC 1435) و دو نمونه باکتری گرم منفی *Salmonella enterica*

حداقل غلظت کشندگی و تعیین قطر هاله عدم رشد بررسی شد. به منظور تعیین حداقل غلظت بازدارندگی و حداقل غلظت کشندگی از روش انتشار چاهک استفاده شد.

بررسی فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف

به منظور تعیین قطر هاله عدم رشد، ابتدا با سوآپ چند نمونه سویه باکتریایی براساس غلظت نیم مک‌فارلند بر روی پلیت‌های حاوی محیط کشت جامد مولر- هینتون آگار کشت داده و در وسط آنها یک دیسک خالی قرار داده شد. سپس مقدار ۲۰ میکرولیتر از محلول حاوی نمونه نانوالیاف و نانوذرات که دارای اثرات ضدباکتریایی مناسب بر علیه سویه باکتری مورد نظر بودند بر روی دیسک بلانک تزریق و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد قرار داده شد. در نهایت، پلیت‌ها برداشته شده و قطر هاله ایجاد شده به وسیله نمونه بعد از سه تکرار، توسط کولیس اندازه‌گیری شد (۲۳).

تعیین حداقل غلظت بازدارندگی^۱

ابتدا در ظرف محیط کشت حاوی مایع مولر- هینتون، نمونه سویه‌های از باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی با غلظت نیم مک‌فارلند تهیه شد. سپس نمونه‌هایی از نانوالیاف حاوی نانوذرات در حلال دی‌متیل سولفوکسید^۲ با غلظت‌های متفاوت تهیه شد و از هر غلظت، مقدار ۲۰ میکرولیتر در چاهک‌های یک ردیف از پلیت کشت سلول ۹۶ خانه‌ای ریخته شد. سپس مقدار ۱۷۰ میکرولیتر محیط کشت مایع مولر- هینتون و ۱۰ میکرولیتر از نمونه سویه‌های باکتریایی مختلف به هر چاهک اضافه و به مدت ۲۴ ساعت درون انکوباتور شیکردار با دمای ۳۷ درجه سانتیگراد قرار داده شد. در نهایت، کمترین غلظتی که کدورتی داخل چاهک مشاهده نشد به عنوان حداقل غلظت بازدارندگی (MIC) گزارش

به دست آمده به مدت دو ساعت در کوره با دمای ۳۵۰ درجه قرار داده شد تا ترکیب هیدروکسید روی به نانوذرات اکسید روی تبدیل شود (۲۰).

تولید لایه نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی به روش الکتروریسی

برای تهیه نانوالیاف پلیمری ابتدا محلول پلیمری استات سلولز با درصد وزنی / وزنی ۱۲ درصد از پلیمر استات سلولز بر اساس مطالعات قبلی تهیه شد (۲۱). در مرحله بعد، مقدار ۰٫۲ گرم از نانوذرات اکسید روی، به ۱۰ میلی‌لیتر از محلول پلیمری افزوده شد و مخلوط حاصل، به مدت ۳۰ دقیقه در دستگاه التراسونیک قرار داده شد تا محلول کاملاً یکنواختی حاصل گردد.

جهت تهیه نانوالیاف از دستگاه الکتروریسی شرکت نانوازما، ساخت کشور ایران استفاده شد. این دستگاه مجهز به سامانه تامین کننده ولتاژ بالا، به میزان ۳۰ کیلوولت و پمپ الکتروریسی با سرنگ ۵ سی‌سی، سوزن مدل اسپاینال ۲۲ و یک جمع‌کننده می‌باشد. در این تحقیق، محلول پلیمری داخل یک سرنگ ریخته شد و فاصله سوزن تا جمع‌کننده ۸ سانتی‌متر، ولتاژ دستگاه ۲۰ کیلوولت، نرخ تزریق ۳ میلی‌لیتر بر ساعت و سرعت چرخش جمع‌کننده ۱۰۰ دور بر دقیقه تنظیم شد. بعد از یک ساعت کار دستگاه، لایه نازکی از نانوالیاف پلیمری حاوی نانوذرات اکسید روی بر روی جمع‌کننده تشکیل شد. مورفولوژی و قطر نانوالیاف حاصل از فرایند الکتروریسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد بررسی قرار گرفت (۲۲).

بررسی خواص ضد میکروبی

فعالیت‌های ضد میکروبی نمونه نانوالیاف حاوی نانوذرات اکسید روی شامل تعیین حداقل غلظت بازدارندگی، تعیین

^۱ Minimum inhibitory concentration (MIC)

^۲ Dimethyl sulfoxide (DMSO)

مطالعات جذبی جهت بررسی کارایی نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی

جهت انجام مطالعات جذبی نانوالیاف کامپوزیتی جهت حذف رنگ متیل اورانژ، ابتدا طول موج بیشترین جذب مربوط به رنگ متیل اورانژ مشخص شد. بدین منظور محلولی با غلظت ۲۰۰ ppm از رنگ متیل اورانژ تهیه شد و جذب آن توسط دستگاه طیف‌سنج ماورا بنفش / مرئی قرائت شد (۲۷). سپس مطالعات جذبی جهت بررسی کارایی نانوالیاف کامپوزیتی با استفاده از مقدار مشخصی از نانو کامپوزیت تهیه شده که در تماس با محلول رنگ متیل اورانژ قرار داشت، انجام شد. برای بدست آوردن پارامترهای بهینه جذب ترکیب رنگ متیل اورانژ، از قبیل pH، مقدار جاذب و مقدار رنگ، هر بار یکی از این عوامل مؤثر در جذب تغییر داده شد و با ثابت نگه داشتن بقیه فاکتورها، مقدار بهینه تعیین شد. جهت محاسبه درصد جذب از رابطه زیر استفاده شد:

$$\text{درصد جذب} = (C_0 - C_t / C_0) \times 100$$

در این رابطه، C_0 و C_t به ترتیب غلظت اولیه و نهایی رنگ متیل اورانژ را بعد از مدت زمان معین t نشان می‌دهد (۲۸).

برای مطالعه اثر pH بر میزان جذب رنگ متیل اورانژ توسط نانو کامپوزیت، محلول‌هایی از رنگ متیل اورانژ با غلظت ۱۰۰ ppm در pH های مختلف (۳، ۵، ۷، ۹ و ۱۱) تهیه شد. به منظور تنظیم pH از محلول‌های رقیق سدیم هیدروکسید و کلریدریک اسید استفاده شد. به ۵۰ میلی‌لیتر از هر یک از این محلول‌ها ۲g جاذب اضافه و به مدت دو ساعت توسط همزن در دمای محیط همزده شد. جذب محلول جهت تعیین غلظت رنگ متیل اورانژ هر ۱۵ دقیقه یکبار با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج بیشینه حدود ۵۰۶ نانومتر مطالعه شد.

گردید. در آخرین چاهک هر ردیف، فقط حلال دی‌متیل سولفوکسید و سویه باکتری به عنوان کنترل منفی، ریخته شد. همچنین این آزمون برای داروی جنتامایسین به عنوان شاهد انجام شد (۲۴).

تعیین حداقل غلظت کشندگی^۳

برای تعیین حداقل غلظت کشندگی، نمونه موجود در چاهک دارای حداقل غلظت بازدارندگی به همراه سه الی چهار غلظت بالاتر از آن با استفاده از سوآپ بر روی پلیت‌های جداگانه حاوی محیط کشت جامد مولر- هینتون آگار کشت داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۳۷ درجه سانتیگراد قرار داده شد. پس از زمان مذکور، هر پلیت بررسی شده و کمترین غلظتی که باکتری رشد نکرده بود به عنوان حداقل غلظت کشندگی گزارش شد (۲۵).

مشخصه‌یابی نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی

به منظور مشاهده ساختار نانوالیاف حاوی نانوذرات تهیه شده و بررسی ابعاد نانوالیاف، از میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Mira 3-TESCAN، ساخت کشور استرالیا استفاده شد. همچنین قطر نانوالیاف و نانوذرات با استفاده از روش پردازش تصویر و نرم‌افزار Image-J 1.46r تولید کشور آمریکا محاسبه شد (۲۶). همچنین به منظور بررسی گروه‌های عاملی موجود در نانوالیاف از دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز FTIR SPECTROSCOPY ساخت کمپانی JASCO کشور ژاپن استفاده شد. این دستگاه دارای قابلیت اندازه‌گیری عدد موجی در محدوده‌ی ۳۵۰ تا ۷۸۰۰ سانتی‌متر می‌باشد.

³ Minimum Bactericidal Concentration (MBC)

آزمایش بررسی شد. بدین‌منظور جهت واجذب رنگ جذب شده بر روی نانوکامپوزیت پس از هر نوبت استفاده، نمونه جاذب در محلول سود ۰,۰۱ مولار به مدت ۲ ساعت در دمای محیط قرار داده شد. سپس جاذب جداسازی شد و پس از شستشو با استن و آب مقطر و خشک کردن مجدداً جهت حذف رنگ متیل‌اورانژ مورد استفاده قرار گرفت (۳۱).

نتایج و بحث

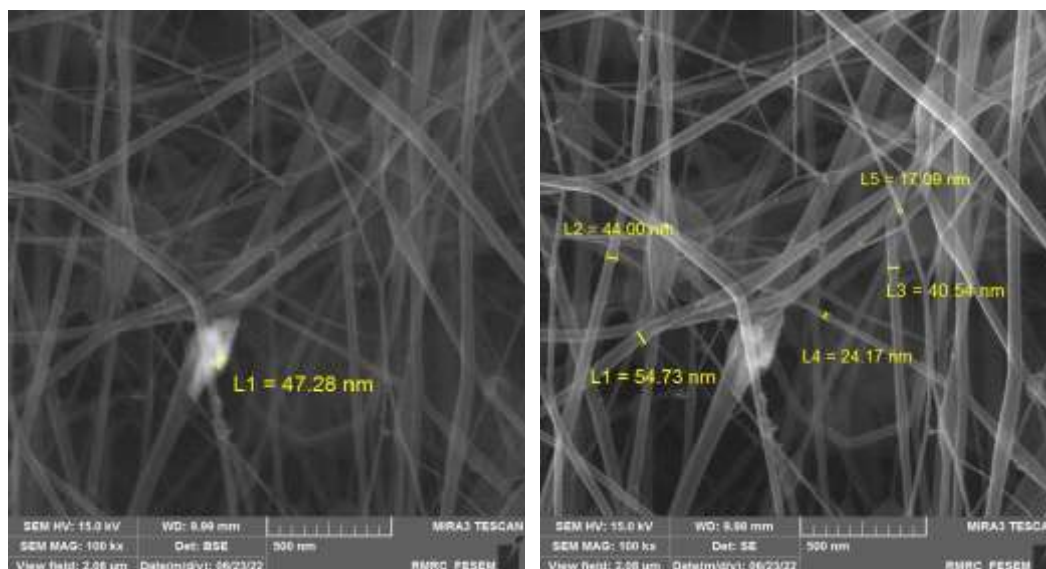
نتایج مشخصه‌یابی نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی

بررسی مورفولوژی و ویژگی سطح نانوالیاف تهیه شده با استفاده از تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM با بزرگنمایی ۱۰۰ هزار برابر انجام شد. تصاویر SEM نشان می‌دهد میانگین اندازه قطر نانوالیاف در این ساختار حدود ۴۰ نانومتر می‌باشد. همچنین وجود ذرات نانومتری اکسید روی با میانگین اندازه ۴۷ نانومتر در تصویر دیده می‌شود (شکل ۱).

به منظور بهینه‌سازی مقدار جاذب، ابتدا ۱۰۰ میلی‌لیتر از محلول رنگ متیل‌اورانژ با غلظت ۱۰۰ ppm در ۵ بشر ریخته شد و مقادیر مختلف از جاذب (به ترتیب ۰/۵ تا ۲/۵ گرم) به محلول اضافه شد و به مدت یک ساعت بر روی همزن مغناطیسی هم زده شد. سپس جاذب واکنش توسط سانتریفیوژ جدا شد و جذب محلول باقی‌مانده جهت تعیین غلظت رنگ متیل‌اورانژ با دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج بیشینه حدود ۵۰۶ نانومتر مطالعه شد (۲۹).

به منظور بررسی تاثیر غلظت اولیه رنگ متیل‌اورانژ بر میزان جذب توسط جاذب، محلول‌هایی با غلظت‌های ppm ۵ تا ۱۰۰ نسبت به رنگ متیل‌اورانژ در pH=۷ تهیه شد. به ۱۰۰ mL از این محلول‌ها به طور جداگانه مقدار ۱ گرم از هریک از جاذب نانوکامپوزیتی اضافه و به مدت ۱۲۰ دقیقه بوسیله همزن مکانیکی هم‌زده شد. سپس جاذب‌ها از محلول جدا و محلول صاف شده برای تعیین مقدار رنگ متیل‌اورانژ باقیمانده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (۳۰).

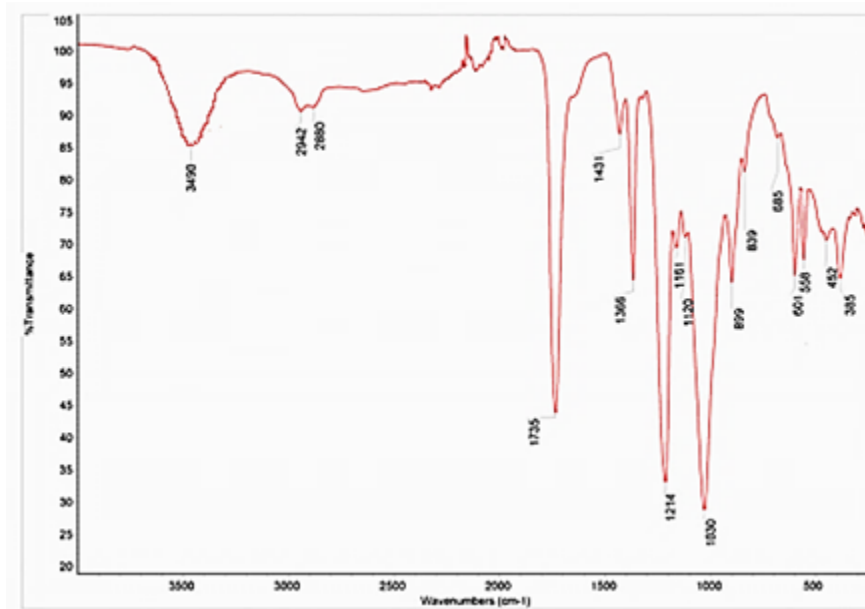
در این تحقیق به منظور بررسی کارایی نانوالیاف کامپوزیتی، امکان بازیابی و استفاده مجدد آن پس از ۶ نوبت



شکل ۱- تصویر میکروسکوپ الکترونی نانوالیاف حاوی نانوذرات اکسید روی

پیک قوی در ناحیه 1214cm^{-1} و 1735cm^{-1} وجود پیوندهای C=O و C-O را نشان می‌دهد و حضور گروه استات سلولز را در نمونه نانوالیاف تایید می‌کند (شکل ۲).

همچنین به منظور تایید گروه‌های عاملی در نمونه نانوالیاف، از طیف‌سنج مادون قرمز^۴ (FTIR) با دقت cm^{-1} و در محدوده 4000cm^{-1} - 400cm^{-1} استفاده شد. وجود



شکل ۲- طیف مادون قرمز نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی

میلی‌متر مشاهده شد. کمترین قطر هاله ضد میکروبی در باکتری گرم منفی اسینتو باکتر با قطر هاله ۱۱ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۳).

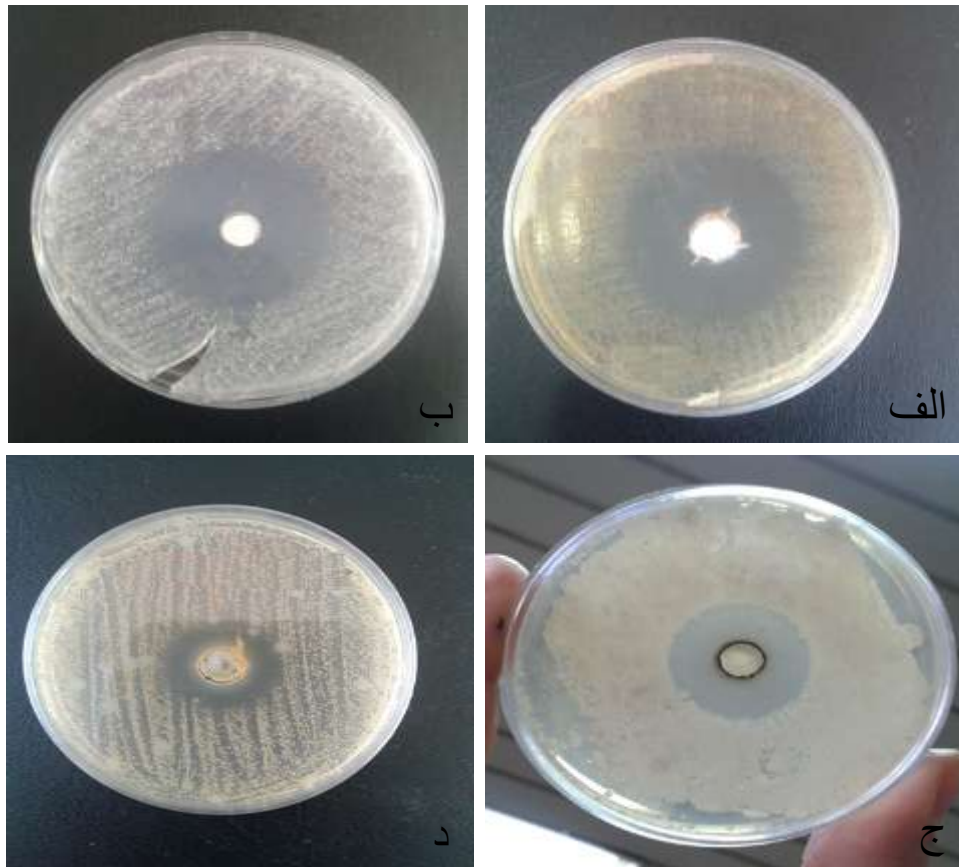
نتایج مطالعات جذبی فیلتر نانوکامپوزیتی در حذف رنگ متیل‌اورانژ

جذب محلول حاوی رنگ متیل‌اورانژ نشان داد بیشترین جذب در طول موج حدود 506nm مشاهده می‌شود که با اطلاعات مندرج در مقالات مشابهت دارد (شکل ۴) (۳۲).

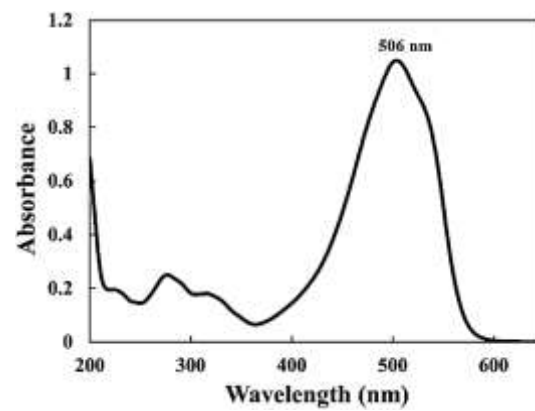
نتایج فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی

نتایج فعالیت ضد میکروبی نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز حاوی نانوذرات اکسید روی نشان داد قطر هاله عدم رشد ایجاد شده توسط این ساختار روی چند نمونه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی بین ۱۱ تا ۲۲ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۱). در این تحقیق بیشترین قطر هاله عدم رشد نانوالیاف کامپوزیتی بر روی باکتری‌های گرم مثبت استافیلوکوکس اپیدرمیس و باسیلوس سرئوس با قطر هاله ۲۲

⁴ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



شکل ۳- تصویر هاله ضد میکروبی ایجاد شده توسط نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی بر روی سویه‌های میکروبی مختلف: الف) باسیلوس سرئوس ب) استافیلوکوس اپیدرمیس ج) سالمونلا د) اسپیتو باکتر



شکل ۴- طیف ماورابنفش ترکیب متیل اورانژ

جدول ۱ - نتایج تست ضد میکروبی نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی

ردیف	سویه میکروبی	شاخص بررسی شده	نانوالیاف کامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی	جنتامیسین
۱	<i>Bacillus cereus</i> (PTCC 1665)	قطر هاله عدم رشد (mm)	۰,۹±۲۵,۲۲	۲۴
		حداقل غلظت بازدارندگی (mg/mL)	۳۲	۱
		حداقل غلظت کشندگی (mg/mL)	۶۴	۴
۲	<i>Staphylococcus epidermidis</i> (PTCC 1435)	قطر هاله عدم رشد (mm)	۱,۲±۱۴,۲۲	۲۵
		حداقل غلظت بازدارندگی (mg/mL)	۵۱۲	۲
		حداقل غلظت کشندگی (mg/mL)	۱۰۲۴	۴
۳	<i>Salmonella enterica</i> (PTCC 1709)	قطر هاله عدم رشد (mm)	۰,۸±۱۳	۲۰
		حداقل غلظت بازدارندگی (mg/mL)	۵۱۲	۴
		حداقل غلظت کشندگی (mg/mL)	۱۰۲۴	۸
۴	<i>Acinetobacter baumannii</i> (PTCC 1855)	قطر هاله عدم رشد (mm)	۰,۹±۱۱	۱۹
		حداقل غلظت بازدارندگی (mg/mL)	۲۰۴۸	۳۲
		حداقل غلظت کشندگی (mg/mL)	۴۰۹۶	۶۴
		حداقل غلظت کشندگی (mg/mL)	۱۰۲۴	۱۲۸

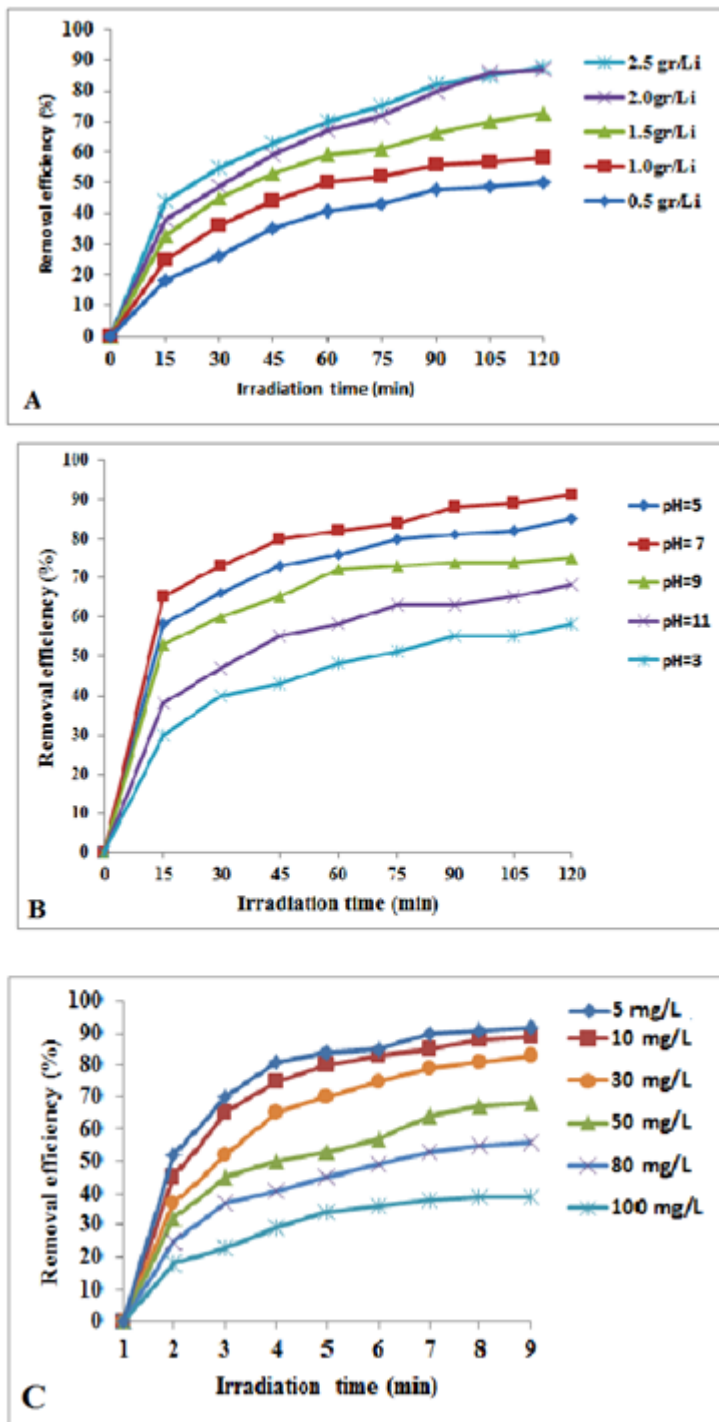
شکل ۵C اثر میزان رنگ را در فرایند جذب از محیط آبی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش مقدار رنگ از ۵ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر میزان جذب رنگ متیل‌اورانژ کاهش پیدا کرد. با افزایش میزان جاذب از ۵ میلی‌گرم بر لیتر به ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تغییر محسوسی در میزان جذب مشاهده نمی‌شود. به همین دلیل میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به عنوان کمترین مقدار رنگ جذب شده انتخاب شد (شکل ۵C).

بررسی امکان استفاده مجدد از نانوکامپوزیت

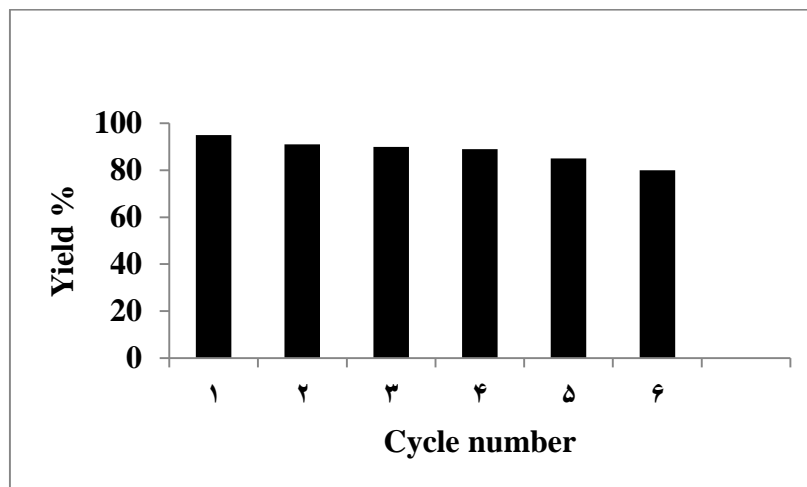
با توجه به نمودار شکل ۶ ظرفیت جذب رنگ توسط جاذب پس از سه بار استفاده از آن بالای ۹۰ درصد و بعد از ۶ بار استفاده حدود ۸۰ درصد است.

شکل ۵A اثر میزان جاذب را در حذف رنگ متیل‌اورانژ از محیط آبی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود با افزایش مقدار جاذب از ۰,۵ گرم به ۲,۵ گرم میزان جذب رنگ متیل‌اورانژ افزایش پیدا کرد. با افزایش میزان جاذب از ۲ گرم به ۲,۵ گرم تغییر محسوسی در میزان جذب مشاهده نمی‌شود. به همین دلیل میزان ۲ گرم جاذب به عنوان مقدار بهینه جاذب انتخاب شد (شکل ۵A).

شکل ۵B تغییرات pH را در جذب رنگ متیل‌اورانژ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین ظرفیت جاذب برای جذب رنگ متیل‌اورانژ در pH خنثی و در محدوده ۶ تا ۸ اتفاق می‌افتد و در pH های پایین و بالا توانایی جاذب برای حذف آلاینده کاهش می‌یابد. لذا با توجه به نتایج آزمایش $pH = 7$ به عنوان pH بهینه انتخاب شد (شکل ۵B).



شکل ۵- تغییر میزان جاذب، pH و میزان جذب شونده در حذف رنگ متیل‌اورانژ



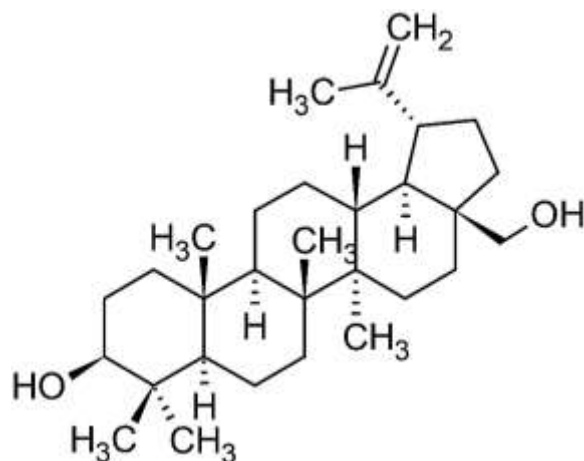
شکل ۶- بازیابی نانوکامپوزیت و استفاده مجدد از آن

عصاره‌های گیاهی حاوی مواد احیاکننده متفاوتی هستند که وقتی نمک‌های فلزی در معرض آن قرار می‌گیرند، باعث احیای آن‌ها به یون‌های فلزی می‌شوند. هرچند گونه‌های گیاهی متنوعی در سنتز انواع نانوذرات مورد استفاده قرار گرفته‌اند ولی نقش گیاهان بومی ایران از جمله مشتقات *دافنه ماکروناتا* در این فرایند بررسی نشده است (۳۴).

گیاه *دافنه ماکروناتا* یکی از گیاهان بومی ایران به شمار می‌آید که حاوی ترکیبات موثره فراوانی است. بتولین^۵ یک تریتروپن طبیعی موجود در گیاهان جنس *دافنه* است، که دارای چند گروه‌های هیدروکسیل و پیوند دوگانه کربنی است. این ترکیب خواص دارویی و ضد توموری خوبی در درمان بیماری‌های مختلف نشان داده است (۳۵) (شکل ۷).

حذف آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی از آبهای سطحی از اولویت‌های زیست محیطی به شمار می‌آید. در این کار پژوهشی نانوفیلتر کامپوزیتی استات سلولز حاوی نانوذرات اکسید روی تهیه شده به روش سبز با استفاده از عصاره گیاه *دافنه ماکروناتا* تهیه شد و به عنوان فیلتر جدید جهت حذف آلاینده‌های رنگی مورد استفاده قرار گرفت. سنتز سبز نانوذرات با استفاده از مواد مختلف زیستی یک رویکرد جدید و ایمن در تهیه این مواد محسوب می‌شود، زیرا هیچ ماده شیمیایی مضر را درگیر نمی‌کند و نیاز به ایجاد شرایط اسیدی یا بازی قوی در محیط ندارد (۳۳). یکی از موارد کاربرد روش سنتز سبز استفاده از عصاره گیاهان است که با استفاده از ترکیب‌های احیاکننده موجود در گیاه، سبب احیای نمک‌های فلزی به یون‌های فلزی می‌شوند. انواع

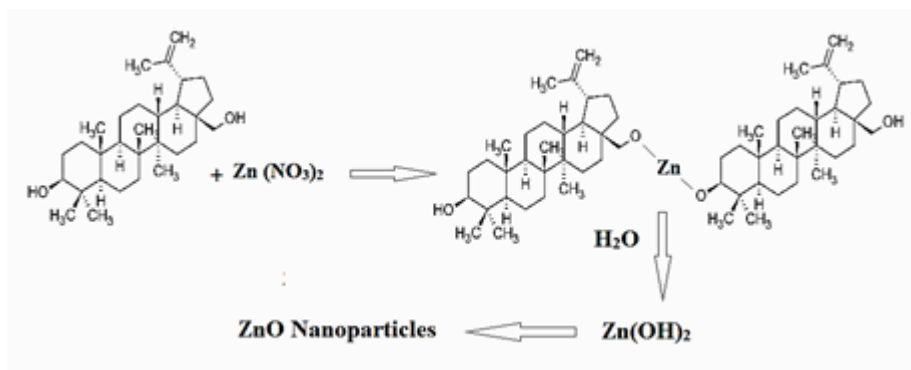
⁵ Betulin



شکل ۷- ساختار ترکیب بتولین

محیط کمپلکسی از Zn ایجاد کند که در حضور آب به هیدروکسید روی تبدیل می‌شود. این ترکیب در اثر حرارت دادن و حذف آب به نانوذرات اکسید روی تبدیل می‌شود (شکل ۸).

در سنتز سبز نانوذرات اکسید روی با عصاره گیاه *دافنه ماکروناتا* ترکیب بتولین به عنوان عامل ایجاد کمپلکس می‌تواند موثر واقع شود. بتولین می‌تواند از طریق گروه‌های هیدروکسیل و با ایجاد برهمکنش با یونهای Zn موجود در



شکل ۸- مکانیسم تشکیل نانوذرات اکسید روی در حضور ترکیب بتولین موجود در عصاره گیاهی

چندانی در بافت نانوالیاف ایجاد نمی‌کند. تشکیل الیاف یکنواخت و منظم و دارای تخلخل فراوان در این طرح به دلیل امکان عبور ذرات ریز آلاینده و کاربرد این پوشش را در فیلتراسیون افزایش می‌دهد.

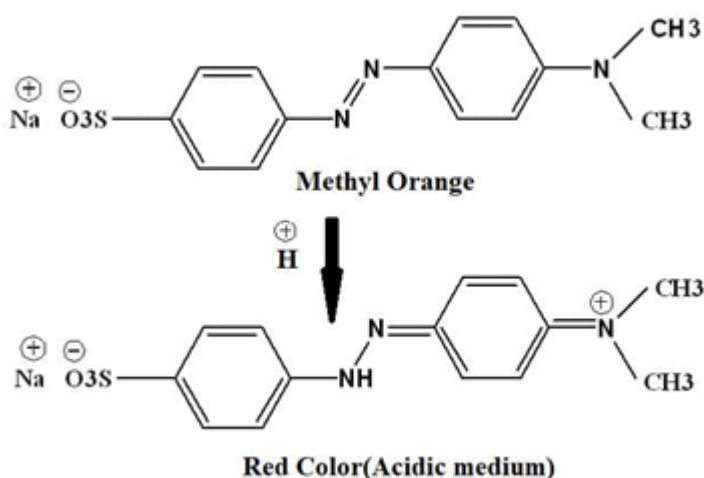
وجود نانوذرات اکسید روی در این نانوکامپوزیت سبب بروز اثرات ضد میکروبی قابل توجه شده است. میکروارگانیسم‌ها موجود در منابع آبی از عوامل مهم ایجاد

تصویر میکروسکوپ الکترونی به دست آمده از نمونه جمع‌آوری شده بر روی فویل آلومینیومی، الیافی را نشان داد که از نظر قطر ذرات و یکنواختی ابعاد و شبکه‌ای شدن ساختار قابل قبولی را نشان می‌دهند، به طوری که میانگین قطر الیاف در محدوده ۴۰ نانومتر است (شکل ۲).

همچنین تشکیل الیاف یکنواخت و بدون دانه نشان می‌دهد که وارد کردن نانوذرات در بافت پلیمری تغییر

نانوذرات اکسید روی در تماس با رنگ متیل اورانژ قرار گرفت و اثرات مقدار جاذب، pH و غلظت رنگ بر جذب رنگ متیل اورانژ بررسی شد. با بررسی ظرفیت جذب جاذب میتوان به وضوح استنباط کرد که بارگذاری نانوذرات اکسید روی درون بافت نانوالیاف توانایی جذب رنگ متیل اورانژ را افزایش داده است. این امر نشان می‌دهد که نانوکامپوزیت ساخته شده علاوه بر داشتن خواص نانوالیاف مانند تخلخل و سطح وسیعی از خلل و فرج و جاذب بالا، به دلیل وجود نانوذرات اکسید روی دارای نسبت سطح به حجم زیادتر می‌تواند ظرفیت جذب را افزایش دهد. این حالت در ساختارهای دیگر نانوالیاف با تخلخل بالا نیز مشاهده شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان جذب در $\text{pH} = 7$ انجام می‌شود. زیرا در محیط اسیدی امکان برهمکنش یونهای هیدرونیوم با اتمهای نیتروژن موجود در ساختار رنگ متیل اورانژ وجود دارد و این پدیده باعث درگیر شدن جفت الکترونیهای آزاد ترکیب متیل اورانژ شده و امکان جذب آن را به وسیله نانوذرات کمتر می‌کند (۳۷) (شکل ۹).

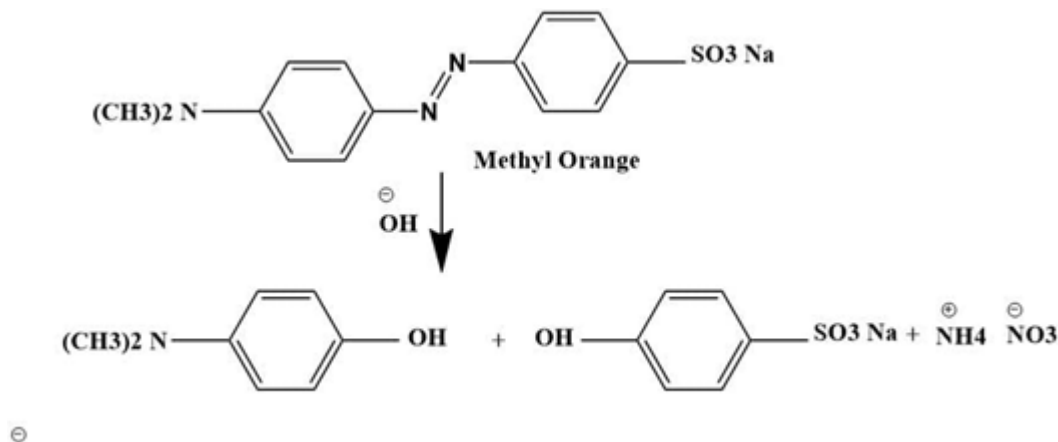
بیماری در موجودات زنده هستند و خطرات ناشی از وجود آنها موجب شده است که محققین به فکر روش‌های موثرتر برای مقابله با آنها باشند. در این پژوهش، فعالیت ضد میکروبی نمونه نانوالیاف استات سلولزی حاوی نانوذرات اکسید روی بر روی دو گونه باکتری گرم مثبت *Bacillus cereus* و منفی *Staphylococcus epidermidis*، *Acinetobacter* و *Salmonella enterica* بررسی شد. نتایج نشان داد که نانوالیاف استات سلولزی حاوی نانوذرات، فعالیت ضد میکروبی قابل توجهی بر روی باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی مورد آزمایش نشان می‌دهند (جدول ۱). به طوری که بیشترین قطر هاله عدم رشد در نانوالیاف حاوی عصاره، بر روی باکتری گرم مثبت *Staphylococcus epidermidis* و *Bacillus cereus* با قطر هاله ۲۲ میلی‌متر مشاهده شد. کمترین قطر هاله ضد میکروبی در باکتری گرم منفی *Acinetobacter baumannii* با قطر هاله ۱۱ میلی‌متر مشاهده شد. به منظور بررسی کارایی این نانوجاذب در حذف رنگ متیل اورانژ، نمونه‌هایی از نانوالیاف کامپوزیتی حاوی



شکل ۹- تغییر ساختار متیل اورانژ در محیط اسیدی

کاهش می‌یابد (شکل ۱۰). مشابه این نتایج در مقالات دیگر نیز با بررسی تغییرات pH به دست آمده است (۳۸).

همچنین در محیط قلیایی و pH بالا به دلیل غلظت بالای یونهای OH امکان هیدرولیز ترکیب متیل‌اورانژ در محیط بیشتر است و غلظت ترکیب متیل‌اورانژ در محیط



شکل ۱۰- تغییر ساختار متیل‌اورانژ در محیط بازی

نتیجه‌گیری

نانوفیلترهای کامپوزیتی ساختارهای نانومتری جدیدی هستند که توانایی بالایی در حذف انواع آلاینده‌های زیست محیطی دارند. سنتز سبز نانوذرات به عنوان یک رویکرد دوستدار محیط زیست می‌تواند جایگزین روش‌های شیمیایی تولید نانو مواد شود. در این تحقیق سنتز سبز نانوذرات اکسید روی با استفاده از گیاه دافنه ماکروناتا انجام شد و در تهیه فیلتر نانوکامپوزیتی استات سلولز / اکسید روی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد فیلتر نانوکامپوزیتی به دست آمده، کارایی خوبی در حذف آلاینده‌های رنگی از جمله متیل‌اورانژ در شرایط مختلف غلظت و pH دارد. همچنین نتایج بررسی اثر ضد میکروبی این ساختار نشان‌دهنده هاله عدم رشد حدود ۲۲ میلی‌متر برای باکتری‌های بیماری‌زا مانند استافیلوکوس اپیدرمیس و با سیلوس سرئوس و در نتیجه کارایی خوب این فیلتر در کاهش رشد باکتری‌ها می‌باشد. بنابراین این جاذب میتواند به

همچنین با افزایش مقدار جاذب میزان حذف ترکیب متیل‌اورانژ از محیط افزایش می‌یابد. افزایش درصد جذب در این حالت به دلیل افزایش سطح تماس جاذب و افزایش دسترسی مولکول‌های ماده جذب شونده به مکان‌های جذب روی سطح جاذب است. نتایج این آزمایش نشان داد در همه آزمایش‌ها با افزایش مدت زمان تماس، درصد جذب افزایش و مقدار ترکیب متیل‌اورانژ موجود در محیط کاهش می‌یابد. بیشترین میزان حذف ترکیب متیل‌اورانژ پس از گذشت ۱۰۵ دقیقه به دست آمد. پس از گذشت این زمان درصد حذف آلاینده تغییر چندانی نمی‌کند که می‌توان آن را نتیجه ایجاد تعادل بین سطح جاذب و مولکول‌های جاذب دانست. این حالت می‌تواند ناشی از پر شدن مکان‌های فعال روی سطح جاذب و ثابت شدن ظرفیت جذب جاذب باشد. یکی از ویژگی‌های جاذب خوب امکان بازیافت و احیای آن می‌باشد. نتایج آزمایشات بازیابی نانوکامپوزیت حاکی از راندمان جذب بالای ۹۰ درصد بعد از سه بار استفاده و جذب حدود ۸۰ درصد بعد از ۶ بار استفاده است.

from panel fourier cointegration and causality tests. *Resources Policy*. 2021;74:102373-102382.

8-Pirarath R, Bhagwat UO, Palani S, Aljafari B, Sambandam A. Nanostructured zinc orthotitanates for photocatalytic removal of dye pollutants. *Materials Science and Engineering: B*. 2023;287:116107-116114.

9-Nasr RA, Ali EA. Polyethersulfone/gelatin nano-membranes for the Rhodamine B dye removal and textile industry effluents treatment under cost effective condition. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2022; 10(2):107250-107261.

10-Anusiya G, Jaiganesh R. A review on fabrication methods of nanofibers and a special focus on application of cellulose nanofibers. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2022;4:1-14.

11-Shangguan W, Li S, Cao L, Wei M, Wang Z, Xu H. Electrospinning and nanofibers: Building drug delivery systems and potential in pesticide delivery. *Materials Today Communications*. 2022;33: 345-399.

12-Satilmis B. Electrospinning Polymers of Intrinsic Microporosity (PIMs) ultrafine fibers; preparations, applications and future perspectives. *Current Opinion in Chemical Engineering*. 2022;36: 793-812.

13-Hazarika KK, Konwar A, Borah A, Saikia A, Barman P, Hazarika S. Cellulose nanofiber mediated natural dye based biodegradable bag with freshness indicator for packaging of meat and fish. *Carbohydrate Polymers*. 2023; 300: 241-250.

عنوان یک جاذب موثر، ارزان قیمت و دوستدار محیط زیست جهت حذف ترکیب متیل اورانژ از منابع آبی استفاده شود.

References

1-Lin L, Yang H, Xu X. Effects of Water Pollution on Human Health and Disease Heterogeneity: A Review. *Frontiers in Environmental Science*. 2022;10:1-8.

2-Maheshwari K, Agrawal M, Gupta AB. Dye Pollution in Water and Wastewater. In: Muthu SS, Khadir A, editors. *Novel Materials for Dye-containing Wastewater Treatment*. Singapore: Springer Singapore. 2021;1-25.

3-Farhan Hanafi M, Sapawe N. A review on the water problem associate with organic pollutants derived from phenol, methyl orange, and remazol brilliant blue dyes. *Materials Today: Proceedings*. 2020;31:A41-A50.

4-rahimi F, momeni M, arab chamjangali M. Degradation rate of Methyl Orange organic dye by high voltage spark plasma. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2022; 45-57

5-Ghosh GC, Chakraborty TK, Zaman S, Nahar MN, Kabir AHME. Removal of Methyl Orange Dye from Aqueous Solution by a Low-Cost Activated Carbon Prepared from Mahagoni (*Swietenia mahagoni*) Bark. *Pollution*. 2020;6(1):171-184.

6-Kumar R, Kumar M, Luthra G. Fundamental approaches and applications of nanotechnology: A mini review. *Materials Today: Proceedings*. 2023;2:172-181.

7-Koç P, Gülmez A. Analysis of relationships between nanotechnology applications, mineral saving and ecological footprint: Evidence

- 21-Majumder S, Sharif A, Hoque ME. Chapter 9-Electrospun Cellulose Acetate Nanofiber: Characterization and Applications. In: Al-Oqla FM, Sapuan SM, editors. *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers*: Elsevier. 2020;2:139-155.
- 22-Lee H, Nishino M, Sohn D, Lee JS, Kim IS. Control of the morphology of cellulose acetate nanofibers via electrospinning. *Cellulose*. 2018;25(5):2829-2837.
- 23-Bhattacharjee MK. Better visualization and photodocumentation of zone of inhibition by staining cells and background agar differently. *The Journal of Antibiotics*. 2015;68(10):657-669.
- 24-Belanger CR, Hancock REW. Testing physiologically relevant conditions in minimal inhibitory concentration assays. *Nature Protocols*. 2021;16(8):3761-3774.
- 25-Minimum Bactericidal Concentration Testing. *Clinical Microbiology Procedures Handbook*. 2016; 1:5-14.
- 26-Ding W, Zhang Y, Lu H, Wan W, Shen Y. Automatic 3D reconstruction of SEM images based on Nano-robotic manipulation and epipolar plane images. *Ultramicroscopy*. 2019; 200:149-157.
- 27-Kader S, Al-Mamun MR, Suhan MBK, Shuchi SB, Islam MS. Enhanced photodegradation of methyl orange dye under UV irradiation using MoO₃ and Ag doped TiO₂ photocatalysts. *Environmental Technology & Innovation*. 2022;27:102476-102481.
- 28-Da Dalt S, Alves AK, Bergmann CP. Photocatalytic degradation of methyl orange
- 14-Khairnar BA, Dabhane HA, Dashpute RS, Girase MS, Nalawade PM, Gaikwad VB. Study of biogenic fabrication of zinc oxide nanoparticles and their applications: A review. *Inorganic Chemistry Communications*. 2022; 5: 46-52.
- 15-Nair GM, Sajini T, Mathew B. Advanced green approaches for metal and metal oxide nanoparticles synthesis and their environmental applications. *Talanta Open*. 2022;5: 80-92.
- 16-Chugh R, Kaur G. A mini review on green synthesis of nanoparticles by utilization of Musa-balbisiana waste peel extract. *Materials Today: Proceedings*. 2022; 14-22.
- 17-Naikoo GA, Mustaqeem M, Hassan IU, Awan T, Arshad F, Salim H, et al. Bioinspired and green synthesis of nanoparticles from plant extracts with antiviral and antimicrobial properties: A critical review. *Journal of Saudi Chemical Society*. 2021;25:101304-101315.
- 18-Singla S, Jana A, Thakur R, Kumari C, Goyal S, Pradhan J. Green synthesis of silver nanoparticles using Oxalis griffithii extract and assessing their antimicrobial activity. *OpenNano*. 2022;7:20-31.
- 19-Khan A-u, Ali F, Khan D, Gilani A-H. Gut modulatory effects of Daphne oleoides are mediated through cholinergic and Ca⁺⁺ antagonist mechanisms. *Pharmaceutical Biology*. 2011;49(8):821-835.
- 20-Sadiq H, Sher F, Sehar S, Lima EC, Zhang S, Iqbal HMN, et al. Green synthesis of ZnO nanoparticles from Syzygium Cumini leaves extract with robust photocatalysis applications. *Journal of Molecular Liquids*. 2021; 335: 567-578.

- ications: A green expertise. *Journal of Advanced Research*. 2016;7(1):17-28.
- 34-Ying S, Guan Z, Ofoegbu PC, Clubb P, Rico C, He F, et al. Green synthesis of nanoparticles: Current developments and limitations. *Environmental Technology & Innovation*. 2022;26:102336-102350.
- 35-Dastagir G, Ahmad I, Uza NU. Morphological evaluation of *Daphne mucronata* Royle and *Myrtus communis* L. using scanning electron microscopic techniques. *Microsc Res Tech*. 2022;85(3):1120-1134.
- 36-Matinise N, Fuku XG, Kaviyarasu K, Mayedwa N, Maaza M. ZnO nanoparticles via *Moringa oleifera* green synthesis: Physical properties & mechanism of formation. *Applied Surface Science*. 2017;406:339-347.
- 37-Akama Y, Tong A, Ito M, Tanaka S. The study of the partitioning mechanism of methyl orange in an aqueous two-phase system. *Talanta*. 1999;48(5):1133-1147.
- 38-Vojnović B, Cetina M, Franjković P, Sutlović A. Influence of Initial pH Value on the Adsorption of Reactive Black 5 Dye on Powdered Activated Carbon: Kinetics, Mechanisms, and Thermodynamics. *Molecules*. 2022; 27(4):1349-1360.
- dye in water solutions in the presence of MWCNT/TiO₂ composites. *Materials Research Bulletin*. 2013;48(5):1845-1850.
- 29-Akisawa A, Tamogami A, Takeda N, Nakayama M, Natsui T. Effect of Adsorbent on the Performance of Double Effect Adsorption Refrigeration Cycle with Adsorption Heat Recovery. *International Journal of Refrigeration*. 2022;141: 21-30.
- 30-Doulati Ardejani F, Badii K, Limaee NY, Shafaei SZ, Mirhabibi AR. Adsorption of Direct Red 80 dye from aqueous solution onto almond shells: Effect of pH, initial concentration and shell type. *Journal of Hazardous Materials*. 2008;151(2):730-747.
- 31-Azizi A, Moniri E, Hassani AH, Ahmad Panahi H. Reusability, optimization, and adsorption studies of modified graphene oxide in the removal of Direct Red 81 using response surface methodology. *Advances in Environmental Technology*. 2020;6(4):175-185.
- 32-Tsai F-C, Ma N, Chiang T-C, Tsai L, Shi J-J, Xia Y, et al. Adsorptive removal of methyl orange from aqueous solution with cross-linking chitosan microspheres. *Journal of Water Process Engineering*. 2014;1: 2-7.
- 33-Ahmed S, Ahmad M, Swami BL, Ikram S. A review on plants extract mediated synthesis of silver nanoparticles for antimicrobial appl-

Green Synthesis of Cellulose Acetate/Zinc Oxide Nanocomposite Filter with Plant Extract and its Application in Water Source Pollution Removal

Sohrab Hajmohammadi¹, Dadkhoda Ghazanfari^{*2}, Enayatollah Sheikhhosseini², Nahid Rastakhiz³, Hamideh Asadollahzadeh³

1- PhD Student in Organic Chemistry, Department of Chemistry, Islamic Azad University of Kerman, Kerman, Iran

2- Associate Professor, Department of Chemistry, Kerman Islamic Azad University, Kerman, Iran

3- Assistant Professor, Department of Chemistry, Islamic Azad University of Kerman, Kerman, Iran

* Corresponding author: ghazanfari@iauk.ac.ir

Received: 9/1/2023, Accepted: 20/2/2023

Abstract

Water resources are among the natural capitals of every country, therefore, the preservation of these natural resources is one of the important challenges of all countries. Excessive use of chemical and industrial materials has created many problems for these sources. Therefore, providing new methods to remove water pollutants is very important. The method of green synthesis of nanoparticles has attracted a lot of attention due to its features such as greater safety, compatibility with the environment, simplicity, and low cost. In this research work, the green synthesis of zinc oxide nanoparticles was carried out using the *Daphne macronata* plant and it was used in the preparation of a cellulose acetate/zinc oxide filter.

The electron microscope image of the nano filter shows that the average diameter of nanofibers is about 40 nanometers and the average size of nanoparticles is about 47 nanometers. Also, the effect of this filter in removing methyl orange dye from water sources was investigated in different conditions of dye concentration, amount of adsorbent, and pH. The results showed that the cellulose acetate/zinc oxide nanocomposite filter is able to remove about 90% of methyl orange color in optimal conditions. Also, the results of investigating the antimicrobial effect of this structure on 4 samples of pathogenic bacteria, including *Bacillus cereus* and *Staphylococcus epidermis*, *Salmonella*, and *Acinetobacter* were carried out. The results showed that the largest diameter of the halo of non-growth is related to the pathogenic bacteria *Bacillus cereus* and *Staphylococcus epidermis* and is about 22 mm.

Keywords: Cellulose acetate, Zinc oxide, Green synthesis, *Daphne macronata*, Nano filter.