مجله علوم و فناوری نساجی
دوره ۹، شماره ۱، شماره پیاپی ۳۳
صفحه ۴۹-۳۹، ۱۳۹۹
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

تقاضا برای ماسک‌های نانوفناوری با قابلیت محافظتی برتر در جهان بعد از کرونا

Demand for nanotech masks with superior protection in the world after Corona

احمد هیوه‌چی[۱،۲*]، ملیکا شراهی[۲]، محمدامین سارلی[۳]، پیمان بروکی میلان[۱،۴،۵]

۱. ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده فناوری های نوین پزشکی، گروه مهندسی بافت و علوم سلولی کاربردی
۲. ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نساجی
۳. ترکیه، ازمیر، دانشگاه اگه، دانشکده مهندسی نساجی
۴. ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، مرکز تحقیقات سلولی مولکولی
۵. ایران، تهران، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده فناوری‌های نوین پزشکی، گروه پزشکی بازساختی

چکیده

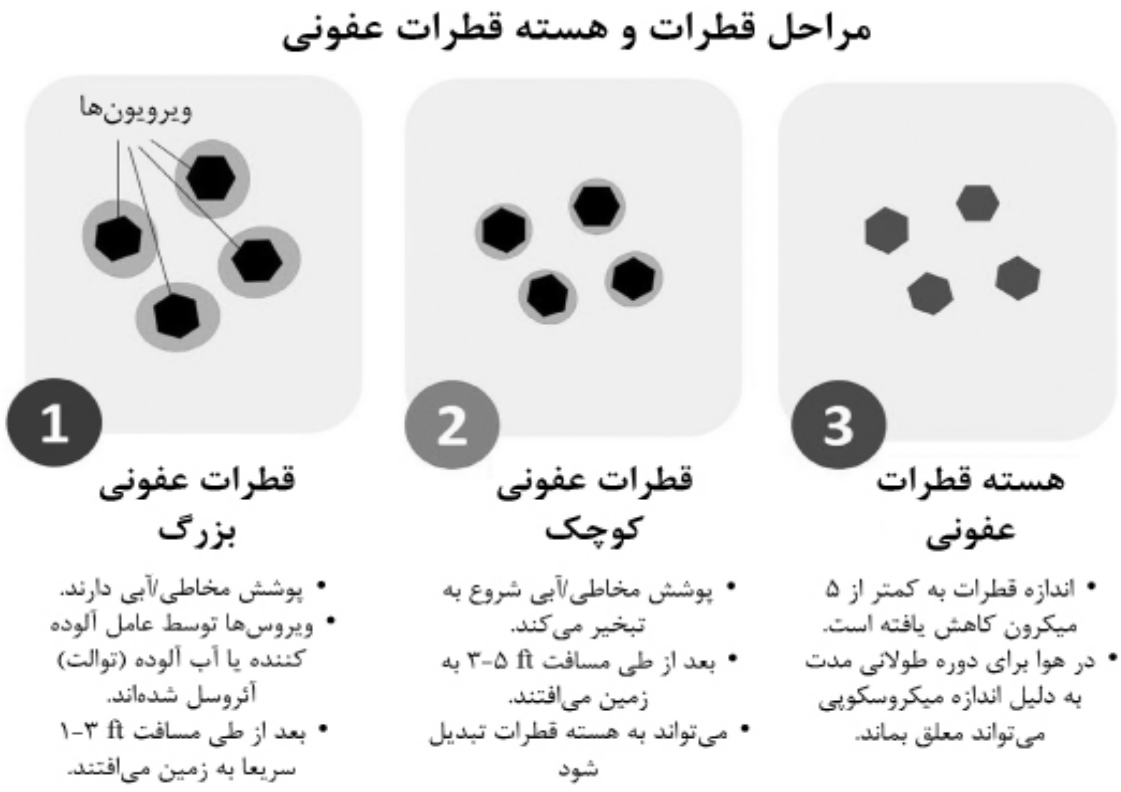
شیوع اخیر کرونا ویروس (COVID-19) و افزایش تعداد موارد تاییدشده، دولت‌ها را مجبور به یافتن راهی برای کنترل این بیماری کرده‌است. تصمیم اولیه دولت‌ها، قرنطینه و فاصله‌گذاری اجتماعی بود. علاوه‌براین محدودیت‌ها، دانشمندان در تلاش برای تولید یک واکسن یا داروی مناسب هستند. با این حال، به دلیل طولانی‌شدن این محدودیت‌ها و عدم موفقیت دانشمندان، اقتصاد به صورت نامطلوبی تحت تاثیر قرار گرفته است. بنابراین، دولت‌ها این محدودیت‌ها را کاهش داده و همه‌ی مردم را موظف به استفاده از ماسک‌های صورت در مکان‌های عمومی برای کاهش نرخ انتقال کرونا ویروس کرده‌اند. در این مقاله، قصد داریم چالش‌های مربوط به استفاده از پوشش ماسک را مورد بررسی قرار دهیم. ثابت شده‌است که ماسک‌های صورت مبتنی بر فناوری نانو، خواص برتری را (قابلیت استفاده مجدد و زیست‌تخریب‌پذیری) در مقایسه با ماسک‌های سه لایه معمولی فراهم می‌کند. این خواص آنها را به عنوان یک انتخاب هیجان‌انگیز برای شرکت‌های تجاری تبدیل کرده است. بنابراین، معتقدیم که جهان بعد از کرونا به ماسک‌های نانو فناوری نیاز دارد و ایران می‌تواند از مزیت این ماسک‌ها نه تنها برای کنترل کرونا ویروس استفاده کند، بلکه می‌تواند آنها را به کشورهای دیگر صادر کند.

کلمات کلیدی
فناوری نانو،
منسوجات،
ماسک صورت،
کروناویروس (COVID-19)،
دوستدار محیط زیست.

۱- مقدمه

منشـــاء شـــیوع اخیر کرونا ویروس (COVID-19) از ووهان، استان هوبئی، جمهوری چین بوده‌است. در ابتدا این ویروس در حیوانات مشـــاهده و سپس به انسان‌ها منتقل شـــد و باعث تب، ســـرفه، خستگی و مشکلات تنفسی در بیماران گردید [۱]. سازمان بهداشت جهانی (WHO) در تاریـــخ ۳۰ ژانویه ۲۰۲۰ این عفونت را به عنوان فوریت بهداشت جهانی اعلام کرد. طولی نکشید که WHO به دلیل گســـترش جهانی، COVID-19 را به عنوان بیماری همه‌گیر جهانی (پاندمی) اعلام کرد. پس از حدود ۷ ماه، بیش از ۱۱ میلیون نفر در بیش از ۲۱۰ کشور آلوده شدند و تعداد مرگ‌ها از ۰/۵ میلیون مورد عبور کرد [۲]. تلاش جهانی برای تولید واکســـن در پاســـخ به بیمـــاری همه‌گیـــر COVID-19 از نظر سرعت بی‌سابقه است. بسیاری از تحقیقات در استرلیا، چین، آمریکای شـــمالی و اروپا در زمینه تولید واکسن مورد تایید در حال انجام هســـتند. با توجه به ضرورت اوضاع کنونی، نشـــانه‌هایی وجود دارد که واکسن برای استفاده اورژانسی یا موارد مشابه می‌تواند در اوایل سال ۲۰۲۱ در دسترس قرارگیرد [۳]. بنابراین، بهترین راه تا دسترســـی کل مردم جهان به واکســـن، پیشگیری با فاصله‌گذاری اجتماعی، رعایت بهداشـــت شخصی و استفاده از تجهیزات حفاظت شخصی (PPE) است [۴]. قبل از بررســـی تجهیزات حفاظت شخصی، لازم است کـــه بدانید چگونه ویروس از فردی به فرد دیگر منتقل می‌شود. گزارش شده‌است که COVID-19 از طریق ۲

*مسئول مکاتبات،پیام نگار: a.hivechi@aut.ac.ir



شکل ۱. قطرات در برابر ذرات منتقل‌شده توسط هوا (هسته قطره نیز نامیده می‌شود) [۶].

راه عمده منتقل می‌شود: ذره تنفسی و تماس [۵]. انتقال قطره توسط ذرات تنفسی بزرگ ناشی از سرفه و عطسه اتفاق می‌افتد. این ذرات بزرگتر از ۵ میکرومتر هستند و نمی‌توانند فاصله‌های بیش از ۱متر را به دلیل جاذبه طی کنند. علاوه‌براین، هنوز انتقال هوایی ویروس فعلی (ذرات<۵ میکرومتر) تایید نشده‌است. بنابراین، باید پیشگیری‌های لازم مانند فاصله‌گذاری اجتماعی ۲ متری و طراحی تجهیزات حفاظت شخصی مناسب انجام شود [۶]. تفاوت بین این ذرات در شکل ۱ ارائه شده‌است.

تجهیزات حفاظت شخصی شامل پوشش سر، محافظ چشم، ماسک، رسپیراتور (تجهیزات تنفسی)، رولباسی و دستکش‌ها برای پیشگیری و اقدام احتیاطی در برابر هوا، قطره و تماس است [۷]. در بین روش‌های پیشگیری، پوشش ماسک توسط مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری (CDC) ایالات متحده آمریکا توصیه شده‌است. همچنین، پوشش ماسک در مکان‌های عمومی توسط بسیاری از دولت‌ها از جمله ایران، چین، کانادا، کره جنوبی و جمهوری چک توصیه یا الزام شده‌است [۸].

مطالعه موردی اخیر توسط ادیکاری و همکاران نیز نشان داده‌است که درصورت استفاده افراد از ماسک در مکان‌های عمومی خطر قطرات عفونی تا ۹۰٪ کاهش می‌یابد [۹]. این یافته‌ها تقاضا را برای ماسک صورت افزایش داده‌است و زنجیره تامین در بسیاری از کشورها با چالش‌های قابل توجهی روبه‌رو است [۱۰]. در این مقاله، ما قصد داریم اطلاعات به دست امده از مقالات تحقیقاتی مختلف را جمع‌آوری کرده و به برخی از سولات مهم در رابطه با ماسک‌های مناسب صورت برای مبارزه با COVID-19 پاسخ دهیم. این سوال‌ها عبارتنداز:

- چند نوع دسته‌بندی ماسک در بازار وجود دارد؟
- کدام نوع برای محافظت از خود در برابر قطرات و ذرات منتقل شده توسط هوا مناسب است؟
- آیا نگرانی‌های محیط زیستی در رابطه با ماسک‌های یکبار مصرف وجود دارد؟
- چگونه می‌توان ماسک‌های صورت قابل شستشو یا زیست تخریب‌پذیر تولید کرد؟

اهمیت ماسک‌های پوششی

پس از گسترش جهانی ویروس COVID-19، دولت‌ها به روش‌های مختلفی چون فاصله‌گذاری اجتماعی، قرنطینه، دورکاری، لغو گردهمایی و اجتماعات گسترده، دستور ماندن در خانه و استفاده اجباری از ماسک متوسل شدند [۱۱]. اگرچه این سیاست‌ها در کنترل تعداد بیماران موفقیت آمیز بود، اما از طرفی سیاست‌های فاصله‌گذاری اجتماعی و قرنطینه به اقتصاد و سبک زندگی مردم آسیب زده‌است. بنابراین، کشورها درحال کاهش محدودیت‌های اجتماعی و پیشنهاد استفاده از ماسک‌های پوششی به مردم هستند. اما سوال این است که چرا ماسک‌های صورت در کنترل کرونا ویروس بسیار مهم هستند؟ آیا ماسک‌های پوششی تأثیر قابل توجهی در کنترل این بیماری دارند؟ در اینجا ما قصد داریم تا نشان دهیم

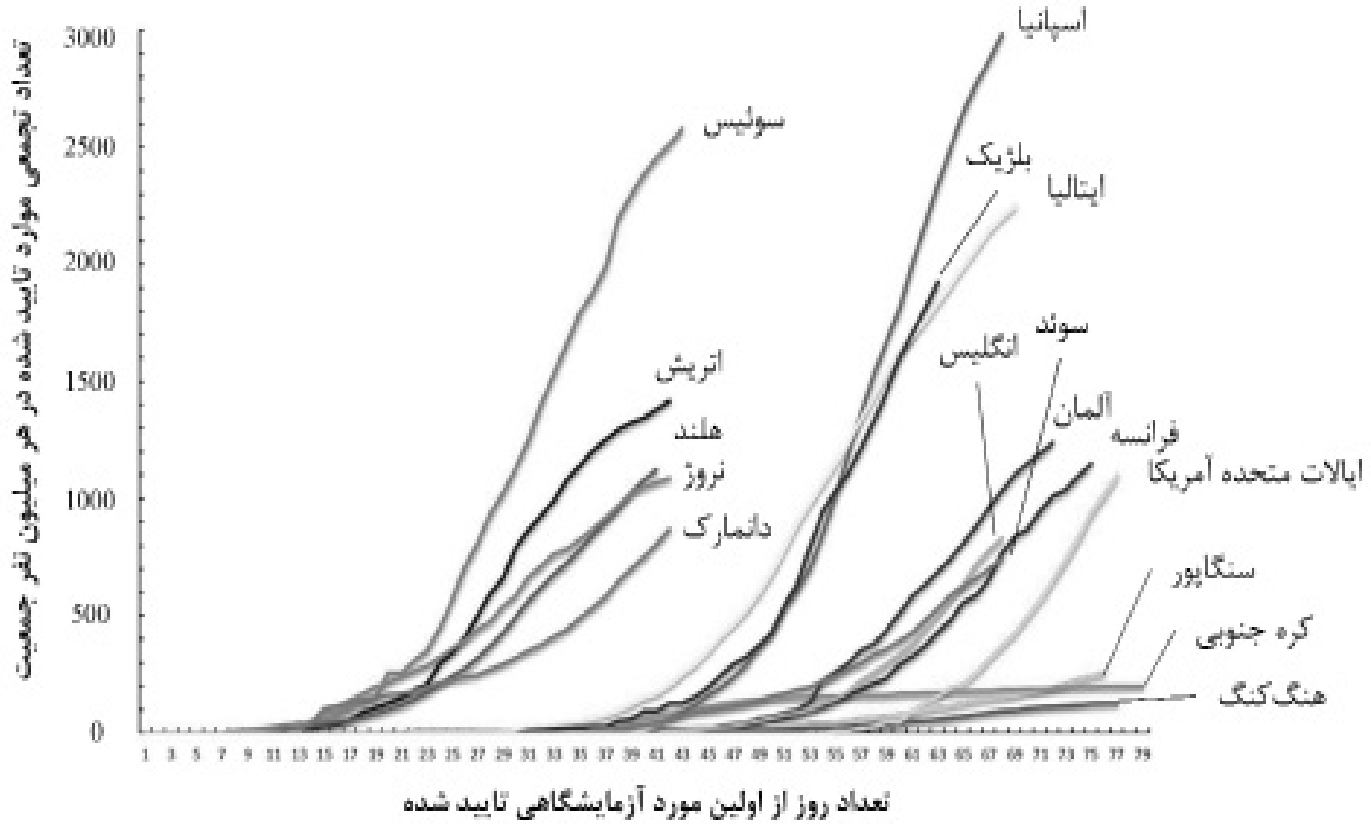
شکل ۲. سازوکار کنترل منبع با استفاده از ماسک صورت [۱۳].

که چگونه ماســـک‌ها می‌توانند از ما محافظت کنند و برخی از مدل‌های موفق را در کشورهای مشهور ارائه دهیم که با استفاده از این ماسک‌های پوششی تعداد بیماران را کنترل کردند.

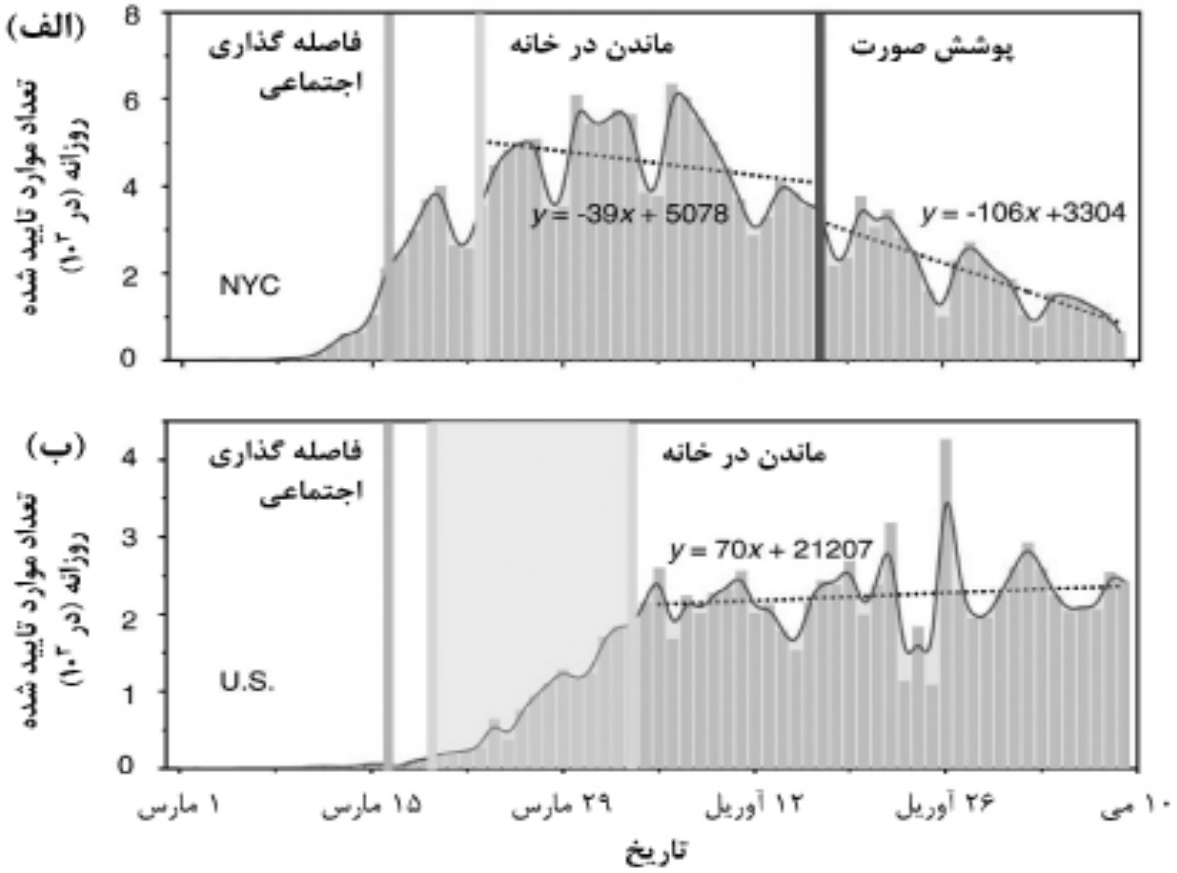
ماسک‌های پوششی در مکان‌های عمومی می‌توانند خطر ابتلا به بیماری را با استنشـــاق قطرات عفونی کاهش دهند. به عبارت دیگر، ماسک‌ها به عنوان مانع عمل می‌کنند و احتمال ورود قطرات ویروســـی به سیستم تنفسی ما را به طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهند [۱۲]. CDC استفاده از ماسک‌های پوششی را برای افراد آلوده نیز توصیه می‌کند. آنها معتقدند که ماسک‌ها می‌توانند قطرات تنفسی را در بیماران آلوده زمانی‌که در حال سرفه، عطسه، صحبت کردن یا بلندکردن صدایشان هستند، جذب کنند. این استراتژی کنترل منبع نامیده می‌شود و در این رویکرد، صورت قطرات پاشیده شده در هوا را کاهش می‌دهد (شکل ۲) [۱۳].

مطالعات محدودی در رابطه با استفاده از ماسک‌های صورت در جلوگیری از انتقال ویروس‌های تنفســـی در جامعه وجود دارد. با این‌حال، ما قصد داریم تا بعضی از تجربیات موفق برخی از کشـــورها که استفاده اجباری یا داوطلبانه از پوشـــش صورت را اعلام کرده‌اند، ارائه دهیم. منطقه ویژه اداری هنگ‌کنگ چین (HKSAR) شهری بین‌المللی با جمعیت ۷/۴۵ میلیون نفری در جنوب چین است که کمی بعد از مشاهده بیماران آلوده در ووهان شروع به مبارزه با ویروس کرد. هنگ‌کنگ تنها شهری بود که به دلیل تجربه دردناکشان از بیماری همه‌گیر سارس سال ۲۰۰۳، شروع به استفاده از پوشش ماسک عمومی به صورت داوطلبانه کرد. تعداد بیماران در کشورهای مختلف در شکل ۳ ارائه‌شده‌است.

بر اســـاس نتایج، می‌توان اســـتنتاج کرد که اگرچه هنگ‌کنگ از تراکم جمعیت بالایی برخوردار اســـت اما پوشش ماسک نرخ انتقال را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده است [۱۱]. در ایالات متحده آمریکا، سیاست‌های مختلف کاهش ابتلای ویروس را می‌توان به چهار فاز تقســـیم کرد؛ عدم وجود فاصله‌گذاری اجتماعی، فاصله‌گذاری اجتماعی، دســـتور ماندن در خانه و استفاده اجباری از ماسک در برخی نواحی. نیویورک اولین ایالت در آمریکا بود که اســـتفاده از پوشش صورت را در مکان‌های عمومی در ۱۷ آوریل ۲۰۲۰ موظف کـــرد. نمودارهای تعداد کل بیماران در ایالات متحده‌آمریکا و نیویورک در شکل ۴ نشان‌داده شده است. با توجه به نتایج،



شکل ۳. تعداد تجمعی COVID-19 درهر میلیون نفر در کشورهای نماینده یا مناطقی با و بدون پوشش وسیع اجتماعی ماسک صورت [۱۱]



شکل ۴. رگرسیون خطی در تعداد کل بیماران در (الف) ایالت نیویورک و (ب) ایالات متحده در فازهای مختلف سیاست کاهش ابتلای ویروس [۱۴]

می‌توان استنتاج کرد که ماسک صورت موثرترین روشی است که می‌تواند نرخ انتقال را کاهش دهد [۱۴].

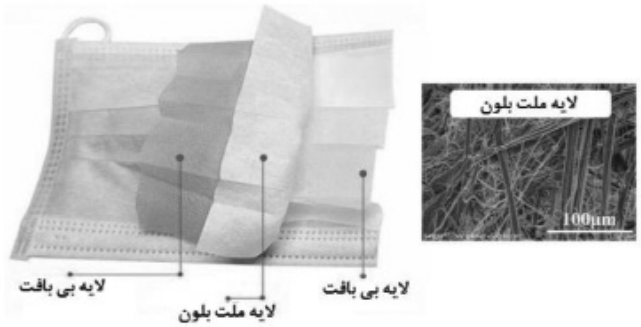
انواع ماسک‌های صورت و رسپیراتورها

محققان در دانشگاه جان هاپکینز رسپیراتورهای مخصوص، ماسک‌های جراحی و پارچه‌ای را برای ایجاد سطوح مختلف محافظت در برابر COVID-19 پیشنهاد کرده‌اند [۱۵]. N95، FFP2 و FFP3 سه نوع رسپیراتور مخصوص توصیه‌شده با بالاترین سطح حفاظت هستند [۱۶]. طبق توصیه‌های CCD و FDA، رسپیراتورها نباید توسط عموم مردم استفاده شوند. نمره Filtering Face Piece (FFP) از استاندارد اروپایی EN149:2001 گرفته شده است، درحالیکه علامت N از استاندارد آمریکایی سازمان انستیتوی ملی سلامت و ایمنی شغلی (بخشی از CDC) به دست می‌آید. این رسپیراتورها می‌توانند کاملاً روی صورت بچسبند و حداقل ۹۴٪ (FFP2)، ۹۹٪ (FFP3) و ۹۵٪ (N95) ذرات بزرگتر از قطر ۰/۳ میکرومتر را جذب کنند.

ماسک‌های جراحی ضد آب در سطح بعدی محافظت هستند. این ماسک‌های ۳ لایه از دو لایه پارچه بی بافت و یک لایه میانی از مواد ملت بلون ساخته‌شده‌است که ذرات موجود در هوا را جذب می‌کند (شکل ۵). پوشش‌های پارچه‌ای صورت دست‌ساز (خانگی) کمترین سطح محافظت را دارند (حذف ۶۰ درصدی ذرات). با این حال، ارزان‌تر و در دسترس‌تر هستند. CDC این ماسک‌ها را برای استفاده روزانه تمام مردم در مکان‌های عمومی شلوغ و بسته توصیه می‌کند [۱۷].

چالش‌های محیط زیستی استفاده از ماسک

همانطورکه در بخش قبلی ذکر شد، تأثیر ماسک‌های پوششی در کاهش نرخ عفونت کرونا ویروس اثبات شده است. بنابراین، بیشتر مردم به صورت داوطلبانه از این تجهیزات حفاظت شخصی استفاده می‌کنند. رایج‌ترین نوع پوشش صورت که توسط عموم مردم استفاده می‌شود، ماسک‌های جراحی است [۱۸]. گروه مدل‌سازی WHO تولید حدود ۸۹ میلیون ماسک‌های جراحی صورت را برای پاسخ به COVID-19 در هر ماه تخمین‌زده است



شکل ۵. ساختارماسک‌های جراحی [۱۷]

شکل ۶. ماسک‌های صورت یکبار مصرف جمع‌آوری‌شده از منطقه ساحل [۲۵]

[۱۹]. این استفاده بیش از حد از ماسک‌های صورت منجر به چالش‌های قابل توجه محیط زیستی شده است. یک گزارش اخیر از ابوادیس و همکاران، افزایش قابل توجه ضایعات پلاستیک بیمارستانی را با افزایش تعداد موارد تایید شده COVID نشان داده‌است [۲۰]. از آنجا که این پلاستیک‌ها احتمالا به ویروس COVID-19 آلوده شده‌اند، دفع آنها به مقررات حساسی نیاز دارد و هزینه‌های زیادی را به بیمارستان‌ها تحمیل می‌کند. بنابراین، کشورهای مختلف برای کاهش این فشار از بخش پزشکی دولت‌های خود برخی سیاست‌ها را به‌کارگرفته‌اند [۲۱]. چالش دیگر مربوط به ماسک‌های صورت این است که آنها معمولاً از پلیمرهای پایه‌ی نفتی ساخته می‌شوند و در صورت دور ریختن در محیط زیست نیاز به زمان تخریب طولانی مدت دارند. این آلودگی‌های پلاستیکی توسط بسیاری از محققان در تحقیقات گذشته گزارش و نشان داده شده است [۲۲-۲۴]. اخیراً، فعالان محیط‌زیست از زمان پاندمیک COVID-19 به خاطر وضعیت فعلی زیست محیطی دچار نگرانی شده‌اند. همانطورکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود، تعداد زیادی ماسک یکبار مصرف از ساحل جمع‌آوری شده است که می‌تواند زندگی آبزیان را مختل کند [۲۵]. این اشکالات محیط زیستی ممکن است بر گردشگری به صورت نامطلوبی تأثیر بگذارد، که ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند. از آنجاکه اقتصاد بسیاری از کشورها به گردشگری وابسته است، کنترل این نوع زباله‌ها از اهمیت برخوردار است. بنابراین در این مقاله، ما قصد داریم بعضی از راه‌حل‌های ممکن برای کاهش میزان ضایعات ماسک صورت را مورد بحث قرار دهیم.

استراتژی‌های کاهش ضایعات ماسک صورت

محققان در تحقیقات گذشته راه‌حل‌های مختلفی را برای کاهش تقاضای ماسک‌های جراحی به منظور کاهش فشار بر شرکت‌های تولیدکننده ماسک و کنترل میزان ضایعات پلاستیکی پیشنهاد کرده‌اند. این راه‌حل‌ها شامل عملیات حرارتی، ضدعفونی‌کردن ماسک‌ها، تولید ماسک‌های پنبه‌ای قابل استفاده مجدد و ماسک‌های مبتنی بر نانوالیاف هستند. ما در بندهای بعدی قصد داریم این موارد را مورد بحث قرار دهیم.

استفاده طولانی و تمدید شده

سلینا و همکاران [۲۶] روش‌هایی برای افزایش تعداد دفعات استفاده از ماسک‌های جراحی ارائه کرده‌اند. آنها اعتقاد دارند که ماسک‌های جراحی و رسپیراتورهای N95 می‌توانند با عملیات حرارتی یا اسپری کردن (پاشیدن) محلول ضدعفونی کننده قابلیت استفاده مجدد را خواهند داشت. روش‌های پیشنهادی عملیات حرارتی در زیر لیست شده است:

- در معرض قرارگرفتن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۸۰°C
- در معرض قرارگرفتن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۹۵°C

بعلاوه، اسپری کردن یک لایه نازک از محلول‌های ضدعفونی‌کننده زیر به سطح ماسک‌ها می‌تواند ویروس‌های احتمالی را از بین ببرد:

- اسپری Lysol تجاری + اتانول ۵۸٪ + آلکیل (C14 ٪۵۰ ، C12 ٪۴۰ ، C16 ٪۱۰) دی‌متیل‌بنزیل-آمونیوم ساکارینات ۰/۱٪
- ۷۰ میلی‌لیتر ایزوپروپانول + ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه + ۲۵ میلی‌لیتر پاک‌کننده چندسطحی Pine-Sol
- ۷۰ میلی‌لیتر ایزوپروپانول + ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه + افزودن ۳٪ wt سیتریک اسید + ۱٪ wt صابون مایع دست ملایم
- ۷۰ میلی‌لیتر ایزوپروپانول + ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه + افزودن ۱٪ wt دی سدیم EDTA + ۱٪ wt بنزالکونیوم کلرید + ۱٪ wt کلرهگزیدین گلوکونات
- ۷۰ میلی‌لیتر ایزوپروپانول + ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه + افزودن ۳٪ wt روغن درخت چای
- ۷۰ میلی‌لیتر ایزوپروپانول + ۳۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه + افزودن ۳٪ wt لیمونن

در یک مطالعه اخیر، ما و همکاران [۲۷] اثر بخار در حذف ویروس و کارایی ماسک‌های پزشکی و رسپیراتورهای N95 را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داده‌است که بخار دادن به مدت ۱۲۰ دقیقه می‌تواند ماسک‌ها را به طور موثری ضدعفونی کند بدون اینکه از کارایی آنها کم کند. بنابراین، این محققان بخاردادن ماسک‌ها را توسط ماشین بخار متداول به مدت ۶۰-۱۲۰ دقیقه پیشنهاد کردند. روش دیگر برای طولانی‌کردن استفاده از پوشش صورت، اشعه ماوراء بنفش ضدباکتری (UVGI) است [۲۸]. لیندزلی و همکاران [۲۹] و میلس و همکاران [۳۰] گزارش کرده‌اند که رسپیراتورهای N95 آلوده به آنفلوانزا می‌توانند به طور مناسب توسط اشعه UVGI برای حدود ۱دقیقه بدون اینکه کارایی فیلتر را کاهش دهد، ضدعفونی شوند. در مطالعه اخیر، همزوی و همکاران [۳۱] از بیمارستان هنری فورد یک ستاپ UVGI ایجاد کرده‌اند که می‌تواند برای ضدعفونی COVID-19 استفاده شود (شکل ۷).

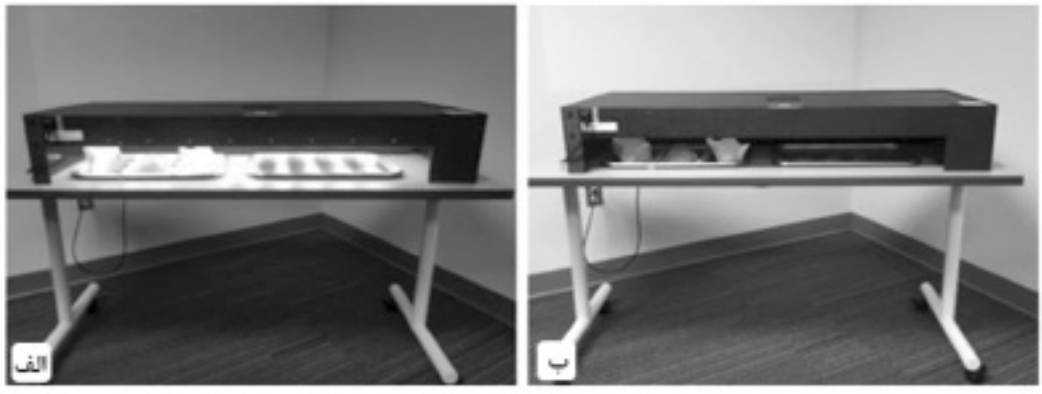
میزان دوزتابشی UV مورد نیاز ۱ J/cm^2 است که می‌تواند در بازه زمانی ۶۰-۴۰ ثانیه با تابیدگی ۱۰ mW/cm^2 تحویل‌داده شود. اگرچه این روش‌ها تا حدی موفقیت‌آمیز بودند، اما تاکنون کارآیی آنها توسط سازمان‌های بین‌المللی مانند WHO و FDA به اثبات نرسیده‌است.

ماسک‌های پارچه‌ای با قابلیت استفاده مجدد

ماسک‌های پارچه‌ای به دلیل قابلیت دسترسی و تولید ساده می‌توانند در طی پاندمی فعلی کمک شایانی به جامعه داشته باشند. اگرچه بسیاری از مقالات تحقیقاتی، کارآیی ماسک‌های جراحی را در انسداد ویروس‌ها تأیید می‌کنند [۳۲]، اما تحقیقات محدودی در مورد اثربخشی ماسک‌های پارچه‌ای برای محافظت در برابر COVID-19 ارائه شده است [۳۳]. دیویس و همکاران [۱۲] تاثیر پوشش صورت پنبه‌ای دست‌ساز با ماسک‌های تجاری را ارزیابی کرده و دریافتند که هر دو می‌توانند پاتوژن‌ها (عوامل بیماریزا) را مسدود کرده و از کاربران محافظت کنند. با این حال، آنها گزارش دادند ماسک‌های جراحی در مقایسه با پوشش‌های صورت دست‌ساز، محافظت سه برابر بهتری را فراهم می‌کند. وان در سانده و همکاران [۳۴] در تحقیقی دیگر گزارش کردند هنگامی که افراد از ماسک‌های پارچه‌ای استفاده می‌کنند، میزان قرار گرفتن در معرض آئروسل(هواپخش) به طور قابل‌توجهی کاهش یافته‌است. همچنین، آنها معتقدند اگرچه ماسک‌های ذکرشده درجه بالایی از محافظت را ارائه نمی‌دهند، اما ممکن است خطر انتقال ویروس را در بیماران بدون علائم کاهش دهند. کلیس و همکاران [۳۵] محافظت ۷۲٪، ۵۱٪ و ۹۷٪ در برابر ویروس‌ها را به ترتیب برای ماسک‌های صورت تولیدشده از پارچه‌های‌خشک‌کن (۱۰۰٪ پنبه)، تی‌شرت (۱۰۰٪ پنبه) و ماسک‌های جراحی گزارش کرده‌اند.

در اینجا سوال این است که کدام نوع از الیاف و منسوجات بالاترین سطح محافظتی را فراهم می‌کنند؟

لاستیگ و همکاران [۳۶] پیشنهاد داده‌اند که ماسک‌های پارچه‌ای



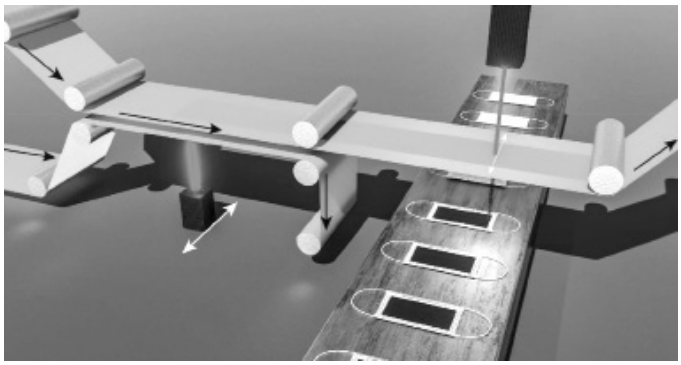
شکل ۷. ستاپ UVGI پیشنهادشده توسط Hamzavi و همکاران [۳۱] (فاصله لامپ تا بالای میز تقریباً ۱۴ cm است).

تولیدشده باید از دولایه پارچه‌های آب‌گریز و آب‌دوست ساخته شوند. لایه آبگریز به عنوان یک مانع عمل می‌کند و از جذب یا انتقال آئروسل‌های مایع به لایه‌های داخلی جلوگیری می‌کند. بنابراین، پارچه‌های پلی‌استر و پلی‌پروپیلن می‌توانند به عنوان لایه بیرونی انتخاب شوند و پارچه‌های پنبه‌ای می‌توانند به عنوان لایه داخلی آبدوست مورد استفاده قرارگیرند. ژائو و همکاران [۳۷] کارایی فیلترکردن و کیفیت پارچه‌های مختلف خانگی را بررسی کردند. آنها دریافتند که پارچه‌های پنبه‌ای بالاترین کارایی فیلترکردن را ارائه می‌دهند، اما به دلیل کاهش جریان هوا، کیفیت فیلتراسیون پایین‌تری را نشان می‌دهند. از طرف دیگر، پارچه‌های PP سطح قابل قبولی از راندمان فیلتراسیون و کیفیت عالی را ارائه می‌دهند. همچنین کانـدا و همکاران [۳۸] کارایی فیلترکردن پارچه‌های مختلف را مطالعه کردند. آنها نشان دادند که ماسک‌های هیبریدی (مانند پنبه -ابریشم، پنبه-شیفون (نوعی پارچه ابریشمی)، پنبه -فلانل) بیش از ۸۰٪ (برای ذرات <۳۰۰ نانومتر) و بیش از ۹۰٪ (برای ذرات> ۳۰۰ نانومتر) فیلتراسیون را فراهم می‌کنند. به طور خلاصه، بر اساس این نتایج، ما می‌توانیم یک ماسک صورت سه لایه (PP-پنبه- ابریشم) ارائه دهیم که کیفیت و کارایی فیلترکردن قابل‌قبولی را در برابر ویروس COVID-19 فراهم می‌کند. خصیصه اصلی این نوع ماسک قابلیت شستشویی آن است که باعث می‌شود حداقل برای حدود ۵۰ سیکل قابل استفاده مجدد باشد.

ماسک‌های صورت مبتنی بر فناوری نانو

فناوری نانو یک زمینه تحقیق در حال ظهور است که در آن دانشمندان از حوزه‌های مختلف برای استفاده از مزایا مواد نانومقیاس در تعامل هستند. اخیراً محققان از فناوری نانو برای بهبود یا افزودن ویژگی های منحصر به فرد ماسک‌های متداول استفاده می‌کنند. قبلاً اهمیت عملیات حرارتی و اشعه ماورا بنفش در ماسک‌های ضدعفونی‌شده مورد بحث قرار گرفت. اگرچه این روش‌ها نتایج امیدوارکننده‌ای را برای ما فراهم می‌کنند، اما به برخی از دستگاه‌ها مانند محفظه UVGA و آون نیاز دارند. این دستگاه‌ها ممکن است در بیمارستان‌ها یا مکان‌های دیگر موجود باشد، اما افراد عادی به آنها دسترسی ندارند یا نمی‌توانند این وسایل را استفاده‌کنند. بنابراین، ژانگ و همکاران [۳۹] در مطالعه اخیر ایده‌ای را مطرح کردند که ماسک‌های صورت خود تمیزکننده را می‌توان با استفاده از مکانیسم فوتوترمال تولید کرد. آنها یک خط تولید مبتنی بر روش انتقال به جلو القاشده لیزر در حالت دوگانه ایجاد کردند (شکل ۸). در این روش، یک لایه‌ی نازک از نانوذرات گرافن روی سطح ماسک‌ها پوشش داده می‌شود. ماسک‌های به‌دست‌آمده از این روش به صورت قابل توجهی آبگریزی بالایی را نشان می‌دهند که می‌تواند کاربر را در برابر قطرات محافظت کند. علاوه بر این، دمای سطح ماسک‌های صورت تحت تابش نور خورشید می‌تواند به سرعت تا ۸۰ درجه سانتیگراد افزایش یابد. این خاصیت باعث می‌شود که ماسک‌ها پس از یک استریل‌شدن ساده به واسطه نور خورشید، به طور مجدد قابل استفاده باشند.

استفاده از گرافن در طراحی ماسک‌های محافظ COVID نه تنها در مقالات علمی گزارش شده‌است، بلکه شرکت‌ها نیز علاقه‌مند به استفاده از این نانومواد با ارزش در طراحی ماسک خودشان هستند. شرکتی

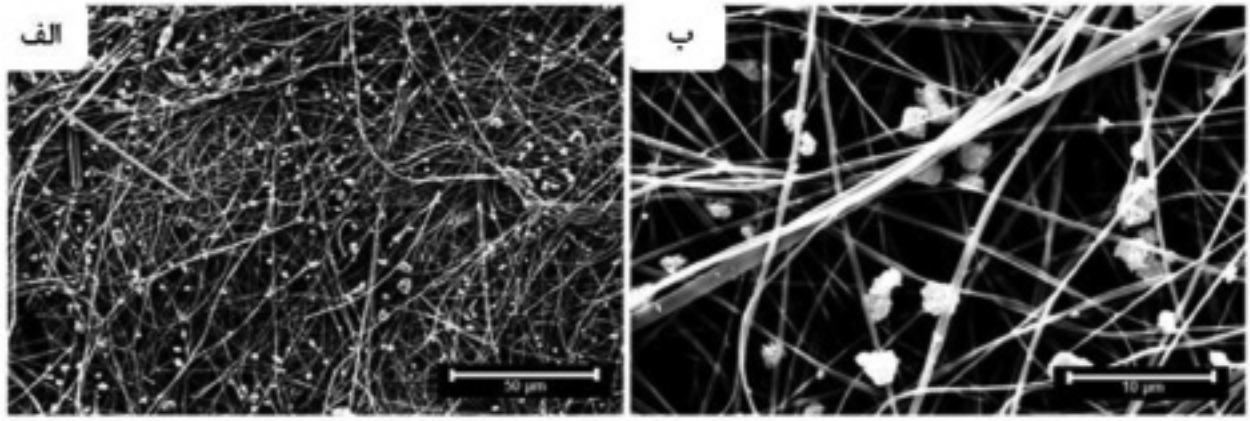


شکل ۸. تصویری از خط تولید مبتنی بر LIFT حالت دوگانه برای تولید رول به رول ماسک کت‌شده با گرافن.

مستقر در لندن به نام دایرکتا پلاس از لایه نازکی از گرافن برروی سطح پارچه استفاده‌کرده‌است. آنها ادعا کردند که محصول فعلی قابل شستشو است. بنابراین، می‌تواند به صورت مجدد مورد استفاده قرارگیرد که آن را دوستدار محیط زیست می‌کند. بعلاوه، آنها معتقدند که گرافن به دلیل خواص اکسیدکنندگی خود، خواص ضد باکتری دارد [۴۰].

ماسک‌های جراحی و رسپیراتورها از الیاف میکرومقیاس بی‌بافت ساخته می‌شوند. آلاینده‌های بزرگ‌تر از اندازه منفذ الیاف نمی‌توانند از آنها عبور کنند و یا در بعضی موارد، آلاینده‌ها به دلیل بار الکترواستاتیک به الیاف جذب می‌شوند. بنابراین، می‌توان با کاهش قطر متوسط الیاف نتیجه‌گیری کرد که هنگامیکه سطح مخصوص افزایش می‌یابد اندازه منافذ کاهش خواهد یافت. این پدیده کارایی انسداد مت‌های بی‌بافت الیاف را افزایش می‌دهد. اکنون مدتی است که محققان ماسک‌های مبتنی بر نانوالیاف را با خواص برتر ثبت اختراع می‌کنند [۴۱، ۴۲]. همچنین، ماسک‌های صورت مبتنی بر نانوالیاف دوستدار محیط‌زیست هستند (زیست تخریب پذیری و قابلیت استفاده مجدد)، که باعث جذابیت بیشتر آنها در پاندمیک فعلی COVID-19 می‌شود. اخیراً اولاه و همکاران [۴۳] قابلیت استفاده مجدد ماسک‌های نانوالیاف را مورد بررسی قرارداده‌اند. ماسک‌های نانوالیاف و جراحی با پاشش و یا غوطه‌وری در محلول اتانول ۷۵٪ ضدعفونی شدند و سپس اجازه داده‌شد تا در دمای محیط خشک شوند. نتایج نشان‌داد که کاهش قابل توجهی در کارایی فیلتراسیون ماسک‌های جراحی وجود دارد، در حالیکه این فاکتور برای ماسک‌های نانوالیاف پایدار است. جنبه محیط زیستی دیگر ماسک‌های نانوالیاف، قابلیت زیست‌تخریب‌پذیری بالاتر آنها به دلیل سطح مخصوص بالا است. بنابراین، ماسکهای تولیدشده از نانوالیاف ذاتاً می‌توانند سریعتر تخریب شده و مسائل محیط زیستی کمتری را ایجاد کنند.

محمد و همکاران [۴۴] برای تولید وب‌های نانولیفی PVA/PVP زیست تخریب پذیر، یک روش الکتروریسی جدید دو حبابه به منظور فیلتراسیون موثر هوا ایجاد کرده‌اند. آلمیدا و همکاران [۴۵] نانوالیاف استات سلولز (CA)/استیل پیریدینیم برمید (CPB) زیست تخریب‌پذیر ساختند. نتایج این مطالعه نشان داده‌است که نانوالیاف می‌توانند ذرات کوچکتر از ۳۰۰ نانومتر با راندمان بالا را در مقایسه با ماسک‌های صورت تجاری مسدود کند. شکل ۹ نشان داده‌است که چگونه نانوالیاف آلاینده‌های ریز را مسدود



شکل ۹. تصاویر SEM از ذرات ریز مسدود شده توسط نانوالیاف CA/CPB با بزرگنمایی‌های زوم‌شده (الف) x ۲۰۰۰ و (ب) x ۱۰،۰۰۰ [۴۵]

کرده‌است. علاوه بر انسداد فیزیکی آئروسل‌های هوایی، می‌توان نانوالیاف را برای جذب ذرات باردارشده از طریق سازوکار جذب الکتریکی طراحی کرد [۴۶].

پلی‌وینیلیدن‌فلوراید یک فلوئوروپلیمر ترموپلاستیک غیر واکنشی است که دارای خاصیت پیزوالکتریک قابل توجهی است. محققان از این پلیمر برای اولترافیلتراسیون، میکروفیلتراسیون و تقطیر غشایی به دلیل آبگریزی، مقاومت حرارتی و شیمیایی بالا و خواص مکانیکی عالی آن استفاده کرده‌اند. آکدمن [۴۷] نانوالیاف استات سلولز (CA)/ پلی‌وینیلیدن‌فلوراید (PVDF) را به عنوان یک نامزد بالقوه برای فیلتر ماسک N95 ساخت. نتایج آنها نشان داده‌است که منسوجات بی‌بافت ساخته‌شده می‌توانند تمام استانداردهای انستیتوی ملی سلامت و ایمنی کار را برآورده کنند و ذرات بزرگتر از ۳۰۰ نانومتر را بیش از ۹۵٪ مسدود کنند.

لیانگ و همکاران [۲] سیستم فعلی نانوالیاف را برای فیلترکردن ذرات COVID-19 منتقل‌شده در هوا ایجاد کردند. این محققان معتقدند که یک فیلتر چهارلایه نانوالیاف می‌تواند ۹۰٪ از ذرات COVID-19 با ابعاد ۱۰۰ نانومتر را مسدود کند. از طرف دیگر، نوئل و همکاران [۴۸] از روش ریسندگی دمش محلول (SBS) برای تهیه ماسک‌های فیلتر چندلایه کامپوزیتی استفاده کردند. آنها سه نوع پارچه نانولیفی مختلف دی‌استات سلولز (CDA)، پلی اکریلونیتریل (PAN) و PVDF تهیه کردند. نتایج کار آنها بیانگر این است که وجود ویژگی‌های مولکول‌های مختلف در نانوالیاف الکتروریسی‌شده اثر قابل توجهی بر عملکرد فیلتراسیون دارند، به طوریکه نانوالیاف PAN بهترین عملکرد فیلتراسیون با فاکتور کیفیت و نفوذپذیری خوب هوا (۰/۰۵ Pa-1) را دارد، درحالیکه در میان نانوالیاف مطالعه‌شده، کیفیت فیلتر کردن هوا PVDF با فاکتور کیفیت ۰،۰۲ Pa-1 کمترین بوده‌است.

در تحقیقات اخیر، لی و همکاران [۴۹] فیلترهای غشایی با عملکرد بالا از نانوالیاف پلی‌بنزیمیدازول (PBA) را تولیدکردند که می‌تواند برای ماسک‌های ضد گرد و غبار یا سایر فیلترهای هوایی استفاده شود. آنها نشان دادند که غشای نانوالیاف فیلتر PBI، در مقایسه با ماسک صورت تجاری، با پایین‌ترین افت فشار (۱۳۰ Pa)، به بازده فیلتراسیون بالا (۹۸،۵٪~) رسیده‌است.

همچنین، نازک و همکاران [۵۰] با استفاده از اچینگ هیدروکسیدهای پتاسیم (KOH)، یک قالب نانومتخلخل مبتنی بر Si انعطاف‌پذیر را با استفاده از فناوری سیلیکون بر روی عایق (SOI) بهبود بخشیدند، به طوریکه قالب مدنظر به عنوان ماسکی سخت از طریق فرآیند اچینگ یونی واکنش پذیر برای انتقال الگو بر روی یک غشای پلیمری سبک وزن (<g۰،۱۲) و انعطاف پذیر استفاده شده‌است. غشای انعطاف‌پذیر ممکن است بر روی ماسک N95 به منظور افزایش کارایی فیلتراسیون در برابر ذرات زیر ۳۰۰ نانومتر، از جمله COVID-19، استفاده گردد.

نتیجه‌گیری

پس از شیوع کرونا ویروس در جهان، اطلاعات متناقض بسیاری در شبکه‌های اجتماعی به اشتراک گذاشته‌شد. به‌طورکلی، بیشتر این شایعات در این مورد بوده‌است که چگونه ما می‌توانیم از خود در برابر COVID-19 محافظت کنیم. از آنجا که به‌دست‌آوردن اطلاعات معتبر می‌تواند چالش برانگیز باشد، ما سعی کردیم اهمیت ماسک‌های پوششی را در کاهش گسترش ویروس فعلی COVID-19 بررسی کنیم. ماسک‌های صورت و رسپیراتورها می‌توانند با کنترل منبع در بیماران آلوده و انسداد و جلوگیری از قطرات در افراد سالم، نرخ عفونت را کاهش دهند. دو تحقیق در هونگ کنگ و ایالات متحده نشان‌داد که استفاده اجباری از ماسک صورت تعداد موارد تاییدشده را کاهش‌داده‌است. بنابراین، بسیاری از کشورها استفاده اجباری از ماسک صورت را در مکان‌های عمومی تصویب کرده‌اند. این تصمیم صنعت ماسک را با تقاضای ۸۹ میلیون ماسک در ماه تحت فشار قرار داد. در اینجا سوال مطرح‌شده این است که در صنعت ماسک در جهان پس از کرونا چه اتفاقی خواهد افتاد؟ پاسخ این است که ماسک‌های صورت بخشی از زندگی شخصی ما می‌شوند، مانند مسواک، شانه و حوله. اگر از ماسک‌های جراحی یکبار مصرف استفاده کنیم، ماسک‌های صورت را به عنوان زباله رایج در خیابان‌ها، خانه‌ها، محل‌های کار و محیط طبیعی پیدا خواهیم کرد. این چیزی نیست که ما به‌دنبال آن هستیم. بنابراین، ما باید راهی برای تولید ماسک‌هایی با خواص برتر که به صورت مجدد

قابل استفاده باشند، پیدا کنیم. فناوری نانو با معرفی ماسک‌های با قابلیت استفاده مجدد و زیست تخریب‌پذیر، این مشکل را برطرف-کرده‌است. ما اعتقاد داریم که این بررسی کمک قابل‌توجهی به صنعت ماسک و نساجی برای تولید ماسک‌های صورت با قابلیت اطمینان بیشتر برای محافظت از افراد در برابر کرونا ویروس می‌کند.

منابع و مراجع

1. Wu. D.. Wu. T.. Liu. Q.. and Yang. Z.. The SARS-CoV-2 outbreak: what we know. International Journal of Infectious Diseases. 94. 44-48. 2020.
2. Leung. W..W..F.. and Q. Sun.. Electrostatic charged nanofiber filter for filtering airborne novel coronavirus (COVID-19) and nano-aerosols. Separation and Purification Technology. 250. 116886. 2020.
3. Le. T..T.. Andreadakis. Z.. Kumar. A.. Román. R..G.. Tollefsen. S.. Saville. M.. and Mayhew. S.. The COVID-19 vaccine development landscape. Nat Rev Drug Discov. 19.5. 305-306. 2020.
4. Liang. T.. Handbook of COVID-19 prevention and treatment. The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine. Compiled According to Clinical Experience. China. 68. 2020.
5. Singhal. T.. A review of coronavirus disease-2019 (COVID-19). The Indian Journal of Pediatrics. 87.4. 281-286. 2020.
6. Cook. T..M.. Personal protective equipment during the coronavirus disease (COVID) 2019 pandemic–a narrative review. Anaesthesia. 75.7. 920-927. 2020.
7. Lockhart. S..L.. Duggan. L..V.. Wax. R..S.. Saad. S.. and Grocott. H..P.. Personal protective equipment (PPE) for both anesthesiologists and other airway managers: principles and practice during the COVID-19 pandemic. Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie. 67.8. 1005 1015. 2020.
8. Cheng. K..K.. Lam. T..H.. and Leung. C..C.. Wearing face masks in the community during the COVID-19 pandemic: altruism and solidarity. The Lancet. 2020..
9. Adhikari. U.. Chabrelie. A.. Weir. M.. Boehnke. K.. McKenzie. E.. Ikner. L.. Wang. M.. Wang. Q.. Young. K.. N. Haas. C.. Rose. J.. and Mitchell. J.. A Case Study Evaluating the Risk of Infection from Middle Eastern Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) in a Hospital Setting Through Bioaerosols. Risk Analysis. 39.12. 2608-2624. 2019.
10. Kampf. G.. Scheithauer. S.. Lemmen. S.. Saliou. P.. and Suchomel. M.. COVID-19-associated shortage of alcohol-based hand rubs, face masks, medical gloves and gowns–proposal for a risk-adapted approach to ensure patient and healthcare worker safety. Journal of Hospital Infection. 105.3. 424-427. 2020.
11. Cheng. V..C..C.. Wong. S..C.. Chuang. V..W..M.. So. S..Y..C.. Chen. J..H..K.. Sridhar. S.. To. K..K..W.. Chan. J..F..W.. Hung. I..F..N.. Ho. P..L.. and Yuen. K..Y.. The role of community-wide wearing of face mask for control of coronavirus disease 2019 (COVID-19) epidemic due to SARS-CoV-2. Journal of Infection. 81.1. 107-114. 2020.
12. Davies. A.. Thompson. K..A.. Giri. K.. Kafatos. G.. Walker. J.. and Bennett. A.. Testing the Efficacy of Homemade Masks: Would They Protect in an Influenza Pandemic? Disaster Medicine and Public Health Preparedness. 7.4. 413-418. 2013.
13. Considerations for Wearing Cloth Face Coverings. Centers for Disease Control and Prevention (CDC).. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/prevent-getting-sick/cloth-face-cover-guidance.html. (Last Updated 16 July 2020).
14. Zhang. R.. Li. Y.. Zhang. A..L.. Wang. Y.. and Molina. M..J.. Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. Proceedings of the National Academy of Sciences. 117.26. 14857-14863. 2020.
15. Lockerd Maragakis. L.. Coronavirus Face Masks & Protection FAQs. Johns Hopkins Medicine: Health.. https://www.hopkinsmedicine.org/health/conditions-and-diseases/coronavirus/coronavirus-face-masks-what-you-need-to-know. (Last Updated 29 January 2021).
16. World Health Organization. Advice on the use of masks in the context of COVID-19: interim guidance, 5 June 2020. World Health Organization. 1-16. 2020.
17. N95 Respirators, Surgical Masks, and Face Masks. https://www.fda.gov/medical-devices/personal-protective-equipment-infection-control/n95-respirators-surgical-masks-and-face-masks. (12/07/2020)
18. Murphy. J..H.. Personal protective equipment during the COVID-19 pandemic: a comment. Anaesthesia. 75.8. 1121-

1121. 2020.
19. Sharma. H..B.. Vanapalli. K..R.. Cheela. V..S.. Ranjan. V..P.. Jaglan. A..K.. Dubey. B.. Goel. S.. and Bhattacharya. J.. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. Resources, Conservation and Recycling. 162. 105052. 2020.
20. Abu-Qdais. H..A.. Al-Ghazo. M..A.., and Al-Ghazo. E..M.. Statistical analysis and characteristics of hospital medical waste under novel Coronavirus outbreak. Global Journal of Environmental Science and Management. 6. 21-30. 2020.
21. Silva. A..L..P..Prata. J..C.. Walker. T..R.. Campos. D..Duarte. A..C.. Soares. A..M.V.M.. Barcelò. D.. and Rocha-Santos. T.. Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: Policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. Science of the Total Environment. 742. 140565. 2020.
22. Browne. M..A.. Dissanayake. A.. Galloway. T..S.. Lowe. D..M.. and Thompson. R..C.. Ingested Microscopic Plastic Translocates to the Circulatory System of the Mussel, Mytilus edulis (L.). Environmental Science & Technology. 42.13. 5026-5031. 2008.
23. Cole. M.. Göncü. A.. and Vadeboncoeur. J..A.. Structuring social futures: The possibilities, The challenges. Taylor & Francis. 1-3. 2014.
24. Galloway. T..S.. Cole. M.. and Lewis. C.. Interactions of microplastic debris throughout the marine ecosystem. Nature Ecology & Evolution. 1.5. 1-8. 2017.
25. Fadare. O..O.. and Okoffo. E..D.. Covid-19 face masks: A potential source of microplastic fibers in the environment. The Science of the total environment. 737. 140279. 2020..
26. Celina. M..C.. Martinez. E.. Omana. M.. A.. Sanchez. A.. Wiemann. D.. Tezak. M.. and Dargaville. T..R.. Extended use of face masks during the COVID-19 pandemic-Thermal conditioning and spray-on surface disinfection. Polymer Degradation and Stability. 179. 109251. 2020.
27. Ma. Q..X.. Shan. H.. Zhang. C..M.. Zhang. H..L.. Li. G..M.. Yang. R..M.. and Chen. J..M.. Decontamination of face masks with steam for mask reuse in fighting the pandemic COVID-19: experimental supports. Journal of Medical Virology. 92.10. 1971-1974. 2020.
28. Boškoski. I.. Gallo. C.. Wallace. M..B.. and Costamagna. G.. COVID-19 pandemic and personal protective equipment shortage: protective efficacy comparing masks and scientific methods for respirator reuse. Gastrointestinal Endoscopy. 92.3. 519-523. 2020.
29. Lindsley. W..G.. Martin Jr. S..B.. Thewlis. R..E.. Sarkisian. K.. Nwoko. J..O.. Mead. K..R.. and Noti. J..D.. Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. Journal of occupational and environmental hygiene. 12.8. 509-517. 2015.
30. Mills. D.. Harnish. D..A.. Lawrence. C.. Sandoval-Powers. M.. and Heimbuch. B..K.. Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. American Journal of Infection Control. 46.7. e49-e55. 2018.
31. Hamzavi. I..H.. Lyons. A..B.. Kohli. I.. Narla. S.. Parks-Miller. A.. Gelfand. J..M.. MSCE.. Lim. H..W.. and Ozog. D..M.. Ultraviolet germicidal irradiation: possible method for respirator disinfection to facilitate reuse during COVID-19 pandemic. Journal of the American Academy of Dermatology. 82.6. 1511-1512. 2020.
32. Leung. N..H.. Chu. D..K.. Shiu. E..Y.. Chan. K..H.. McDevitt. J..J.. Hau. B..J.. Yen. H..L.. Li. Y.. Ip. D..K..M.. Peiris. J..S..M.. Seto. W..H.. Leung. G..M.. Milton. D..K.. and Cowling. B..J.. Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. Nature Medicine. 26.5. 676-680. 2020.
33. Mandal. A.. and Das. K.. COVID-19 Pandemic: Is Cloth Mask Really Protect Public from SARS-CoV-2?(The way of handling to get Results). International Journal of Innovative Science and Research Technology. 2020.
34. van der Sande. M..P.. Teunis. P.. and Sabel. R.. Professional and home-made face masks reduce exposure to respiratory infections among the general population. PloS one. 3.7. e2618. 2008.
35. Clase. C..M.. Fu. E..L.. Joseph. M.. Beale. R..C.. Dolovich. M..B.. Jardine. M.. Mann. J..F..E.. Pecoits-Filho. R.. Winkelmayer. W..C.. and Carrero. J..J.. Cloth Masks May Prevent Transmission of COVID-19: An Evidence-Based, Risk-Based Approach. 489-491. 2020.
36. Lustig. S..R.. Biswakarma. J..J.. Rana. D.. Tilford. S..H.. Hu. W.. Su. M.. and Rosenblatt. M..S.. Effectiveness of common fabrics to block aqueous aerosols of virus-like nanoparticles. ACS nano. 14.6. 7651-7658. 2020.
37. Zhao. M.. Liao. L.. Xiao. W.. Yu. X.. Wang. H.. Wang. Q.. Lin. Y..L.. Kilinc-Balci. F..S.. Price. A.. Chu. L.. C.Chu. M.. Chu. S.. and Cui. Y.. Household materials selection for

homemade cloth face coverings and their filtration efficiency enhancement with triboelectric charging. Nano Letters. 20.7. 5544-5552. 2020.

38. Konda. A.. Prakash. A.. Moss. G..A.. Schmoldt. M.. Grant. G..D.. and Guha. S.. Aerosol Filtration Efficiency of Common Fabrics Used in Respiratory Cloth Masks. ACS Nano. 14.5. 6339-6347. 2020.
39. Zhong. H.. Zhu. Z.. Lin. J.. Cheung. C..F.. Lu. V..L.. Yan. F.. Chan. C..Y.. and Li. G.. Reusable and recyclable graphene masks with outstanding superhydrophobic and photothermal performances. ACS nano. 14.5. 6213-6221. 2020.
40. Lea. R.. Graphene-Based Masks Launched to Combat COVID-19. https://www.azonano.com/news.aspx?newsID=37431. (Last updated 9 Jul 2020).
41. Conlon. M.. A facemask having one or more nanofiber layers. US Patent No. 2013/0284069 A1. 2016.
42. Chen. F..J.. Huang. L.. and Lindsay. J..D.. Composite nanofiber materials and methods for making same. US Patent No. 7390760. 2008.
43. Ullah. S.. Ullah. A.. Lee. J.. Jeong. Y.. Hashmi. M.. Zhu. C.. Joo. K.. Cha H..J.. and Kim. I..S.. Reusability Comparison of Melt-Blown vs Nanofiber Face Mask Filters for Use in the Coronavirus Pandemic. ACS Applied Nano Materials. 7.3. 7231-7241. 2020.
44. Ali. M.. Ain. Q..T.. and HuanHe. J.. Branched nanofibers for biodegradable facemasks by double bubble electrospinning. Acta Chemica Malaysia. 4.2. 40-44. 2020.
45. de Almeida. D..S.. Martins. L..D.. Muniz. E..C.. Rudke. A..P.. Squizzato. R.. Beal. A.. de Souza. P..R.. Bonfim. D..P..F.. Aguiar. M..L.. and Gimenes. M..L.. Biodegradable CA/CPB electrospun nanofibers for efficient retention of airborne nanoparticles. Process Safety and Environmental Protection. 144. 177-185. 2020.
46. Sun. Q.. and Leung. W..W..F.. Charged PVDF multi-layer filters with enhanced filtration performance for filtering nano-aerosols. Separation and Purification Technology. 212. 854-876. 2019.
47. Akduman. C.. Cellulose acetate and polyvinylidene fluoride nanofiber mats for N95 respirators. Journal of Industrial Textiles. 1528083719858760. 2019.
48. Tan. N..P..B.. Paclijan. S..S.. Ali. H..N..M.. Hallazgo. C..M.. J..S.. Lopez. C..J..F.. Ebora. Y..C.. Solution blow spinning (SBS) nanofibers forcomposite air filter masks. ACS Appl. Nano Mater. 2.4. 2475–2483. 2019.
49. Lee. S.. Cho. A..R.. Park. D.. Kim. J..K.. Han. K..S.. Yoon. I..-J.. Lee. M..H.. Nah. J.. Reusable polybenzimidazole nanofiber membranefilter for highly breathable PM2. 5 dust proof mask. ACS Appl. Mater. Interfaces. 11, 2750–2757. 2019.
50. El-Atab. N.. Qaiser. N.. Badghaish. H..S.. Shaikh. S..F.. Hussain. M..M.. A Flexible Nanoporous Template for the Design andDevelopment of Reusable Anti-COVID-19 Hydrophobic Face Masks. ACS Nano. 14. 7659–7665. 2020.