

## بررسی میزان جذب ذرات معلق کوچکتر از ۲/۵ میکرون توسط ماسکهای تجاری و بهبود کیفیت جذب این فیلترها با استفاده از نانو الیاف پلیمری و کامپوزیتی

محمد حسن امینی<sup>۱\*</sup>، میترا محمدزاده آهنی<sup>۲</sup>

۱- پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، پژوهشکده محیط زیست و فناوریهای پاک، تهران، ایران

۲- پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران، پژوهشکده محیط زیست و فناوریهای پاک، تهران، ایران

Email: amini@ccerci.ac.ir

### چکیده

آلودگی هوا به دلیل حجم زیاد آلایندههای هوا که از فعالیتهای انسانی مانند ترافیک، صنعت و نیروگاهها ساطع می شود به یک نگرانی عمده زیست محیطی تبدیل شده است. یکی از مهم ترین آلایندههای هوا مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه ذرات معلق می باشد. ذرات معلق مخلوط پیچیده ای از ذرات جامد و ترکیبات مایع با قطر کم می باشد و از اجزای شیمیایی متنوعی تشکیل شده است. ذرات معلق با قطر کمتر از ۲/۵ میکرون (PM 2.5) تهدیدی جدی برای سلامتی انسان می باشد که می تواند از راه مجاری تنفسی وارد بدن انسان شود. به همین دلیل استفاده از ماسکهای حفاظت تنفسی که تا حد ممکن این ذرات را در خود محصور نگه دارند ضروری به نظر می رسد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی فیلترهای ماسکهای تنفسی موجود در بازار، میزان جذب ذرات معلق کمتر از ۲/۵ میکرون آنها مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه از نانو الیاف پلی آکریلونیتریل و کامپوزیت آن با کیتوزان جهت ساخت فیلترهایی با قابلیت جذب بالای ذرات معلق استفاده گردید.

در این تحقیق با طراحی سیستم مناسب شبیه سازی شده براساس مدارک علمی معتبر، میزان جذب ذرات معلق ماسکهای تجاری بازار ایران توسط دستگاه شمارنده ذرات معلق اندازه گیری شد. همچنین با توجه به میزان غلظت ذرات ورودی و خروجی کارایی جذب و فاکتور کیفیت محاسبه گردیدند در ادامه نانوالیاف پلیمری پلی آکریلونیتریل و کامپوزیت آن با کیتوزان به روش الکتروریسی تهیه شدند و کارایی آنها به عنوان جاذب ذرات معلق بررسی گردید. فیلترهای ماسکهای تنفسی تجاری جذب PM<sub>2.5</sub> پائینی دارند ولی نانوفیلترهای طراحی شده در این تحقیق به روش الکتروریسی جذبهای برابر با  $97/33 - 94/00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  را نشان دادند.

به دلیل اینکه فیلترهای ماسکهای تنفسی بررسی شده در این تحقیق قابلیت حذف پائینی داشتند برای بالا بردن کارایی حذف این فیلترها با افزودن یک لایه از نانو الیاف پلی آکریلونیتریل به سطح فیلترها کارایی حذف افزایش پیدا کرده است.

واژگان کلیدی: پلی آکریلونیتریل، ذرات معلق، الکتروریسی، ماسک تنفسی

مقدمه

آلودگی هوا منجر به اثرات طولانی مدت بسیار جدی بر روی محیط جوی و همچنین سلامت عمومی می‌شود. عامل اصلی آلودگی هوا شامل مواد  $SO_2, NO_x, CO_x$ ، اوزن و ذرات معلق است. در سال‌های اخیر، آلودگی هوا ناشی از ذرات معلق جوی به دلیل صنعتی شدن سریع، شهرنشینی و افزایش مصرف انرژی جدی‌تر شده است [۱-۶]. ذرات معلق مخلوط پیچیده‌ای از ذرات کوچک و قطرات مایع می‌باشد که شامل مواد معدنی (مانند سیلیکات‌ها، سولفات‌ها و نیترات‌ها) و مواد آلی (مانند کربن آلی و عنصر کربن) می‌باشد [۷-۹]. به‌طور کلی ذرات معلق به ترتیب به عنوان ذرات درشت، ریز و فوق العاده ریز با قطر آیرودینامیکی  $m, 5/2 - 10 \mu m (PM_{10})$  و  $2.5 \mu m < PM_{2.5}$  و  $0.1 \mu m < PM_{0.1}$  طبقه بندی می‌شوند [۱۰-۱۲]. برای نشان دادن کیفیت هوا از پارامتری به نام شاخص کیفیت هوا<sup>۱</sup> استفاده می‌شود که بر اساس غلظت تمام آلاینده‌های هوا طبقه بندی می‌شود. در شاخص بالای ۳۰۰ کیفیت هوا بصورت خطرناک تعریف می‌شود. به‌طور مثال در این شاخص غلظت ذرات معلق کمتر از  $2/5$  میکرون ( $PM_{2.5}$ ) برابر با ۲۵۰ میکروگرم بر متر مکعب و غلظت ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون ( $PM_{10}$ ) برابر با ۴۲۵ میکروگرم بر متر مکعب تعریف می‌گردد [۱۳]. از این رو وجود ماسک‌های محافظتی که تا حد ممکن این ذرات میکرونی را در خود محصور کنند و اجازه ورود آن‌ها به دستگاه تنفسی را ندهد، ضروری به نظر می‌رسد.

ماسک‌های تنفسی وسایلی هستند که برای حفاظت از سیستم تنفسی طراحی می‌شوند. در حقیقت این ابزار با به دام انداختن آلاینده‌ها، تنفسی سالم را به همراه می‌آورند. در این ماسک‌ها از الیافی همچون کاغذ، نمد یا پارچه برای به دام اندازی آلاینده‌ها استفاده می‌شود. فیلتر این ماسک‌ها براساس

استاندارد آمریکایی (NIOSH) در سه گروه طبق بندی می‌شوند که در جدول ۱ آمده است [۱۴].

جدول ۱ طبقه بندی ماسک‌های تنفسی

مقاومت در برابر روغن	توضیح کارایی	کد طبقه بندی
غیر مقاوم در برابر روغن	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۵%	N95
	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۹%	N99
	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۹/۹۷%	N100
مقاوم در برابر روغن	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۵%	R95
	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۹%	R99
	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۹/۹۷%	R100
ضد روغن	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۵%	P95
	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۹%	P99
	ذرات بزرگتر از ۰/۳ میکرون یا فیلتراسیون ۹۹/۹۷%	P100

برای حذف ذرات  $PM_{2.5}$  می‌توان از غشاهای نانوالیاف با ویژگی‌های سطح مناسب و شیمی تغییر یافته استفاده نمود که با استفاده از تکنولوژی غشای فیلتراسیون اجزای اصلی  $PM_{2.5}$  ممکن است به راحتی حذف شوند. اخیراً محققان دریافتند که غشاهای نانوالیاف پلیمری قطبی مانند پلی آکریلونیتریل، نایلون و پلی ایمید کارایی حذف بسیار بالاتری نسبت به الیاف پلی پروپیلن غیرقطبی دارند که در غشاهای فیلتراسیون استفاده می‌شوند [۱۵-۱۷]. با کاهش قطر الیاف از مقیاس میکرونی به مقیاس نانومتری سطح ویژه، انعطاف‌پذیری و ویژگی‌های مکانیکی الیاف به‌طور عمده افزایش می‌یابد این امر موجب می‌شود تا نانوالیاف با موفقیت

### ساخت نانوالیاف پلیمری:

برای تهیه ۲۵ ml محلول پلیمری پلی‌آکریلونیتریل با غلظت ۱۲ درصد وزنی حدود ۳g از پلی‌آکریلونیتریل را در حلال دی‌متیل فرمامید حل کرده که با استفاده از همزن مغناطیسی<sup>۲</sup> در دمای اتاق برای مدت ۴ ساعت همزده شد و بدین ترتیب محلول یکنواختی از پلی‌آکریلونیتریل تهیه گردید.

تهیه نانوالیاف پلی‌آکریلونیتریل با استفاده از روش الکترورسی انجام شد. برای انجام این کار از دستگاه الکترورسی موجود در آزمایشگاه دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه امیر کبیر استفاده شد. شرایط کار دستگاه الکترورسی بدین ترتیب بود که محلول ریسندگی در سرنگ ۱ ml با قطر خارجی ۰/۷ mm قرار داده شد. ولتاژ ۱۵ kv بین نازل و درام جمع‌کننده اعمال شد. نرخ تغذیه محلول ریسندگی ۱/۵ ml/h تنظیم شد. فاصله ریسندگی (فاصله بین نازل و درام جمع‌کننده) ۱۳cm تنظیم شد.

برای تهیه محلول نانو کامپوزیت پلی‌آکریلونیتریل ۱۲٪ وزنی جفت شده با نانوکیتوزان با ۰/۲ و ۰/۵٪ وزنی در حلال دی‌متیل فرمامید، ابتدا نسبت‌های وزنی را بدست آورده و بعد مقدار معینی از نانوکیتوزان را در حلال دی‌متیل فرمامید حل کرده و برای مدت تقریبی ۲ ساعت در حمام فراصوت<sup>۳</sup> قرار داده شد سپس به آرامی پلی‌آکریلونیتریل را اضافه کرده و با همزن مکانیکی برای مدت ۱ ساعت همزده شد و باز هم ۱ ساعت در حمام صوتی قرار داده شد سپس این محلول برای انجام الکترورسی آماده گردید.

### طراحی سیستم تست و اجزای آن

شکل ۱- الف اجزای سیستم تست مورد استفاده را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. این سیستم از چهار قسمت تشکیل شده است که شامل بخش‌هایی بدین شرح است: (a) بخش مولد ذرات معلق: در این قسمت عود روشن به عنوان مولد

در انواع متفاوتی از کاربردها به کار گرفته شوند [۱۸]. ویژگی‌های نانوالیاف از جمله نسبت سطح به حجم بسیار بالا موجب کاربرد آن‌ها در بسیاری از زمینه‌ها همچون سلول‌های سوختی، مهندسی بافت، کاتالیست‌ها، حسگرها، سلول‌های الکتروشیمیایی و فیلتراسیون شده است. مهم‌ترین و پرکاربردترین فرآیندی که برای تولید نانوالیاف استفاده می‌شود روش الکترورسی است که دارای بیش‌ترین تنوع مواد اولیه و سهولت عملکرد است [۱۹]. در این پژوهش ابتدا به بررسی فیلترهای ماسک‌های تنفسی موجود در بازار ایران پرداخته شده است و کارایی آن‌ها بر روی جذب ذرات معلق کم‌تر از ۲/۵µm اندازه‌گیری می‌شود سپس فیلترهایی از جنس نانوالیاف پلیمری به عنوان جاذب ذرات معلق معرفی شده و کارایی آن بررسی می‌شود.

### روش بررسی

#### مواد و تجهیزات:

چهار نمونه از ماسک‌های تنفسی موجود در بازار ایران تهیه شد. مواد استفاده شده شامل موارد زیر می‌باشد پلی‌آکریلونیتریل با جرم مولکولی ۱۰۵\*۱/۵ g/mol و حلال دی‌متیل فرمامید از شرکت مرک آلمان تهیه شد. نانوکیتوزان از شرکت نانو نوین پلیمر خریداری شد. از دستگاه شمارنده ذرات معلق (مدل TES5321) ساخت شرکت TES تایوان، دستگاه اندازه‌گیری اختلاف فشار مدل (GM520) ساخت شرکت Benetech، موتور پمپ هوا مدل (MAP1704) خریداری شده از آوا الکترونیک با دور متغیر جهت تنظیم هوای ورودی و فلومتر مدل (Optiflow 520) ساخت شرکت (humonics) در این پژوهش استفاده گردید.

2- stirrer  
3-Sonicate

### تولید ذرات معلق و اندازه‌گیری کارایی حذف

ذرات معلق استفاده شده در این پژوهش به وسیله سوزاندن عود تولید شدند. از آنجایی که غلظت ذرات بالا بود از سیستم رقیق کننده ذرات معلق استفاده گردید. با رقیق کردن ذرات توسط هوا غلظت ذرات ورودی به شاخص بالای ۳۰۰ که معادل  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  می‌باشد تنظیم می‌گردد. یک شمارنده ذرات معلق برای تعیین غلظت ذرات معلق قبل و بعد از فیلتراسیون استفاده شد. فیلتر در قسمت میانی محفظه قرار می‌گیرد زمانی که غلظت ذرات در محدوده  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ثابت شد محفظه را باز کرده و فیلتر را در بین آن قرار داده تا میزان جذب ذرات معلق توسط فیلترها بررسی شود. کارایی حذف به وسیله اندازه‌گیری میزان غلظت قبل از قرار گرفتن فیلتر و بعد از قرار دادن فیلتر محاسبه می‌شود.

معمولاً دو پارامتر مهم در ارزیابی فیلترها وجود دارد. کارایی فیلتر در جذب آلاینده مورد نظر و مقدار افت فشار در اثر عبور هوا که به معنی مقدار مقاومت فیلتر در اثر عبور جریان هوا می‌باشد.

در بررسی کارایی نهایی فیلتر هم کارایی جذب و هم افت فشار لحاظ می‌گردد و با فاکتور کیفیت<sup>۴</sup> نشان داده می‌شود و به صورت فرمول ۱ محاسبه می‌گردد [۲۰].

$$QF = \frac{-\ln(1-E)}{\Delta P} \quad (\text{فرمول ۱})$$

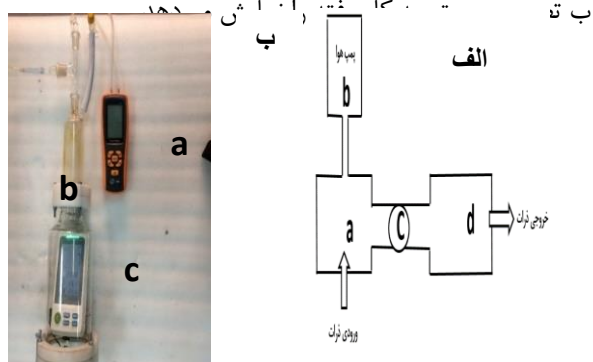
E کارایی جذب ذرات معلق می‌باشد که خود به صورت درصد و با فرمول ۲ محاسبه می‌گردد [۲۲].

$$E = \frac{\text{غلظت ذرات خروجی} - \text{غلظت ذرات ورودی}}{\text{غلظت ذرات ورودی}} \quad (\text{فرمول ۲})$$

\*۱۰۰

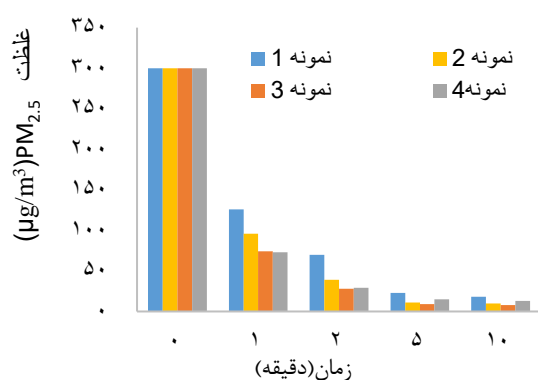
و  $\Delta P$  افت فشار در دو طرف فیلتر می‌باشد که با دستگاه اندازه‌گیری اختلاف فشار در دو طرف فیلتر تعیین می‌گردد.

ذرات معلق قرار داده شد [۲۰]. دود عود به دلیل این که شامل ذرات معلق با اندازه‌های متفاوت و بسیاری از آلاینده‌های موجود در هوای آلوده شهرها مثل  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  و  $\text{VOCS}$  شامل بنزن، تولوئن، زایلن، آلدهیدها و ترکیبات آروماتیک چند حلقوی و ترکیبات دیگر است، کاندیدای مناسبی برای تولید شرایط هوای آلوده است [۲۱]. ذرات معلق تولید شده در این بخش توسط یک فن هوا به گردش در می‌آید تا رقیق شده و غلظت آن یکنواخت شود. با تنظیم مقدار دود ورودی به این بخش، غلظت ذرات معلق به شاخص بالای ۳۰۰ ( $\text{index} > 300$ ) که برابر با غلظت بیش‌تر از  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است، تنظیم شد. سپس فیلتر را در بین محفظه قرار می‌دهیم، (b) سیستم تنظیم شدت جریان انتقال ذرات که وظیفه‌ی تنظیم شدت جریان را توسط یک پمپ باد بر عهده دارد. (c) محل قرار گرفتن فیلتر که در بین دو قسمت محفظه قرار دارد و بعد از جای‌گذاری فیلتر با پیچ و مهره محکم بسته می‌شود و (d) محل قرارگیری دستگاه اندازه‌گیری غلظت ذرات و افت فشار که توسط اندازه‌گیری اختلاف فشار بین دو طرف فیلتر اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۱-



شکل ۱- الف) طرح شماتیک سیستم تست و اجزای آن ب) تصویر با دوربین دیجیتال از سیستم a) دستگاه اندازه‌گیری افت فشار (b) محل قرار گرفتن فیلتر (c) دستگاه اندازه‌گیری ذرات معلق

در شکل ۳ نمودار ستونی غلظت  $PM_{2.5}$  بر حسب زمان عبور دود در طی ۱۰ دقیقه برای چهار نمونه فیلتر نانوالیاف تهیه شده از پلیمر پلی‌آکریلونیتریل در زمان‌های ۴۰ و ۹۰ دقیقه که به روش الکترورسی ساخته شدند و همچنین کامپوزیت پلی‌آکریلونیتریل با نانو کیتوسان با درصد‌های ۰/۲ و ۰/۵ نشان داده شده است. غلظت  $PM_{2.5}$  ورودی  $300 \mu g/m^3$  تنظیم شد و غلظت در زمان‌های ۱ الی ۱۰ دقیقه پس از عبور دود از میان فیلترها ثبت شده است. جدول ۳ نیز اختلاف فشار، فاکتور کیفیت و کارایی جذب به روش توضیح داده شده در قبل محاسبه گردید و برای هر فیلتر ذکر شده است.



شکل ۳ نمودار غلظت بر حسب زمان برای فیلترهای نانو الیاف سنتز شده

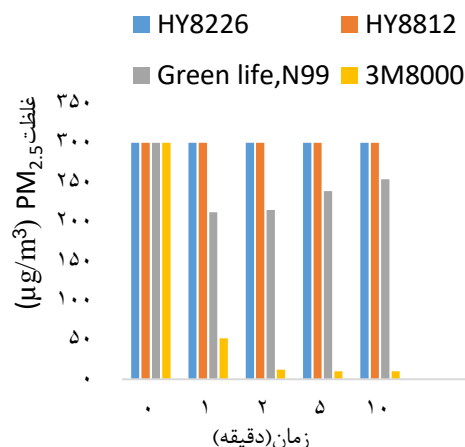
نمونه ۱ شامل نانوالیاف پلی‌آکریلونیتریل در مدت زمان ۴۰ دقیقه الکترورسی شده است. این نانوالیاف افت فشار پایینی داشت ولی کارایی جذب آن در مقایسه با سایر نانو الیاف پایین‌تر بود. نمونه ۲ شامل کامپوزیت پلی‌آکریلونیتریل با نانوکیتوسان ۰/۲ درصد می‌باشد. نمونه ۳ شامل نانوالیاف پلی‌آکریلونیتریل می‌باشد که در مدت زمان ۹۰ دقیقه الکترورسی گردیده است. این نانوالیاف کارایی جذب بالایی نسبت به سایر نانوالیاف سنتز شده دارد. نمونه ۴ شامل کامپوزیت پلی‌آکریلونیتریل به همراه نانوکیتوسان ۰/۵ درصد می‌باشد که با توجه به این‌که کارایی جذب بالایی دارد اما به دلیل اینکه افت فشار آن زیاد می‌باشد مناسب برای تهیه فیلتر نمی‌باشد.

#### یافته‌ها :

میزان جذب  $PM_{2.5}$  توسط دستگاه شمارنده ذرات معلق که در بین سیستم تست طراحی شده قرار گرفته است برای نمونه‌های سنتز شده و نمونه فیلتر ماسک‌های تجاری تهیه شده از بازار اندازه‌گیری گردید. در شکل ۲ نمودار ستونی غلظت  $PM_{2.5}$  در طی مدت زمان ۱۰ دقیقه عبور دود از سیستم آنالیز شکل ۱-الف برای چهار نمونه از ماسک‌های تنفسی موجود در بازار نشان داده شده است. در جدول ۲ اختلاف فشار ایجاد شده بین دو طرف فیلترها در طی عبور دود از میان آن‌ها و همچنین فاکتور کیفیت و کارایی جذب که توسط فرمول ۱ و ۲ محاسبه شده‌اند نشان داده شده است.

جدول ۲ خلاصه عملکرد فیلتر ماسک‌های تنفسی مختلف پس از ۱۰ دقیقه

نمونه	E(%)	QF(Pa <sup>-1</sup> )	P(Pa)Δ
3M8000	۹۶/۶۶	۰/۳۳۹۹	۱۰
HY8812	۰	۰	۱۰
HY8226	۰	۰	۱۰
Green life,N99	۱۵/۳۳	۰/۰۱۶۶	۱۰



شکل ۲ نمودار غلظت بر حسب زمان برای ماسک‌های تنفسی

جدول ۳ خلاصه عملکرد فیلترهای نانو الیاف

نمونه	E(%)	QF(Pa <sup>-1</sup> )	P(Pa)Δ
نمونه ۱	۹۴/۰۰	۰/۰۳۱۳	۹۰
نمونه ۲	۹۴/۶۶	۰/۰۳۴۰	۱۰۰
نمونه ۳	۹۷/۳۳	۰/۰۳۶۲	۱۰۰
نمونه ۴	۹۵/۶۶	۰/۰۰۲۴	۱۳۱۰

### بحث

همان‌طور که در

جدول ۲ و شکل ۲ نشان داده شده است به جز فیلتر ماسک 3M8000 بقیه فیلترها توانایی جذب ذرات معلق کمتر از ۲/۵ را ندارند. متأسفانه ماسک 3M8000 مربوط به یک شرکت آمریکایی می‌باشد و در حال حاضر در بازار کمیاب بوده و در صورت وجود هم قیمت خیلی بالایی دارد. از این جهت مطالعه بر روی انواع نانوالیاف پلیمری انجام گردید که بهترین آن پلی آکریلونیتریل می‌باشد. استفاده از نانو الیاف پلی آکریلونیتریل، اولاً بدلیل حضور نانو الیاف در بافت فیلتر و بالا بودن سطح تماس در مواد با ابعاد نانو و ثانیاً بدلیل وجود گروه‌های عاملی موجود در پلی آکریلونیتریل باعث افزایش حذف ذرات شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که غلظت PM<sub>2.5</sub> در فیلترهای نانو الیاف پس از مدت زمان کوتاهی از عبور دود در حد ۱۰ دقیقه به کمترین میزان خود می‌رسند. در جدول ۳ افت فشار در دو طرف فیلترها گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود افت فشار در نانو الیاف پلی آکریلونیتریل با افزایش زمان الکترورسی در پلی آکریلونیتریل ۹۰ دقیقه الکترورسی شده نسبت به پلی آکریلونیتریل ۴۰ دقیقه باعث افزایش افت فشار می‌شود. زمان های الکترورسی پایین تر از ۴۰ دقیقه بدلیل خواص مکانیکی ضعیف فیلتر تولیدی و زمان بیش تر از ۹۰ دقیقه بدلیل ضخامت بالاتر فیلتر و افزایش افت فشار مناسب نیستند.

استفاده از کامپوزیت نانو الیاف پلیمری با ترکیبات معدنی و آلی دیگر برای بهبود خاصیت فیزیکی مانند افزایش مقاومت مکانیکی یا عملکرد آن در تحقیقات معمول است. حضور نانوکیتوسان مقاومت مکانیکی فیلتر تولیدی را بالا می‌برد در

عین حال با توجه به نتایج جدول ۳ به دلیل افزایش افت فشار استفاده از آن بالاتر از ۲/۰ درصد در ساخت نانو الیاف مناسب نیست. همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است نانوالیاف پلی آکریلونیتریل ۹۰ دقیقه الکترورسی شده قابلیت جذب بالای ۹۷ درصد از PM<sub>2.5</sub> را پس از ۱۰ دقیقه داشته و فاکتور کیفیت آن برابر با ۰/۰۳۶۲ است.

طبق اطلاعات ارائه شده در مدارک معتبر، ماسک‌های صورت معمول با افت فشار کم‌تر از ۱۰۰ پاسکال مورد قبول می‌باشند. البته ماسک‌های طراحی شده برای حذف درصد بالای ذرات معلق کم‌تر از ۲/۵ میکرون معمولاً افت فشار بالاتری دارند که در بعضی موارد تا ۱۰۰۰ پاسکال هم در مقالات گزارش شده است. بدیهی است هر چه افت فشار بیشتر باشد پارامتر فاکتور کیفیت آن ماسک کاهش پیدا خواهد کرد [۲۳، ۱۷].

### نتیجه گیری :

با توجه به این‌که ماسک‌های تجاری بازار کیفیت مناسبی در جذب PM<sub>2.5</sub> نداشته و در مواردی به دلیل تحریم‌ها و قیمت بالای ماسک‌های با کیفیت خارجی امکان استفاده از آن‌ها وجود ندارد، به نظر می‌رسد به کار بردن نتایج این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که از نانو الیاف پلی آکریلونیتریل به صورت یک لایه جداگانه و به همراه لایه‌های دیگر در تولید ماسک‌های تنفسی استفاده گردد. با توجه به تجاری شدن دستگاه‌های الکترورسی این پیشنهاد کاملاً عملی و اقتصادی می‌باشد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد با افزودن یک لایه نانو الیاف الکترورسی شده می‌توان تا ۹۶ درصد از PM<sub>2.5</sub> جلوگیری کرد که کمک زیادی به در امان ماندن افراد از آسیب‌های ناشی از ورود PM<sub>2.5</sub> به سیستم تنفسی بدن می‌گردد.

### منابع

- [1] Nel A. Air pollution-related illness: effects of particles. Science. 2005;308(5723):804-6.
- [2] Sun Y, Zhuang G, Wang Y, Han L, Guo J, Dan M, et al. The air-borne particulate pollution in Beijing—concentration, composition,

- [13] Roshani M A, Shahbazi H, Torbatian S, Karimi E,. Tehran air quality and noise report in 1397 1398.
- [14] Coffey CC, Campbell DL, Zhuang Z. Simulated workplace performance of N95 respirators. *American Industrial Hygiene Association Journal*. 1999;60(5):618-24.
- [15] Liu C, Hsu P-C, Lee H-W, Ye M, Zheng G, Liu N, et al. Transparent air filter for high-efficiency PM 2.5 capture. *Nature communications*. 2015;6(1):1-9.
- [16] Xu J, Liu C, Hsu P-C, Liu K, Zhang R, Liu Y, et al. Roll-to-roll transfer of electrospun nanofiber film for high-efficiency transparent air filter. *Nano letters*. 2016;16(2):1270-5.
- [17] Zhang R, Liu C, Hsu P-C, Zhang C, Liu N, Zhang J, et al. Nanofiber air filters with high-temperature stability for efficient PM2. 5 removal from the pollution sources. *Nano letters*. 2016;16(6):3642-9.
- [18] Fang J, Niu H, Lin T, Wang X. Applications of electrospun nanofibers. *Chinese science bulletin*. 2008;53(15):2265.
- [19] Barhate RS, Ramakrishna S. Nanofibrous filtering media: filtration problems and solutions from tiny materials. *Journal of membrane science*. 2007;296(1-2):1-8.
- [20] Zhang R, Liu C, Hsu PC, Zhang C, Liu N, Zhang J, et al. Nanofiber Air Filters with High-Temperature Stability for Efficient PM2.5 Removal from the Pollution Sources. *Nano Lett*. 2016;16(6):3642-9.
- [21] Lin T-C, Krishnaswamy G, Chi DS. Incense smoke: clinical, structural and molecular effects on airway disease. *Clinical and Molecular Allergy*. 2008;6(1):3.
- [22] Xu Y, Liu X, Zhang Y, Sun W, Zhou Z, Xu M, et al. Field Measurements on the Emission and Removal of PM2.5 from Coal-Fired Power Stations: 3. Direct Comparison on the PM Removal Efficiency of Electrostatic Precipitators and Fabric Filters. *Energy & Fuels*. 2016;30(7):5930-6.
- [23] Yang A, Cai L, Zhang R, Wang J, Hsu P-C, Wang H, et al. Thermal management in nanofiber-based face mask. *Nano letters*. 2017;17(6):3506-10.
- distribution and sources. *Atmospheric Environment*. 2004;38(35):5991-6004.
- [3] Cass GR. Organic molecular tracers for particulate air pollution sources. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 1998;17(6):356-66.
- [4] Hennig F, Fuks K, Moebus S, Weinmayr G, Memmesheimer M, Jakobs H, et al. Association between source-specific particulate matter air pollution and hs-CRP: local traffic and industrial emissions. *Environmental health perspectives*. 2014;122(7):703-10.
- [5] Ancelet T, Davy PK, Trompeter WJ, Markwitz A. Sources of particulate matter pollution in a small New Zealand city. *Atmospheric Pollution Research*. 2014;5(4):572-80.
- [6] Thurston GD, Ito K, Lall R. A source apportionment of US fine particulate matter air pollution. *Atmospheric Environment*. 2011;45(24):3924-36.
- [7] Seinfeld JH. Urban air pollution: state of the science. *Science*. 1989;243(4892):745-52.
- [8] Maricq MM. Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: A review. *Journal of Aerosol Science*. 2007;38(11):1079-118.
- [9] Zhang R, Jing J, Tao J, Hsu S-C, Wang G, Cao J, et al. Chemical characterization and source apportionment of PM 2.5 in Beijing: seasonal perspective. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013;13(14):7053-74.
- [10] Brook RD, Franklin B, Cascio W, Hong Y, Howard G, Lipsett M, et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert Panel on Population and Prevention Science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004;109(21):2655-71.
- [11] Brook RD, Rajagopalan S, Pope III CA, Brook JR, Bhatnagar A, Diez-Roux AV, et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;121(21):2331-78.
- [12] Pope III CA, Dockery DW. Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. *Journal of the air & waste management association*. 2006;56(6):709-42.

## Investigation of PM<sub>2.5</sub> adsorption on commercial masks and improve of their adsorption quality by using polymer and composite nanofibers

Mohammad Hassan Amini<sup>1\*</sup>, Mitra Mohammadzadeh Ahani<sup>2</sup>

1-Chemistry & Chemical Engineering Research Center Of Iran, Environmental Research Center and Clean Technologies, Tehran, Iran

2-Chemistry & Chemical Engineering Research Center Of Iran, Environmental Research Center and Clean Technologies, Tehran, Iran

Email: amini@ccerci.ac.ir

### Abstract

Air pollution has become a major environmental concern due to the high volume of air pollutants emitted by human activities such as traffic, industry and power plants. One of the most important air pollutants, especially in developing countries, is particulate matter. Particulate matters are a complex mixture of solid particles and low-diameter liquid compounds and consists of a variety of chemical components. Particles with a diameter of less than 2.5 microns (PM<sub>2.5</sub>) pose a serious threat to human health that can enter the human body through the airways. That's why it is important to use respiratory masks that keep these particles in place as much as possible. The aim of this study was to evaluate the filters of respiratory masks available in the market, the amount of adsorption of PM<sub>2.5</sub>  $\mu$  of them was investigated and then nanofibers polyacrylonitrile and its composite with chitosan were used to make filters with high adsorption of particulate matters.

In this study, by designing a suitable simulated system based on valid scientific evidence, the amount of adsorption of particulate matters of commercial masks in the Iranian market was measured by a particle counting device. Also, according to the concentration of input and output particles, the removal efficiency and quality factor were calculated. Then, poly acrylonitrile nanofibers and its composite with chitosan were prepared by electrospinning method and their efficiency was examined as adsorbent of particulate matters. Commercial respiratory mask filters have low PM<sub>2.5</sub> absorption, but the nanofilters designed in this study by electrospinning method showed adsorption of 94.00-97.33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Because the respiratory mask filters examined in this study had a low removal efficiency, the elimination efficiency was increased by increasing a layer of polyacrylonitrile nanofibers to the surface of the filters to increase the removal efficiency of these filters.

**Keywords:** Nanofibers, Polyacrylonitrile, particulate matters, Electrospinning, Respiratory Mask