



عاری زدایی میکروب از هوای عبوری

توسط پوشش دادن پارچه پنبه‌ای با نانو ذرات TiO_2 و ارایه روش برآورد

رامین خواجوی^{۱*}، محمد خلیلی^۲، مرتضی ستاری^۳

چکیده

در این مطالعه اثر میکروب زدایی پارچه پنبه‌ای پوشش داده شده با نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم " TiO_2 " از هوای عبوری بررسی گردید. ابتدا نمونه‌های از پارچه پنبه‌ای با سوسینیک‌اسید عمل شدند تا تمایل آنها به جذب نانو ذرات افزایش یابد سپس با روش غوطه‌وری طی یک یا دو مرحله با نانو ذرات TiO_2 پوشش داده شدند. استخلاف گروه‌های کربوکسیلیک اسید روی زنجیر سلولزی بواسطه سوسینیک اسید و ساختار کریستالی نانو ذرات TiO_2 روی نمونه‌ها بترتیب توسط طیف سنجی مادون قرمز "FTIR" و دیفراکسیون اشعه X "XRD" انجام پذیرفت. مورفولوژی سطحی نمونه‌ها نیز با میکروسکوپ الکترونی پویشی "SEM" مشاهده گردید. جهت برآورد خصوصیات عاری‌زدایی میکروب از هوای عبوری دستگاهی آزمایشگاهی ابداع و ساخته شد و اثر میکروب زدایی از هوای آلوده به میکروب اشرشیاکولی تحت تابش نور ماورا بنفش "UV" انجام پذیرفت. نتایج نشان دادند که فرم غالب کریستالی لایه‌های TiO_2 از نوع آاناتاز بوده و پوششی یکسره روی الیاف ایجاد شده است. با عبور هوای آلوده به میکروب از پارچه یک و دوبار پوشش داده شده با نانو ذرات TiO_2 میزان آلودگی به ترتیب ۸۰ و ۱۰۰ درصد کاهش یافت.

کلمات کلیدی: نانو ذرات دی‌اکسیدتیتانیوم، پارچه پنبه‌ای، اثرعاری‌زدایی میکروب، هوای عبوری، فعالیت فتوکاتالیستی، اشرشیا کولی.

ABSTRACT

In this study, the microbe elimination effect of coated cotton fabric with nanoparticles of TiO_2 on passing air was investigated. First cotton fabric samples were treated with succinic acid for increasing their tendency toward the adsorption of TiO_2 nanoparticles then they were coated once or twice by dipping method with nanoparticles of TiO_2 . Substitution of carboxylic acid groups on cellulose chains by succinic acid and crystalline structure of TiO_2 on cotton fabric were investigated orderly by Fourier transform infrared "FTIR" spectroscopy and X-ray diffraction "XRD" method and their morphology was observed by scanning electron microscopy "SEM". A laboratory apparatus was innovated and assembled for evaluating the microbe elimination effect of samples on polluted air with Escherichia coli microbe under UV radiation. Results showed that an overall coating of TiO_2 nanoparticles is produced on the fibers of cotton fabric with dominant anatase crystalline form. The microbes of passed air through samples were decreased by 80 and 100 % for once and twice coated fabrics with nanoparticles of TiO_2 orderly.

Keywords: Nanoparticles of TiO_2 , Cotton fabric, Microbe elimination effect, Photocatalytic activity, Escherichia coli.

*۱. گروه مهندسی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران. مسئول مکاتبات: Khajavi@azad.ac.ir

۲. دانش آموزته و کارشناس ارشد مهندسی نساجی، گروه مهندسی نساجی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

۳. گروه باکتری شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۱. مقدمه

میکروبه‌های بیماریزا از چهار طریق انتقال می‌یابند که عبارتند از تماس مستقیم، آب و مواد غذایی، تلقیح مستقیم و هوا و تنفس که مورد آخر طیف گسترده و شایعی از بیماری‌های واگیردار و عفونی را نظیر سل به خود اختصاص داده است. یکی از راهکارهای موثر در جهت جلوگیری از انتقال هوایی میکروبها استفاده از فیلترها می‌باشد که کارآیی خود را در این زمینه طی سالیان متمادی اثبات نموده‌اند. فیلترها دارای انواع متفاوتی هستند که یکی از مهمترین آنها فیلترهای منسوجی است. اینگونه فیلترها بعلت سطح مخصوص زیاد، ساختار متخلخل، قابلیت انعطاف و سبکی بسیار مورد مصرف قرار گرفته‌اند. فیلترهای نساجی با منافذ ریز و یا دارابودن مواد موثر توانسته‌اند از عبور ذرات بسیار ریز و یا میکروب جلوگیری نمایند (نظیر فیلترهای هپا و الترا). اینگونه فیلترها "فیلترهای ضد باکتری یا باکتری کش" با توجه به اهمیت موضوع رشد فراوانی داشته‌اند و در این زمینه تحقیقات متعددی انجام پذیرفته است [۱،۲].

تا کنون با توجه به اهمیت فیلترهای ضد باکتری مطالعات زیادی در این زمینه انجام پذیرفته است. اسکروس و همکارانش فیلترهای هپا و اولترا را اصلاح نموده و توانستند بازده عمل فیلتراسیون را تا حدود ۸۵٪ افزایش دهند، البته بدلیل آنکه باکتری‌ها کشته نمی‌شدند و فقط در منافذ ریز فیلتر گیر افتاده و از پخش شدن آنها جلوگیری بعمل می‌آمد، در هنگام تعویض فیلتر یا پارگی آن امکان آلوده شدن افراد به باکتری وجود داشت [۳].

از طرفی در سالهای اخیر علم نانو مواد رشد و توسعه چشمگیری داشته است و با معرفی و ارایه نانو ذرات گوناگون خواص نوینی از مواد مطرح شده‌اند، و کاربرد آنها در صنایع مختلف هدف بسیاری از محققان قرار گرفته است. بعنوان مثال وونگ و همکارانش در ۲۰۰۶ عمل باکتری کشی ذرات نانو را بررسی نمودند و توانستند با این ذرات خصوصیات آنتی باکتریال فیلتر را تا حد زیادی افزایش دهند [۴].

نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم " TiO_2 " به دلیل فعالیت فتوکاتالیستی بالا هنگام تابش UV، غیر سمی بودن، ارزان بودن و پایین بودن انرژی برانگیختگی (حدود ۳ eV و ۳/۲ برای فرمهای کریستالی روتایل و آناتاز)، بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۵-۷]. این گونه نانو ذرات دارای فعالیت ضد میکروبی مناسبی نیز هستند که علت آن تخریب غشاء باکتری ناشی از فعالیت فتوکاتالیستی TiO_2 گزارش شده است. ساختار الکترونی تیتانیا شامل یک تراز ظرفیت پر شده از الکترون و یک تراز هدایت خالی از الکترون است. انرژی های فوتونی که از نور ماوراء بنفش تولید می‌شود بدلیل طول موج (کمتر از ۳۸۸nm) پایین تر نسبت به نور مرئی، بیشتر است. این انرژی معادل یا بیشتر از سد گپ انرژی تیتانیا یعنی ۳/۲ eV است [۸]. پس در هنگام تابش روی الکترون‌ها انرژی لازم جهت حرکت از تراز ظرفیت اولیه به تراز هدایت مهیا گردیده و الکترون منتقل می‌گردد و در جای خود حفره ای به جا می‌گذارد. الکترون‌ها طی یک واکنش کاهشی با اکسیژن مولکولی واکنش داده و رادیکال های

آنیون سوپراکسید تولید می کنند [۷ و ۸]. حفره های تولید شده نیز طی یک واکنش اکسایشی، با آب واکنش داده و گروه هیدروکسیل (OH^-) تولید می کنند. گویلارد و همکارانش متوجه شدند این دو ماده واسطه فعال تولید شده بسیار پر انرژی و واکنش پذیر هستند و با ترکیبات آلی موجود در هوا مثل باکتری ها و میکروب های مختلف واکنش داده و سبب متلاشی شدن آنها و تجزیه آن ها به آب، دی اکسیدکربن و سایر مواد بی ضرر می شوند [۴، ۶، ۹].

فوجی شیما و هوندا در سال ۱۹۷۲ TiO_2 را به عنوان یک ماده فتوکاتالیست معرفی کردند که قادر به تخریب و نابود کردن ترکیبات آلاینده هوا و آب است [۱۰]. ماتسوناسا و همکارانش برای اولین بار در سال ۱۹۸۵ بار نشان دادند که نانو ذرات TiO_2 حتی در محیط های آبی نیز تحت تابش اشعه UV قادر به کشتن سلول های باکتریایی هستند [۱۲]. بلیک و همکارانش در ۱۹۹۵ تحقیقات وسیعی پیرامون خاصیت آنتی باکتریالی TiO_2 روی گستره وسیعی از عوامل بیماری زا چون ویروس ها، باکتری ها، قارچ ها، جلبک ها و سلول های سرطانی انجام دادند [۱۳]. هارتلی و همکارانش TiO_2 را به عنوان یک ماده مناسب در تولید فیلترهای آنتی باکتریال مطرح کردند [۱۴]. بالکاکووا و همکارانش در ۲۰۰۸ از ذرات نانو تیتانیا جهت خود تمیز شوندگی فیلترها و کاربردهای چندبار مصرف فیلترها استفاده کردند [۷]. فیلترهای پوشش دهی شده با نانو ذرات TiO_2 در مقایسه با فیلترهای مرسوم مانند فیلترهای هپا و اولترا، مزایایی نظیر ارزان بودن، تجزیه پذیری جهت بازگشت به چرخه طبیعت و مدت زمان استفاده نامحدود و شرایط مورد استفاده گسترده تر را دارا بودند [۱۴ و ۱۵].

در این تحقیق هدف اصلی بررسی امکان بهره‌وری از خاصیت ضد باکتری نانو ذرات دی اکسید تیتانیم تحت تابش نور UV روی پارچه پنبه‌ای جهت از بین بردن میکروب هوای آلوده بوده است و سعی بر آن بوده است که این مهم ضمن عبور هوا و با فشار هوایی معادل فشار هوای تنفس انسان انجام پذیرد. جهت برآورد این خاصیت دستگاهی آزمایشگاهی ابداع و ساخته شد. کمیتی به نام "خاصیت عاری‌زدایی میکروب از هوای عبوری" معرفی و روشی جهت اندازه‌گیری کمی آن بر پایه این دستگاه توسعه یافته و معرفی گردید. خصوصیات لایه TiO_2 تشکیل شده روی پنبه با مطالعه طیفهای حاصل از طیفسنجی مادون قرمز و تفرق اشعه X و مورفولوژی آن با میکروسکوپ الکترونی پویشی "SEM" انجام گرفت.

۲. مواد و وسایل

۱.۲. مواد مصرفی

پارچه مصرفی طبق مشخصات جدول ۱ استفاده گردید.

جدول ۱. مشخصات پارچه پنبه‌ای

جنس پارچه	طرح بافت	سانتی‌متر	تراکم پودی در	نمره نخ تار	نمره نخ پود	ضخامت
٪۱۰۰ پنبه	تافته	۲۵	سانتی‌متر	(Tex)	(Tex)	(mm)
			۲۳	۳۰	۳۵	۳۰

نانو پودر تیتانیا با نام تجاری Degussa P25 (از شرکت آلمانی Evonik با متوسط اندازه ذرات ۲۰ nm و سطح مخصوص $50 \text{ m}^2/\text{g}$) تهیه گردید. سوکسینیک اسید ($\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_6$)، سدیم هیپوفسفیت مونو هیدراته ($\text{H}_2\text{NaO}_2\text{P} * \text{H}_2\text{O}$) و سدیم هیدروکسید (NaOH) از شرکت مرک تهیه شدند. فیلتر هپا با قطر ۳/۵، ضخامت ۲ mm و حداکثر قطر منافذ ۰/۰۶ Micron از شرکت هیدروپارس خریداری گردید. باکتری اشرشیا کلی (ATCC 25922) از بانک باکتری دانشگاه تربیت مدرس تهیه شد.

۲.۲. وسایل مصرفی

- دستگاه Ultrasonic cleaner مدل DSA با توان ۱۰۰ w ، ۴۰ KHz ، و با گنجایش ۲/۵ l (China)

- دستگاه FT-IR مدل Thermonicolet-Nexus 870 (USA)

- میکروسکوپ الکترونی پویشی^۱ (SEM) مدل LEO 440i مجهز به سیستم EDX-INCA Oxford (England)

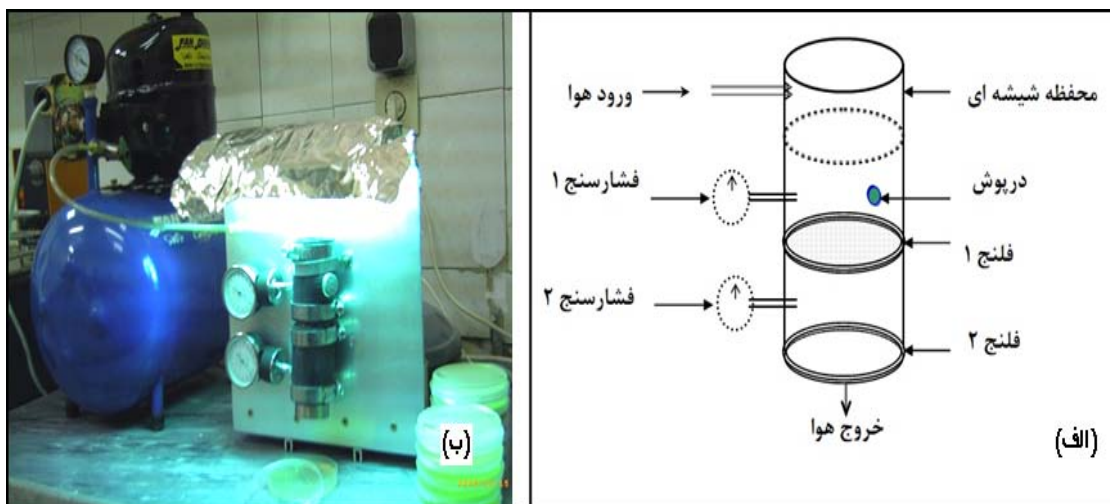
- تفرق اشعه ایکس "XRD" (دستگاه SEIMENS D5000 ، آند از جنس مس و ولتاژ ۳۵ kv و جریان ۲۰ mA)

۱.۲.۲. دستگاه آزمون میکروب زدایی از هوا عبوری

دستگاهی برای انجام آزمایش های میکروبی طراحی و ساخته شد. قسمت فوقانی دستگاه لامپ 400 W UV از نوع C بر روی دو پایه با قابلیت تنظیم فاصله تعبیه گردید. لامپ در فاصله ۱۵ cm از نمونه قرار گرفت و این فاصله به گونه‌ای انتخاب گردید که گرمای ناشی از کارکرد لامپ از اطراف سیستم خارج شود و بر اثر گرما باکتری ها از بین نروند. جهت ایجاد دمش هوای یکنواخت و مستمر از پمپ باد (حجم ۲۵ L ، ولتاژ ۲۲۰V ، آمپر ۱۵ A) با توانایی دمش باد یکنواخت با فشار ۴۰ mmHg استفاده گردید [۱۶ و ۱۳ و ۱۷]. پمپ به سوپاپ و شیرهای تجهیز گردید تا قابلیت تنظیم و ثابت نگه داشتن آن

^۱ . Scanning electron microscope

فراهم گردد. پمپ توسط لوله ای پلی اتیلنی (قطر ۵ mm) به محفظه شیشه‌ای متصل گردید. نوع شیشه ضد UV انتخاب گردید تا از خروج پرتوهای UV ممانعت گردد. سر دیگر قطعه شیشه‌ای به لوله پلی اتیلنی دیگری (قطر ۵ mm و طول ۱۰ cm) وصل گردید که انتهای آن به فلنجی آلومینیومی متصل بود. در فلنج محلی جهت قرار گیری نمونه به همراه توری فلزی (جهت حمایت نمونه تحت فشار باد) تعبیه شد. در این لوله دریچه‌ای درپوش‌دار تعبیه گردید تا امکان تزریق آلودگی ضمن برقراری جریان هوا مهیا شود [۱۸ و ۱۹]. این درپوش از جنس لاستیک متراکم انتخاب شد تا پس ورود و خارج نمودن سرنگ تزریق از آن مجدداً آببندی گردد و از خروج میکروب و یا افت فشار جلوگیری گردد. طول عمر هر درپوش جهت یکبار تزریق در نظر گرفته شد. در کنار این درپوش یک فشار سنج عقربه‌ای با توانایی تعیین میزان فشار از ۲۰ الی ۳۰۰ mmHg قرار داده شد، تا فشار هوای داخل محفظه را اندازه گیری کند. در فاصله ۱۲ cm به فاصله ۱۲ cm از فلنج اول بوسیله لوله پلی اتیلنی دیگری فلنج دوم قرار گرفت تا فیلتر هپا درون آن قرار گیرد. وظیفه این فیلتر جمع آوری میکروب های عبور نموده از نمونه تعریف گردید [۱۷ و ۱۸]. شاسی کلی دستگاه، از جنس آلومینیوم به شکل L و به ابعاد ۳۵ × ۳۵ cm^۲ ساخته شد. جهت جریان هوا بصورت عمودی از بالا به پایین انتخاب گردید تا جریان هوا به همراه نیروی جاذبه میکروب ها را به سمت نمونه و عبور از آن هدایت نمایند (شکل ۱).



شکل ۱. نمای شماتیک (الف) و واقعی (ب) از دستگاه ارزیابی خصوصیات عاری‌زدایی میکروب از هوای عبوری

۳. روش کار

۳.۱. تهیه و آماده سازی نمونه‌ها

پارچه تحت عملیات شستشویی قلیایی (شوینده آنیونیک 2 g/l ، هیدروکسید سدیم 20 g/l ، زمان 10 min ، دمای جوش و نسبت حجم محلول به کالا $1:20$) قرار گرفت تا بقایای هرگونه مواد تکمیلی از آن برطرف گردد. بعد از دو بار آبکشی با آب مقطر جهت رسیدن به pH خنثی در دمای محیط بمدت 48 ساعت قرار داده شد تا خشک گردد و با گردبر نمونه‌های به قطر $3/5\text{ cm}$ از پارچه برش داده شدند.

۳.۲. عمل نمودن نمونه‌ها با سوکسینیک اسید

نمونه‌ها در حمامی شامل آب مقطر (250 ml)، سوکسینیک اسید ($6\% \text{ w/w}$) و سدیم هیپوفسفیت ($4\% \text{ w/w}$) در دمای 75°C به مدت 1 hr قرار گرفتند تا واکنش شیمیایی بین پنبه و دی کربوکسیلیک اسید انجام شود. سپس بمدت 5 min در دمای 85°C خشک شدند و در دمای 115°C به مدت 3 min پخت گردیدند [۲۰ و ۲۱].

۳.۳. پوشش دهی با نانوذرات TiO_2

محلولی شامل 5 g/l از پودر Degussa p25 تهیه شد و جهت شکستن تجمع احتمالی نانو ذرات به مدت 30 min در حمام التراسونیک قرار گرفت و نمونه‌ها به مدت 1 hr در دمای 75°C در آن قرار گرفتند [۲۱ و ۲۲]. نمونه‌ها در دمای 100°C خشک و با آب مقطر شسته شدند تا مواد واکنش نداده از پارچه جدا گردند [۲۱ و ۱۹]. جهت پوشش دادن مجدد نمونه‌ها روش فوق‌الذکر عیناً تکرار گردید.

۳.۴. ارزیابی خصوصیات عاری‌زدایی میکروب از هوای عبوری

فشار هوا روی 40 mmHg (1 bar) تنظیم گردید، که معادل فشار هوایی است که بواسطه ریه‌های انسان در شرایط عادی تنفس ایجاد می‌شود [۱۷ و ۱۸]. جهت فعال‌سازی پوشش TiO_2 روی نمونه‌ها ابتدا یک دقیقه تابش نور UV انجام پذیرفت. سپس $3/0\text{ ml}$ محلول حاوی باکتری اشرشیا کلی با غلظت 1000 باکتری در هر سی‌سی از درپوش الاستیک در مسیر جریان هوا به سمت فیلتر با سرنگی تزریق گردید [۱۹ و ۲۱]. نمونه‌ها به مدت دو دقیقه دیگر تحت تابش UV قرار گرفتند، سپس دستگاه خاموش و نمونه پارچه‌ای به همراه فیلتر هپای مربوطه از دستگاه خارج گردیدند. آزمایش برای هر سری نمونه (شاهد، یکبار پوشش داده شده و دوبار پوشش داده شده با TiO_2) 16 بار تکرار گردید. نمونه‌های خارج شده بر روی پلیت‌هایی کشت باکتری با محیط کشت نیوترینت آگار (با فرمول نشاسته 5 g ، نترات سدیم 3 g ، کلریت پتاسیم $0/5\text{ g}$ ، فسفات مونو پتاسیک 1 g ، سولفات منیزیم $0/5\text{ g}$ ، سولفات آهن $0/1\text{ g}$ ، توین 80 g ، 1 g آگار 17 g ، پنی سیلین 5 G ، 2000 واحد، استرپتومایسین 40000 mL ، کلرامفنیکل 50000 mL ، دزاکسیکلات سدیم $0/08\%$ (W/V)، آب مقطر 1 mL

۱۰۰۰ تهیه شد و در دمای 37°C در داخل انکیوباتور قرار داده شد. باکتری ها بر روی محیط کشت داده شد و پس از ۴۸ hr تعداد کلونی های رشد یافته در سطح هر پلیت شمارش گردید. در انتهای خروجی هوای دستگاه نیز محیط کشتی قرار داده شد که پس از هر بار آزمایش در داخل انکیوباتور قرار گرفت و رشد کلونی روی آن بررسی گردید تا از عاری بودن هوای خروجی از میکروب اطمینان حاصل شود.

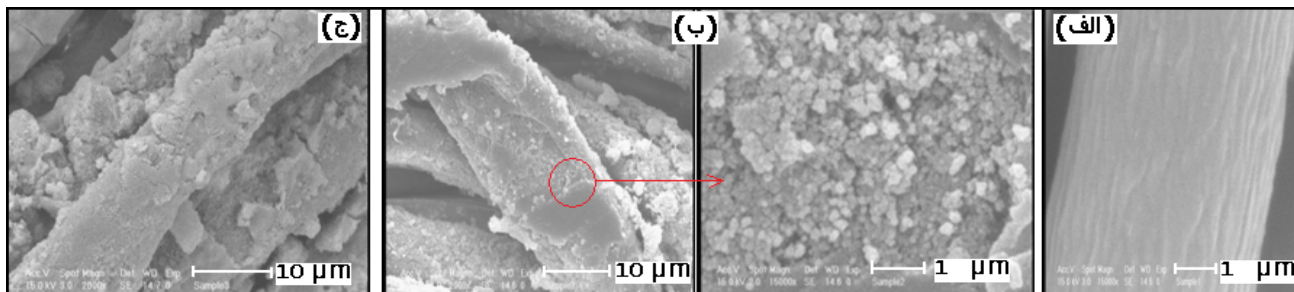
۵.۳. ارزیابی و مورفولوژی لایه TiO_2 روی نمونه

جهت اثبات جذب نانو ذرات TiO_2 توسط نمونه ها و همچنین تشخیص ساختار کریستالی آنها که در فعالیت ضد میکروبی تاثیر بسزایی دارد، از روش تفرق پرتو اشعه ایکس "XRD" و همچنین طیف سنجی مادون قرمز "FTIR" استفاده گردید. مورفولوژی سطحی نمونه ها نیز جهت بررسی یکنواختی ظاهری با میکروسکوپ الکترونی پویشی "SEM" مشاهده گردید.

۴. نتایج و مباحث

۱.۴. بررسی تصاویر میکروسکوپی

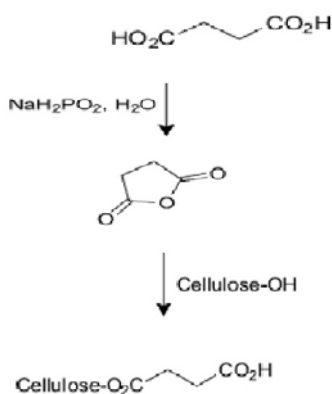
تصاویر SEM در شکل ۲ نشان می دهند که نانو ذرات TiO_2 ، لایه ای سراسری بر روی سطح الیاف پارچه پنبه ای تشکیل داده اند. وجود ساختار متخلخل از TiO_2 علاوه بر آنکه باعث می شود سطح تماس هوا با فیلتر افزایش یابد، می تواند منجر به گیر افتادگی فیزیکی میکروبها گردد. مقیم شدن میکروب می تواند دایمی شود و یا آنکه مدت تماس با ماده موثر TiO_2 را افزایش دهد که در هر دو مورد راندمان میکروب زدایی افزایش پیدا خواهد کرد. علت استفاده از غلظت بالای TiO_2 مصرفی نیز همین موضوع بوده است. در نمونه های عمل شده ساختارهای متخلخل بصورت تجمعاتی روی الیاف (شکل ۲.ب، سمت چپ) دیده می شوند که با بزرگنمایی آنها (شکل ۲.ب، سمت راست) ساختار متخلخل مشهود می گردد. نمونه های دوبار پوشش داده شده در مقایسه با یک بار پوشش داده شده تجمعات بیشتری را نشان می دادند (شکل ۲.ج).



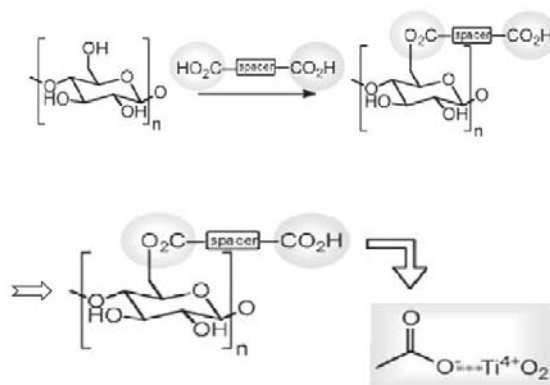
شکل ۲. تصاویر SEM از سطح لیف یا الیاف در نمونه: (الف) شاهد، (ب) یک بار عمل شده و (ج) دو بار عمل شده با نانو ذرات TiO_2

۲.۴. تحلیل طیف های FTIR و XRD

اتصال پنبه و سوکسینیک اسید از نوع الکتروستاتیک است (شکل ۳) نشان داده شده است. قرارگیری این ماده روی پنبه باعث افزایش میل جذب نانو ذرات TiO_2 (بعلت بار منفی گروههای کربوکسیلیک بیشتر نسبت به $-OH$) روی زنجیره‌های سلولزی (شکل ۴) و همچنین افزایش پایداری شستشویی نانوذرات تیتانیوم روی پارچه پنبه‌ای می‌گردد (که در این مطالعه مد نظر نبوده است).

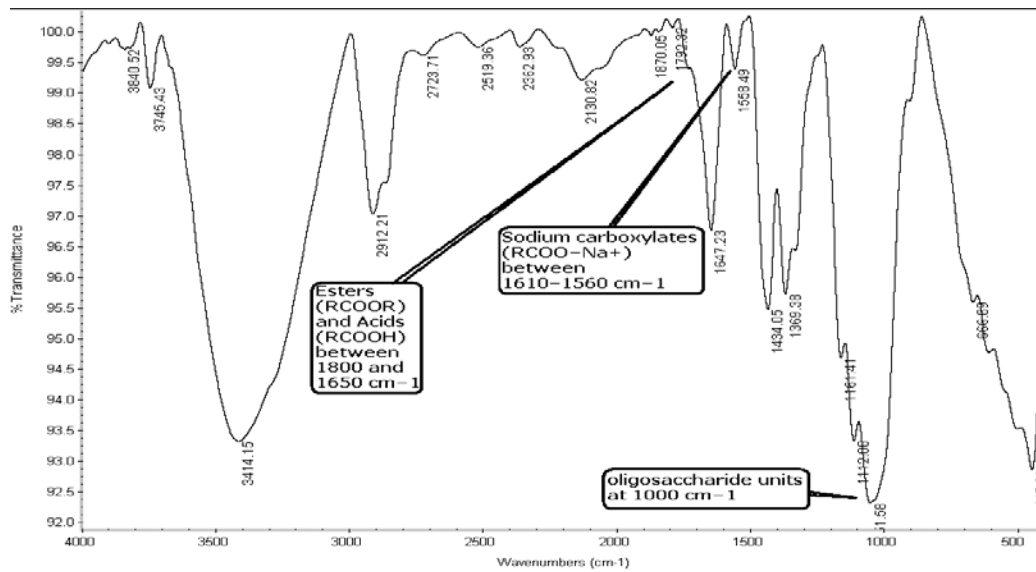


شکل ۳. اتصال سوکسینیک اسید به زنجیره‌های سلولزی پنبه [۹]



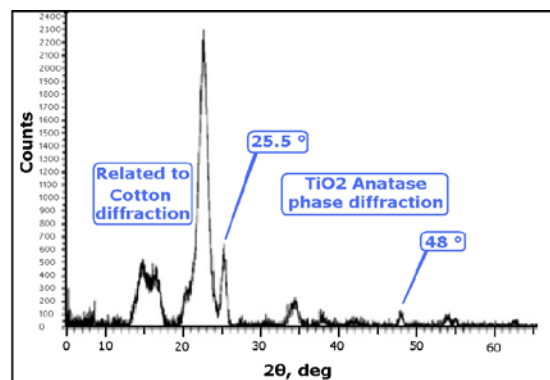
شکل ۴. چگونگی اتصال Spacer با سلولز و سپس با TiO_2 [۹]

جهت اثبات اتصال دی کربوکسیلیک اسیدها به پنبه از طیف سنجی مادون قرمز استفاده گردید (شکل ۵). باند پهن در ناحیه 1000 cm^{-1} مربوط به سطوح ارتعاشی واحدهای الیگوساکاریدی است. پیک های شاخص ارتعاشات کششی گروه های کربونیل موجود در استرها ($RCOOR$) و اسیدها ($RCOOH$) در محدوده بین 1650 cm^{-1} تا 1800 cm^{-1} قرار دارند که می تواند نشان دهنده واکنش برخی از کربوکسیلیک اسیدها با یکدیگر و تشکیل پیوند استری باشد. ارتعاش کششی سدیم کربوکسیلاتها ($RCOO^-Na^+$) در محدوده 1560 cm^{-1} تا 1610 cm^{-1} که در طیف FTIR بصورت شاخص وجود دارد می تواند مربوط به تشکیل کربوکسیلات بین گروههای کربوکسیل آزاد روی سطح پنبه و یونهای سدیم باشد.



شکل ۵. نمودار FTIR پارچه عمل شده با نانو TiO_2

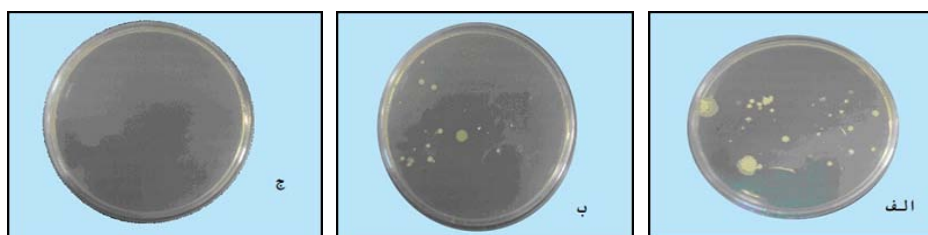
در نمودار تفرق اشعه ایکس نمونه عمل شده (شکل ۶) وجود پیک هایی بجز پیک های متداول پنبه مشاهده می گردد که دلیل وجود ساختار کریستالی ماده معدنی TiO_2 است. وجود این پیکها در زوایای ۲۵ و ۴۸ درجه نشان دهنده فاز کریستالی آناز است و در زوایای ۲۷ و ۳۶ درجه پیک شاخصی مشاهده نمی گردد که دلیل عدم وجود فاز روتایل است. پهن بودن نسبی پیکهای TiO_2 می تواند مربوط به سایز کریستالهای تولید شده باشد. باید اشاره نمود که با توجه به حرارت های اعمالی در این مطالعه انتظار تغییر ساختار کریستالی نانو ذرات TiO_2 وجود ندارد. بنابراین فاز مشاهده شده روی کالا، همان فاز کریستالی است که در محصول تجاری مصرفی (Degussa P25) است.



شکل ۶. طیف XRD از پارچه پوشش داده شده با نانو ذرات TiO_2

۳،۴. نتایج فعالیت ضد میکروبی پارچه و میکروب زدایی از هوای آلوده

تصاویر و نتایج مربوط به کشت باکتری بر روی فیلتر تهیه شده در شکل ۷ و جدول ۲ آورده شده است. مشاهده می‌گردد که با پوشش دادن پارچه با نانو ذرات TiO_2 تعداد باکتری رشد یافته روی پارچه و همچنین روی فیلتر هپا در هر دو نمونه عمل شده کاهش یافته است. اما نمونه‌هایی که دو مرتبه پوشش داده شده‌اند توانسته‌اند ۱۰۰٪ از رشد میکروب بر روی پارچه و به میزان ۹۹٪ (نسبت به نمونه شاهد) از رشد میکروب روی فیلتر هپا جلوگیری نمایند. احتمال می‌رود که افزایش غلظت TiO_2 بر روی پارچه (افزایش فعالیت فتوماتالیستی) و همچنین افزایش تجمعات متخلخل (مانعت فیزیکی) دلیل این موضوع باشد.



شکل ۷. رشد میکروبه‌ها در پتری دیشها (ظروف کشت میکروب) حاصل از نمونه‌های:

الف: شاهد , ب: یکبار پوشش داده شده, ج: دو بار پوشش داده شده.

جدول ۲. نتایج شمارش تعداد باکتری‌های رشد یافته روی سطح

نمونه	تعداد باکتری رشد یافته	تعداد باکتری رشد یافته
	بر روی پارچه پنبه‌ای تهیه شده	بر روی فیلتر هپا
شاهد	$4 \times 10^5 \pm 0.5$	$10^6 \pm 0.5$
یکبار پوشش داده شده	$10^5 \pm 0.5$	$6 \times 10^5 \pm 0.5$
دو بار پوشش داده شده	۰	$10^4 \pm 0.5$

۵. نتیجه گیری

با توجه به افزایش استانداردهای زندگی و همچنین روند رو به رشد انتقال بیماریها از طریق هوا لزوم استفاده از فیلترهای با خاصیت ضد میکروبی کاملاً ضروری به نظر می‌رسد و عرضه محصولات تجاری مختلف در این زمینه بخصوص در سالهای اخیر گویای اهمیت موضوع است. از آنجاییکه احتمال می‌رود عمده میکروب وارد شده به بدن در هنگام تنفس (به ویژه دم) انجام پذیرد لذا بررسی فعالیت آنتی باکتریال خود فیلتر در حالت استاتیک نمی‌تواند شاخص مناسبی جهت ارزیابی

باشد. در این مطالعه دستگاهی جهت اندازه گیری "خاصیت عاری‌زدایی میکروپ از هوای عبوری" ابداع و روش آن ارزیابی گردید. از آنجائیکه در این دستگاه قابلیت تنظیم فشار وجود دارد لذا شبیه‌سازی شرایط فشار تنفسی مهیا می‌گردد. از سوی دیگر ثابت گردید که پوشش دادن پارچه (بعنوان بستری نظیر فیلتر) با نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم جهت ایجاد خاصیت عاری‌زدایی میکروپ از هوای عبوری می‌تواند تا میزان ۱۰۰٪ از بقای میکروپ روی پارچه و تا حد ۹۹٪ از عبور آن ممانعت بعمل آورد. این اثر بخشی که بعلت فعالیت فتوکاتالیستی نانو ذرات دی اکسید تیتانیوم است بواسطه ساختار متخلخل ناشی از تجمعات نانو ذرات روی الیاف تقویت گردید. البته آزمایشات تحت تابش UV موثر بودند که اثر بخشی آن در شرایط جذب UV از محیط و یا نور خورشید نیازمند بررسی است.

۶. منابع

- [1] L.Yang, X.Ning, K.Chen, H.Zhou., J. Ceramic International., Vol.33., pp.7483-489., 2000.
- [2] D.Ing, T.Schroth ., "New HEPA/ULPA filters are an energy-saving option for enhanced safety in hospital"., Copenhagen., 1996.
- [3] L.Palmisiano, A.Sclafani., "In Heterogeneous Photocatalysis"., Willey., New York., 1997.
- [4] Y.W.H.Wong, C.W.M.Yuen, M.Y.S.Leung, S.K.A.Ku, H.L.I.Lam., AUTEX Research Journal., Vol.6., No1., 2006.
- [5] P.Pichat., "Handbook of Heterogeneous catalysis"., J.Weithamp., New York., 1997.
- [6] S.Cao, K.L.Yeung, J.K.C.Kwan, P.M.T.To, S.C.T.Yu., Journal.Applied Catalysis., Vol.86., pp.127-136., 2009.
- [7] M.Kalbacova, J.M.Macak, F.Schmidt, C.T.Mierke, P.Schmuki., Journal. Phys .stat., Vol.4., 2008.
- [8] A.Fujishima, K.Honda., Nature., Vol.238., pp37-40., 1972.
- [9] C.Guillard,D.Debayle,A.Gagnair,H.Jaffrezic, J.Herrmann., "Physical properties and photocatalytic efficiencies of Tio2 films prepared by PECVD and sol-gel methods"., Materials Research Bulletin., Willey., 2004.
- [10] D.M.Blake., "Bibliography of work on the photocatalytic removal of hazar dous compounds from water and air"., National Rene wable Energy Laboratory., 1994.
- [11] T.Yuranova, D.Laub, J.Kiwi., Journal catalysis Today., Vol.40., pp.1., 2007.

-
- [12] T.Mastunasa, R.Tomoda, T.Nakajima, H.Wake., FEMS Microbiol. Lett., Vol.**211**., pp.29., 1985.
- [13] D.M.Blake ., “photocatalytic removal of compounds from air”., National Renewable Energy Laboratory., 1995.
- [14] Hartley, O.Koper, K.Klabunde., Manhatton Ks., Vol.**502**., 2006.
- [15] D.F.Ollis, H.El Akabi., Elsevier science., Vol.**553**., 1993.
- [16] D.M.Blake, “Bibliography of work on the photocatalytic removal of hazardous compounds from water and air”., National Renewable Energy Laboratory., 1997.
- [17] M.Bekbolet, C.Araz., Chemosphere., Vol.**32**., pp.959., 1996.
- [18] D.M.Blake, P.C.Maness, Z.Huang, W.A.Jacoby, E.J.Wolfrum., Vol.**28**., pp.1-19., 1999.
- [19] J.Yu, X.Zhao., TRJ., Vol.**36**., pp.97-107., 2001.
- [20] M.Stevenson, K.Bullock, W.Y.Lin, K.Rajeshwar., Res. Chem Intermed., Vol.**311**., pp.23., 1997.
- [21] K.T.Meilert, D.Laub, J.Kiwi., J. Molecular Catalysis., Vol.**108**., 2005.
- [22] M.M.Hal Mann., CRC Press., Vol.**65**.,1996.