

دانش آزمایشگاهی ایران

سال نهم ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰ ■ شماره پیاپی ۳۶

ISSN 2538-3450



استانداردها، آزمون‌های ارزیابی کیفیت انواع ماسک مورد استفاده در شیوع ویروس کرونا و ...



بیماری‌های شایع میگوهای پرورشی و روش‌های تشخیص آزمایشگاهی



مطالعات ژنتیک در کاوش‌های باستانی (ژئوآرکئولوژی)



ارزیابی منابع عدم قطعیت در تعیین دمای نرمی ویکات پلاستیک‌های گرمانرم



پیش‌بینی مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ‌های آهکی با استفاده از شبکه عصبی و سیستم انطباقی منطق فازی

مقایسه میکروسکوپ نیروی اتمی با برخی از روش‌های رایج در اندازه‌گیری زبری سطح

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی و تسهیل توسعه پژوهش در کشور

باشگاه مشتریان شبکه آزمایشگاهی و تسهیل توسعه پژوهش در کشور

نویسندگان

محمدرضا نژادمقدم^۱ و^{۲*}
سیده آزاده حسینی اولم^۳
سمیرا رشوند هرانکی^۴

*mrnejadmoghaddam@gmail.com

واژه‌های کلیدی

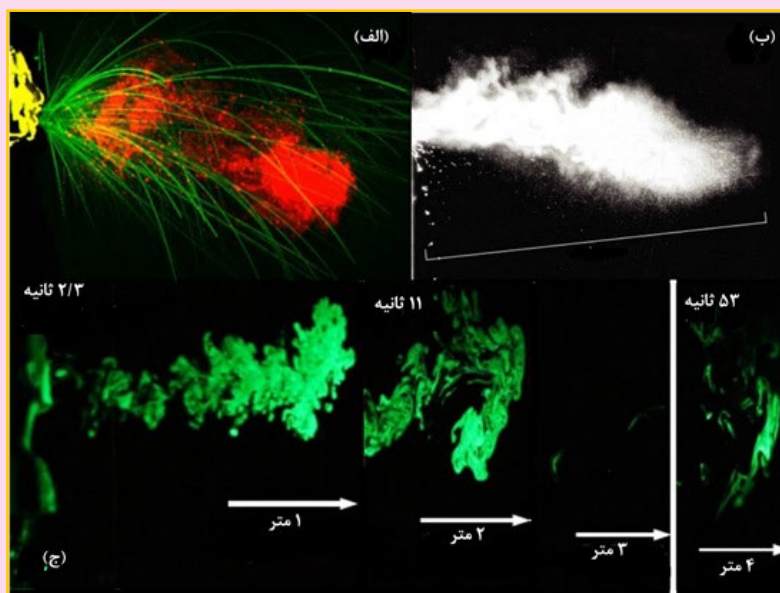
ویروس کرونا، کووید ۱۹، ماسک صورت، فیلتراسیون، آلودگی زدایی و استفاده مجدد.

استانداردها، آزمون‌های ارزیابی کیفیت انواع ماسک مورد استفاده در شیوع کرونا و بیماری‌های تنفسی و روش‌های آلودگی زدایی برای استفاده مجدد آنها

چکیده

سارس و ویروس کرونا سندرم حاد تنفسی، عامل بیماری ویروس کرونا ۲۰۱۹ با وسعت شیوع جهانی بوده که در یک قرن اخیر بی سابقه است. این ویروس در طی دو سال اخیر حداقل هفت جهش منجر به افزایش حدت بیماری‌زایی یا سرایت شامل: آلفا^۱، بتا^۲، گاما^۳، اتا^۴، دلتا^۵، لامبدا^۶ و سویه اخیر اومیکرون^۷ داشته است. شواهد حاکی از آن است که همچنان بشر برای مقابله تا ریشه‌کنی کامل این بیماری، راه درازی پیش‌رو دارد. شواهد علمی زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد قطرات تنفسی و آئروسول‌ها، رایج‌ترین راه انتقال این ویروس کرونا است. از آنجا که این ویروس می‌تواند توسط افراد بدون علائم هم منتقل شود، استفاده عمومی از ماسک به‌عنوان یک راه حل ساده و کم هزینه برای کاهش انتقال این ویروس توصیه شده است. نقش ماسک در کاهش سرعت شیوع بیماری تنفسی اخیر، آنچنان مبرهن است که انتظار می‌رود نظام بهداشت و سلامت کشورها، تلاش خود را برای بهره‌برداری از این تجربه به یک توصیه پزشکی و فرهنگ عمومی برای پیشگیری از شیوع هر نوع بیماری تنفسی به کار بندند. در حال حاضر بسیاری از دولت‌ها و سازمان‌های بهداشت عمومی در سراسر جهان، استفاده از ماسک در محیط‌های عمومی را ترویج کرده‌اند؛ به ویژه در شرایطی که فاصله‌گذاری اجتماعی امکان‌پذیر نباشد، استفاده از آن را الزامی اعلام می‌کنند. با این حال، استاندارد و تعیین دقیق میزان کارایی انواع ماسک‌ها همچنان به‌عنوان چالشی بزرگ مطرح است. این مقاله تا حدودی این چالش را از سه جنبه پوشش می‌دهد: استانداردهای ارزیابی کیفیت انواع ماسک‌های صورت موجود و اساس سازوکار فیلتراسیون آنها، روش‌های کمی حاضر برای تعیین کیفیت ماسک و کارایی در فیلتراسیون ذرات و در نهایت، روش‌های آلودگی زدایی ماسک‌های یکبار مصرف موجود برای استفاده مجدد آنها.

سارس و ویروس کرونا سندرم حاد تنفسی دو^{۱۳}، عامل بیماری ویروس کرونا ۲۰۱۹ (کووید-۱۹)^{۱۴} است که باعث بیماری با همه‌گیری به وسعت جهانی (پاندمی) شده‌است. طبق آمار سازمان جهانی بهداشت^{۱۵} این همه‌گیری تا ۲۳ بهمن ۱۴۰۰ بیش از ۴۰۰ میلیون نفر را در سراسر جهان مبتلا کرده و موجب مرگ بیش از پنج میلیون نفر شده‌است [۱]. براساس گزارش‌های وزارت بهداشت ایران، تا کنون بیش از ۶ میلیون و ۱۷۳ هزار نفر به ویروس کرونا مبتلا شده‌اند و از این تعداد ۱۳۱ هزار و ۱۲۴ نفر جان خود را از دست داده‌اند. جمع‌بندی همه گزارش‌های منتشر شده حاکی است که انتقال SARS-CoV-2 در هوا و گسترش سریع کووید-۱۹ از طریق قطرات تنفسی^{۱۶} و آئروسول‌ها^{۱۷} صورت می‌پذیرد [۲-۹]. قطرات تنفسی که اندازه به نسبت بزرگی در حدود ۱۰ تا ۵ میکرومتر دارند، هنگام سرفه یا عطسه فرد آلوده به ویروس، منتشر می‌شود (شکل (۱-الف)) [۳]. در عوض، آئروسول‌ها هسته قطرات تنفسی هستند که پس از تبخیر ایجاد می‌شوند و به‌طور معمول اندازه آنها کوچک‌تر از ۵ میکرومتر است [۱۰]. ذرات ویروس در قطرات تنفسی و آئروسول‌های بازدم افراد مبتلا، یافت می‌شود؛ گزارش شده است که ذرات ویروس، قابلیت اتصال به آئروسول‌های قابل استنشاق در جو را هم دارند [۹ و ۱۱]. قطرات تنفسی و ذرات معلق هوا که در هنگام عطسه یا سرفه دفع می‌شوند، می‌توانند حدود ۴ تا ۸ متر حرکت کنند (شکل‌های (۱-ب) و (۱-ج)) [۳]. بر این اساس دستورالعمل حفظ فاصله اجتماعی حدود ۲ متری (۱/۸ متر) توصیه شده از سوی مرکز کنترل و پیشگیری بیماری‌ها آمریکا^{۱۸} از همین واقعیت نشأت گرفته است. آئروسول‌ها به دلیل اندازه کوچک و در نتیجه تاثیر ناچیز گرانشی، معمولاً به مدت طولانی‌تری در هوا معلق می‌مانند و تهدیدی مضاعف برای انتقال و سرایت از راه هوا تلقی می‌شوند؛ به ویژه در محیط‌های بسته که تهویه ضعیف دارند. با توجه به گزارش‌های مبنی بر انتشار کووید-۱۹ توسط افراد بدون علائم بیماری، استفاده از ماسک صورت به‌طور عمومی به‌عنوان وسیله‌ای کم هزینه و کارآمد برای کاهش انتقال ویروس توصیه شده‌است. با این حال، تأثیر استفاده از ماسک هنوز مورد بحث است و رعایت استفاده از آن در برخی مناطق چندان که باید مورد توجه قرار نمی‌گیرد. همچنین سیاست‌گذاران دولت‌ها و سازمان‌های ذی‌ربط، دستورالعمل‌های متناقضی در مورد استفاده از ماسک ارائه کرده‌اند.



شکل (۱): (الف): قطرات تنفسی و آئروسول‌های دفع شده در هنگام عطسه یا سرفه. (الف): تشکیل قطره با عطسه. قطرات بزرگ نیم میلی‌متری و نیمه بالستیک (سبزه) با گرانش ته‌نشین می‌شوند، در حالی که ابر چند فازی شامل آئروسول‌های کوچک (قرمز) در مسافت بیشتری پخش می‌شود. (ب): تصویری از ابرهای متلاطم گازی چند فازی که با عطسه انسان تشکیل شده‌است، این تصویر نشان می‌دهد خوشه‌های قطرات / آئروسول‌ها تا فاصله ۷-۸ متری پرتاب می‌شوند. (ج): مسیر وابسته به زمان از یک جت سرفه سنگین و بدون پوشش شبیه‌سازی شده، این جت از قطرات بخار و آئروسول‌ها تشکیل شده که با لیزر سبز رنگ قابل رویت شده‌اند. این جت در عرض ۵۳ ثانیه تا مسافت نزدیک به ۴ متر حرکت کرده است [۳].

شیوع کووید-۱۹ توسط شبیه‌سازی‌ها و مدل‌های ریاضی نیز پیش‌بینی شده‌است [۱۵]. این مقاله اطلاعات ماسک‌های صورت موجود در بازار، فیلترهای مورد استفاده^{۲۱} و میزان کارایی آنها در کاهش شیوع کووید-۱۹ را بررسی می‌کند.

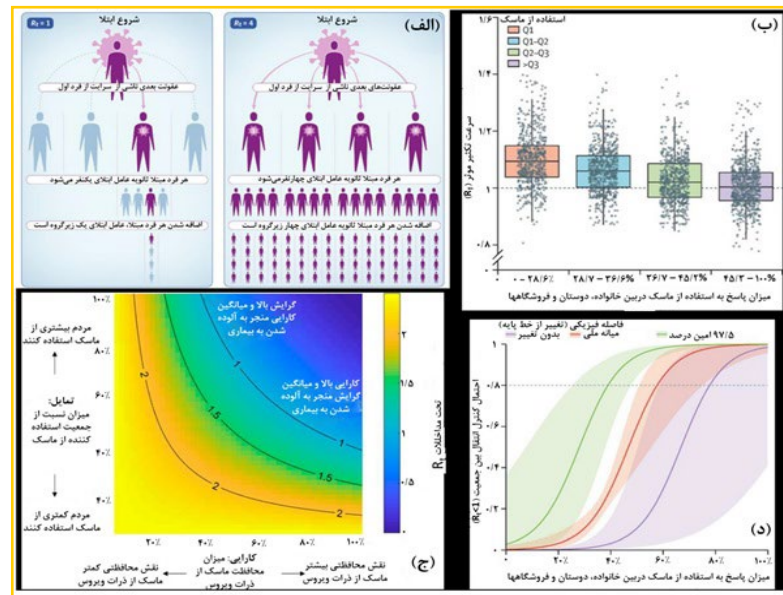
مطالعات آماری و همه‌گیرشناسی^{۲۲} مرتبط با کارایی محافظتی ماسک صورت در برابر کووید-۱۹

چند مطالعه هدفمند مرتبط با تأثیر ماسک‌های صورت و دیگر مداخلات فیزیکی در جلوگیری از شیوع ویروس‌های تنفسی انجام گرفته که همه آنها به قبل از شیوع کووید-۱۹ و به‌صورت اختصاصی به آنفلانزا برمی‌گردد [۱۶ تا ۱۹]. هر چند نتایج این مطالعات حاکی از تأثیر مثبت استفاده از ماسک بر جلوگیری از انتشار آنفلانزا و دیگر ویروس‌های تنفسی است، ولی در تعمیم نتایج این مطالعات به کووید-۱۹ تردید وجود دارد. در حال حاضر انجام کارآزمایی‌های تصادفی، حتی کنترل شده، به لحاظ ملاحظات در معرض خطر قرار گرفتن نمونه‌های آزمون و نگرانی‌های اخلاقی مرتبط به آن، کمتر انجام شده‌اند. لذا قبل از انجام چنین مطالعاتی به بررسی خطر آن با استفاده از منابع، شواهد و اطلاعات بیشتر نیازمندیم. بنابراین، مطالعات در مقیاس کوچک، شواهدی را ارائه می‌کنند که نشان می‌دهد ماسک زدن به کاهش انتقال کووید-۱۹ در جامعه کمک می‌کند. در یکی از این مطالعات گزارش شده‌است افرادی که به هنگام تماس با افراد مبتلا به کووید-۱۹ از ماسک استفاده کرده‌اند، بیش از ۷۰ درصد کمتر از افرادی که هرگز از ماسک استفاده نمی‌کردند، به بیماری دچار می‌شوند [۲۰]. همچنین مطالعه دیگری که در ۳۴ منطقه بهداشت انتاریو در کانادا صورت گرفت، نشان داد که در چند هفته اول پس از به کارگیری دستور ماسک، تعداد سرایت‌های SARS-CoV-2 تازه تشخیص داده شده به‌طور هفتگی، ۲۵ تا ۳۱ درصد کاهش یافت [۲۱].

در مطالعات همه‌گیرشناسی، سرعت و شدت انتشار ویروس با کمیت تعداد تکثیر موثر ویروس^{۲۳} اندازه‌گیری می‌شود. این کمیت، میانگین تعداد موارد مسری ثانویه ناشی از یک مورد مسری اولیه با اعمال همه سیاست‌ها، مقررات و الزامات است (شکل (۲-الف)) [۲۱]. تعداد تکثیر اولیه (R_0)، برای کووید-۱۹ بدون رعایت هیچ یک از موارد بالا، در محدوده ۴/۲-۳/۹ تخمین زده می‌شود. هدف از اعمال سیاست‌ها، مقررات و الزامات محافظتی، کاهش میزان واحد R_t به کمتر از ۱ است. مطالعات نشان داد که استفاده از ماسک در سطح جامعه می‌تواند میزان R_t را به کمتر از ۱ کاهش دهد (شکل (۲-ب)). اما این تأثیر استفاده از ماسک بر کاهش R_t ، به پایبندی اکثریت جامعه به سیاست‌ها، مقررات و الزامات و همچنین به کارایی ماسک‌های مورد استفاده افراد جامعه بستگی دارد (شکل (۲-ج)). بنابراین، انتظار می‌رود که بهترین نتایج مهار انتقال کووید-۱۹ در جامعه، هم‌زمان با استفاده از ماسک مناسب و رعایت فاصله‌گذاری اجتماعی توسط اکثریت جامعه حاصل شود (شکل (۲-د)).

سازمان بهداشت جهانی در ۲۱ اسفند ۱۳۹۸، شیوع کووید-۱۹ را به‌عنوان یک بیماری همه‌گیر در دنیا اعلام کرد. در فروردین ۱۳۹۹ هم ادعا کرد که دلایل پزشکی کافی برای الزام استفاده از ماسک در سطح جهانی برای افراد سالم وجود ندارد و به مردم توصیه کرد از ماسک صورت استفاده نکنند مگر زمانی که سرفه یا عطسه می‌کنند و یا بیماری با علائم مشکوک به کووید-۱۹ را دارند. به نظر می‌رسد این اطلاع‌رسانی بخشی از تلاش جهانی برای جبران کمبود تجهیزات حفاظتی شخصی^{۱۹} در بین کارکنان بیمارستان و سیستم‌های بهداشت و سلامت بود. اگرچه مطالعات منتشر شده در مورد ارزیابی اثر استفاده ماسک توسط کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامت در جلوگیری از شیوع SARS-CoV-2 بسیار محدود است، اما استفاده مداوم از ماسک توسط کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامت شاغل در محیط‌های بالینی به‌طور گسترده‌ای مورد حمایت قرار می‌گیرد. سیاست‌گذاران، عموم مردم را به استفاده از ماسک‌های پارچه‌ای در محیط‌های عمومی، مانند خواربار فروشی‌ها (سوپرمارکت‌ها) و عبادتگاه‌ها، به ویژه در مناطقی که احتمال انتقال گسترده آنها مشهود یا مشکوک است، یا در شرایطی که رعایت حفظ فاصله فیزیکی امکان‌پذیر نیست، مورد تشویق قرار می‌دهند [۱۲]. از تیر ماه ۱۳۹۹، CDC توصیه کرد که همه آمریکایی‌ها در محیط‌های عمومی از ماسک استفاده کنند [۱۳]. این توصیه تا حدی بر پایه گزارشی بود که از یک آرایشگاه مو در میسوری^{۲۰} منتشر شد که نشان می‌داد استفاده از ماسک موثر است. به این ترتیب که در اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۹، دو آرایشگر نتایج آزمایش SARS-CoV-2 خود را مثبت دریافت کردند؛ در حالی که از زمان شروع علائم در مجموع با ۱۳۹ مشتری در تماس بوده‌اند. هر دو آرایشگر و همچنین ۱۳۹ مشتری آنها در حین حضور در سالن، از نوعی پوشش صورت استفاده می‌کردند و آرایشگران از یک پوشش پنبه‌ای دو لایه یا یک ماسک جراحی نیز استفاده می‌کردند. بلافاصله پس از مثبت اعلام شدن نتایج آزمون کووید ۱۹ دو آرایشگر، همه ۱۳۹ مشتری که در محدوده زمانی بین ۱۵ تا ۴۵ دقیقه در تماس با آنها بودند، طی دو هفته قرنطینه شدند و طی این مدت هیچ یک از این ۱۳۹ مراجعه کننده علائم کووید-۱۹ را از خود بروز ندادند.

علاوه بر این، جواب آزمایش کووید-۱۹ برای ۶۷ مشتری دیگر نیز منفی گزارش شد. جالب اینجاست که نوع ماسک صورت استفاده شده توسط ۱۳۹ مشتری متفاوت بود و تنها دو مشتری از ماسک N۹۵ استفاده کرده بودند. ۴۶ درصد آنها از ماسک‌های جراحی و ۴۷ درصد از ماسک‌های پارچه‌ای استفاده کرده بودند [۱۴]. در حقیقت این مشاهده نشان می‌دهد که استفاده مداوم و مناسب از پوشش‌های صورت می‌تواند در به حداقل رساندن انتقال علائم SARS-CoV-2 در تماس‌های نزدیک، مانند آرایشگاه کمک کند. در واقع، به نظر می‌رسد که سرعت انتقال کووید-۱۹ به‌طور کلی در کشورها و مناطقی که شهروندان عادت دارند و یا ملزم به استفاده از ماسک هستند، پایین‌تر است [۳]. ارتباط استفاده از ماسک و کاهش میزان



شکل (۲): تأثیر استفاده از ماسک بر میزان هم‌گیری و سرعت انتقال کووید-۱۹ با واحد تعداد تکثیر موثر (R_t) اندازه‌گیری می‌شود. (الف): نمایش R_t برای دو نمونه، به ترتیب $R_t=1$ و $R_t=4$ نمایش داده شده‌است. (ب): R_t با استفاده از ماسک کاهش می‌یابد. نقاط گراف بواسطه افزایش درصدی از چارک جامعه به استفاده از ماسک در بین خانواده، دوستان و فروشگاه‌ها تغییر می‌کنند. (ج): تأثیر استفاده از ماسک عمومی روی R_t از تعداد تکثیر اولیه $R_0=2/4$ منطقی‌آبی چیزی است که برای کند کردن شیوع کووید-۱۹ مورد نیاز است. هر خط سیاه نشان دهنده بیماری خاصی است که سطح انتقال آن با R_t نشان داده شده‌است. (د): فاصله‌گذاری اجتماعی و پوشیدن ماسک بیشترین تأثیر را در کاهش R_t دارد. خط نقطه چین افقی برای کنترل انتقال بیماری در جامعه در $R_t=0/8$ قرار گرفت [۳].

استانداردها و روش‌های آزمون کارایی انواع ماسک‌های صورت

استانداردها و تعاریف:

چهار نوع ماسک صورت موجود در بازار در شکل (۳) نشان داده شده‌است.



شکل (۳): تصاویر انواع ماسک‌های صورت. (الف): ماسک تنفسی الاستومری مجهز به فیلتر یا کارتریج قابل تعویض که برای استفاده مجدد طراحی شده‌است. (ب): ماسک فیلتردار معروف به ماسک N۹۵ یکبار مصرف. (ج): ماسک جراحی که به ماسک پزشکی و دندانپزشکی نیز شناخته می‌شود و یکبار مصرف است. (د): ماسک پارچه‌ای یا پوشش پارچه‌ای صورت با قابلیت شستشو و استفاده مجدد، هر چند که استاندارد برای چگونگی استفاده مجدد آن وجود ندارد [۲۲].

این ماسک‌ها شامل:

۱. ماسک‌های فیلتردار الاستومری^{۲۴} با قابلیت استفاده مجدد؛
۲. ماسک‌های فیلتردار معروف به N۹۵؛
۳. ماسک جراحی یکبار مصرف؛

۴. ماسک‌های پارچه‌ای که عموماً پس از شستشو، دوباره استفاده می‌شوند، هر چند هنوز استاندارد برای تعریف نشده‌است [۲۲]. ماسک‌های الاستومری به ندرت توسط عموم مردم یا کارکنان بهداشت استفاده می‌شوند چرا که برای استفاده مجدد نیازمند نگهداری و تهیه و تعویض قطعات هستند. بنابراین، بیشتر به ارائه اطلاعات در مورد ماسک‌های N۹۵، جراحی و پارچه‌ای بسنده کرده‌ایم. در جدول (۱)، خلاصه ویژگی، مزایا و معایب سه ماسک N۹۵، جراحی و پارچه‌ای ارائه شده‌است. به‌طور کلی، هر نوع ماسک صورت می‌تواند تا حدودی از انتشار قطرات تنفسی و آئروسول‌ها جلوگیری کند و یا سرعت انتشار ذرات را کاهش دهد (شکل (۴)).

جدول (۱): خلاصه طبقه‌بندی سه نوع ماسک [۳].

| انواع ماسک‌ها | ویژگی‌ها | مزایا | معایب |
|-------------------|--|--|--|
| ماسک N95 | <ul style="list-style-type: none"> فرد استفاده کننده را از آئروسول/قطرات محافظت می‌کند. چهار لایه‌ای است، به‌طور معمول از نخ ریسیده شده پلی پروپیلنی و مواد دیگر ساخته می‌شود. نیازمند به گواهی NIOSH^{۲۵} آمریکا و یا سازمان‌های مشابه مناطق دیگر. | <ul style="list-style-type: none"> محکم و متناسب با آناتومی صورت طراحی می‌شود. به‌گونه‌ای که مسیر عبور هوا از اطراف ماسک مسدود می‌شود. کارایی فیلتراسیون بالا (به‌عنوان مثال، کارایی فیلتراسیون (FE) ۹۵٪ ماسک N95 برای ذرات بزرگتر از ۳۰۰ nm تا ۹۵ درصد است). حداوی الکترت^{۲۷} است که با خاصیت الکترواستاتیک ذرات را فیلتر می‌کند. از کارکنان مراقبت‌های بهداشتی در معرض آئروسول تولیدی از بیماران مبتلا به کووید-۱۹ محافظت می‌نماید. | <ul style="list-style-type: none"> گران قیمت؛ عدم دسترسی آسان؛ یکبار مصرف اما قابل ضدعفونی و استفاده مجدد. |
| ماسک‌های جراحی | <ul style="list-style-type: none"> به جای محافظت فرد استفاده کننده، مانع از پخش آئروسول و قطرات از فرد استفاده کننده به محیط می‌شود؛ معمولاً از سه لایه پلی پروپیلن ذوب شده ساخته شده است؛ نیازی به تأیید مجدد FDA ندارد هر چند در بازار تنوع زیادی دارد. | <ul style="list-style-type: none"> حسب مدل ماسک می‌تواند مقاوم به گازهای شیمیایی و نفتی باشد؛ ممکن است سبب جذب و فیلتراسیون ذرات به طریق الکترواستاتیک شود؛ ارزان قیمت است؛ مقاوم در برابر شعله و مایعات؛ نقش محافظتی H1N1 آن نسبت به ماسک‌های N95 اختلاف معنی‌داری ندارد. | <ul style="list-style-type: none"> متناسب با آناتومی صورت نیست. بدین معنی که بین ماسک و صورت فرد راه عبور هوا باز است؛ یکبار مصرف؛ نامناسب برای محیط‌های پر خطر با میزان بالای تولیدات آئروسول. |
| ماسک‌های پارچه‌ای | <ul style="list-style-type: none"> از پارچه‌های مختلفی مثل پنبه، ابریشم، نایلون و غیره ساخته می‌شود. استاندارد و متمایزی مخصوصی برای آن از سازمان و آژانسی ارائه نشده است. | <ul style="list-style-type: none"> ارزان قیمت و تولیدش آسان است؛ قابل دسترس عموم به‌طور گسترده. قابل شستشو و استفاده مجدد، اما کارایی فیلتراسیون (FE) آن کاهش می‌یابد؛ بسته به نوع پارچه، ممکن است سبب جذب و فیلتراسیون ذرات به طریق الکترواستاتیک شود. | <ul style="list-style-type: none"> فاقد استاندارد در طراحی و مواد مورد استفاده است. کارایی فیلتراسیون آن کم است؛ متناسب آناتومی صورت نیست؛ برای کارکنان بهداشت مناسب نیست. |

داده است که اگرچه محافظ‌های صورت می‌توانند حرکت اولیه قطرات تنفسی را به جلو مسدود کنند، اما آئروسول‌های کوچکی می‌توانند از قسمت پایین و کناره‌های ماسک جریان یافته، در هوا معلق شده و حداقل تا ۱ متر پخش شوند [۲۵]. استفاده هم‌زمان محافظ‌های صورت^{۳۰} و ماسک در مقایسه با استفاده از ماسک به تنهایی، تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان محافظت از انتشار و انتقال ندارد [۲۴]. بنابراین، CDC استفاده از محافظ صورت یا عینک را به‌عنوان جایگزینی برای ماسک صورت توصیه نمی‌کند [۲۶]. هر دو ماسک N95 و جراحی از نظر تجاری در دسترس هستند و از تجهیزات پزشکی حفاظتی تنفسی گرید^{۳۱}، به شمار می‌روند که برای تولید و ارزیابی آنها استاندارد و کنترل کیفی‌های دقیقی در نظر گرفته شده است. بسیاری از کشورها استانداردهای خاص خود را دارند و قراردادهایی برای نامگذاری ماسک‌ها تعیین کرده‌اند. به‌طور کلی، کارایی ابزارهای پزشکی محافظ تنفسی به پتانسیل آنها در فیلتراسیون ذرات^{۳۲} و کیفیت قرارگیری روی صورت^{۳۳} بستگی دارد. PFE یا کارایی فیلتراسیون ذرات، معیاری است که بیان می‌کند یک ماسک تا چه حدی قادر است ذرات در محدوده اندازه معینی را جذب کند. این معیار به‌عنوان درصد ذرات پایین دست^{۳۴} بر ذرات بالادست^{۳۵} تعریف می‌شود.

بنابراین، مطلوب بودن یک ابزار RPE به میزان نشستی آن از اطراف صورت مرتبط است. ماسک‌های N95 متعلق به



شکل (۴): تأثیر ماسک‌های صورت بر مهار انتشار قطرات تنفسی و آئروسول‌ها. (الف): مسیر وابسته به زمان یک جت سرفه شبیه‌سازی شده^{۲۹}، از ماسک/مانع متشکل از یک دستمال پنبه‌ای تا شده. (ب): مسیر وابسته به زمان یک جت سرفه شبیه‌سازی شده، از ماسک پارچه‌ای دست‌ساز دو لایه (پارچه‌ای که در هر فاصله ۲/۵ سانتی‌متری خود ۷۰ نخ دارد). در مقایسه با شکل (۱)، مشاهده می‌شود که هر دو ماسک به‌طور قابل توجهی مانع از انتشار قطرات تنفسی و آئروسول‌های دفع شده از سرفه شبیه‌سازی شده می‌شوند. ماسک پارچه‌ای قادر است حرکت رو به جلوی جت سرفه را به فاصله ۷/۶ سانتی‌متر از دهان محدود کند. نشت قطرات و آئروسول از ماسک پارچه‌ای، بیشتر از شکاف بین بینی و ماسک و همچنین از امتداد لبه بالایی رخ داده است، که نشان دهنده اهمیت تناسب ماسک با ارگونومی صورت است [۲۳].

با این حال، به غیر از ماسک‌های صورت، هدف اصلی استفاده از محافظ‌های صورت و عینک، ایمنی جلوگیری از نفوذ ذرات یا آئروسول به چشم یکدیگر است [۲۴]. تحقیقات نشان

به ویروس در صورت استفاده از ماسک N95 هنوز می‌تواند از طریق قطرات تنفسی که هنگام استفاده از این ماسک‌ها از دریچه بازدم عبور می‌کنند، آلودگی ویروس را در محیط انتشار دهد. لذا بر همین استدلالات CDC توصیه می‌کند افراد از ماسک‌های N95 به منظور کنترل شیوع کووید-۱۹ استفاده نکنند [۲۶].

ماسک‌های جراحی، که به ماسک‌های پزشکی یا دندانپزشکی معروف هستند، با ایجاد یک مانع فیزیکی بین دستگاه تنفسی (دهان و بینی) و محیط اطراف، به عنوان یک محافظ در برابر قطرات بزرگ، پاشیدن و اسپری مایعات عمل می‌کنند. علاوه بر این، ماسک‌های جراحی با کاهش سرعت و پراکنش قطرات کوچک ناشی از تنفس، صحبت کردن، سرفه و عطسه، دیگران را در برابر قطرات تنفسی محافظت می‌کند و در نتیجه در وسعت بیشتر، از گسترش ذرات آلوده جلوگیری می‌کند. سازمان غذا و داروی آمریکا^{۳۷}، ماسک‌های جراحی را براساس کارایی مقاومت در برابر مایعات به گروه‌های ۱، ۲ و ۳ طبقه‌بندی می‌کند. در این طبقه‌بندی سطح ۱، کمترین مقاومت را در برابر مایعات دارد. انجمن آزمون مواد آمریکا^{۳۸}، عملکرد ماسک‌های جراحی را براساس PFE، کارایی فیلتراسیون باکتریایی^{۳۹}، اختلاف فشار^{۴۰} مقاومت در برابر نفوذ خون و اشتعال‌پذیری ارزیابی می‌کند [۲۸]. در اروپا، الزامات ماسک جراحی و روش‌های آزمون آنها باید با استاندارد اروپایی EN 14683: 2019 مطابقت داشته باشد [۲۹]. در جدول (۲) خلاصه‌ای از آزمون‌های استاندارد مورد نیاز ارزیابی میزان کارایی ماسک‌های صورت ارائه شده است.

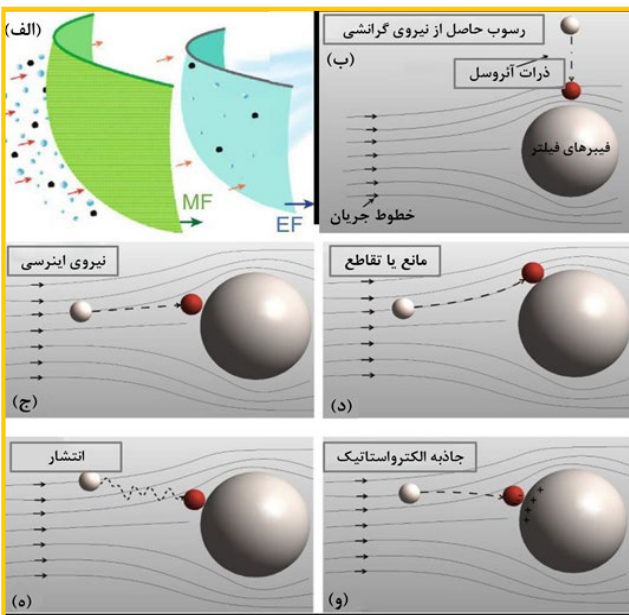
دسته عمومی ماسک‌های یک بار مصرف فیلتر کننده ذرات هستند که هدف آنها محافظت فرد در برابر ذرات معلق محیط است. در اروپا، ماسک‌های تصفیه کننده هوایی که بدون برق کار می‌کنند، به طور معمول به عنوان نیمه ماسک‌های فیلتر کننده یا فیس پیچ‌های فیلتر کننده^{۴۶} شناخته می‌شوند که براساس معیار PFE آنها به FFP1، FFP2 و FFP3 که به ترتیب مقادیر ۸۰، ۹۴ و ۹۹ درصد است، طبقه‌بندی می‌شوند [۲۸]. موسسه ملی ایمنی و بهداشت کار آمریکا برای نمایش کیفیت ماسک‌های تصفیه کننده هوایی که بدون برق کار می‌کنند از حروف R، N و P به ترتیب مقاوم، تا حدی مقاوم و به شدت مقاوم در برابر آئروسول‌های نفتی استفاده می‌کند [۲۷]. عدد مربوط به یک ماسک تنفسی خاص، نشان دهنده سطح کارایی آنها در فیلتراسیون ذرات (PFE) است. به عنوان مثال، ماسک‌هایی که آنها را واجد فیلترهای N95، R95 و P95 می‌شناسیم، بدین معنی است که حداقل مقدار PFE آنها ۹۵ درصد است. به همین ترتیب، ماسک و تجهیزات تنفسی با ادعای ۹۹ باید حداقل مقدار PFE آن ۹۹ درصد و تجهیزات با نماد ۱۰۰، حداقل مقدار PFE آنها ۹۹/۹۷ درصد باشد [۲۷]. با توجه به محبوبیت بالای ماسک‌های تنفسی N95، ما از واژه «ماسک N95» برای نشان دادن دسته وسیعی از ماسک‌های تنفسی استفاده می‌کنیم. لازم به ذکر است که ماسک‌های N95، ماسک‌هایی هستند که دارای دریچه بازدم بوده و دریچه بازدم دریچه‌ای است که یک طرفه عمل می‌کند و اجازه می‌دهد جریان هوای بازدم خارج شود اما از ورود جریان هوای دم/استنشاقی ممانعت می‌کند. بنابراین، یک فرد مبتلا

جدول (۲): خلاصه آزمون‌های استاندارد ارزیابی میزان کارایی ماسک [۳].

| آزمون‌ها | جزئیات | سازمان/مقررات |
|--|--|---|
| کارایی فیلتراسیون ذرات (PFE) | <ul style="list-style-type: none"> استفاده از آزمون بار الکتریکی خنثی شده آئروسول NaCl در یک جریان بالای ثابت^{۴۱} [۳۰]؛ قرار دادن ماسک/تجهیز تنفسی در شرایط واقعی، ۲۴ ساعت قبل از آزمون^{۴۲} [۳۰]؛ ارزیابی کارایی فیلتراسیون؛ آزمون استحکام و اندازه اجزا^{۴۳}. | NIOSH |
| کارایی فیلتراسیون ویروس/باکتری (BFE/VFE) ^{۴۴} | <ul style="list-style-type: none"> از آئروسول‌های حاوی انواعی از باکتری‌ها و ویروس‌ها استفاده می‌شود [۳۱]؛ کارایی فیلتراسیون را ارزیابی می‌کند. | FDA |
| مقاومت سیال | <ul style="list-style-type: none"> از پاشش خون مصنوعی روی ماسک با فشار مختلف استفاده می‌شود [۳۰]؛ نفوذ خون به ماسک به‌طور کیفی ارزیابی می‌شود. | ASTM (روش آزمون F1862) FDA (ماسک‌های جراحی) |
| اختلاف فشار (Δp) | <ul style="list-style-type: none"> ماسک از نظر راحتی نفس کشیدن^{۴۵} ارزیابی می‌شود؛ اختلاف فشار بالا دست و پایین دست ماسک را اندازه‌گیری می‌کند؛ Δp بالا ماسک به این معنی است که تنفس با آن در هنگام دم مشکل است. | |

ویژه آنهایی که کوچکتر از 0.2 میکرومتر هستند، فیلتراسیون تحت تأثیر حرکت براونی است؛ زیرا حرکت تصادفی براونی این ذرات منجر به تماس آنها با الیاف، بواسطه انتشار می‌شود (شکل (۵-ه)). بدین ترتیب که به محض تماس، ذرات از طریق جاذبه واندروالسی به الیاف می‌چسبند و گیر می‌کنند [۳۲].

در فیلتراسیون الکترواستاتیک از الیاف باردار موسوم به الکتریت^{۵۵} استفاده می‌شود که دارای میدان الکتریکی شبه دائمی برای جذب و فیلتر ذرات بواسطه نیروی الکترواستاتیک هستند. ذرات باردار، حتی ذرات کوچکتر از اندازه منافذ یک فیلتر، می‌توانند توسط الکتریت‌هایی واجد بار مخالف الیاف جذب شوند (شکل (۵-و)).



شکل (۵): سازوکار فیلتراسیون ماسک‌ها. (الف): سازوکار فیلتراسیون ماسک‌ها به‌طور عمومی شامل فیلتراسیون مکانیکی^{۵۶}، و الکترواستاتیک^{۵۷} است. (ب): رسوب حاصل از نیروی گرانشی، که به موجب آن ذره بزرگ روی ماسک می‌افتد و به سطح مقطع الیاف فیبری ماسک می‌چسبند. ذره خاکستری (گلوله بالای) روی فیلتر می‌افتد و از طریق جاذبه واندروالس به فیبرهای ماسک می‌چسبند، که نشان دهنده فیلتراسیون موفق است، و در اینجا با رنگ قرمز نشان داده شده است. (ج): نیروی اینرسی که بواسطه آن ذرات بزرگتر واجد اینرسی بیشتر به‌صورت خطی حرکت و در نهایت با الیاف برخورد می‌کنند. ذره خاکستری (سمت چپ) از جریان اصلی اطراف الیاف پیروی نمی‌کند و قادر به اجتناب از آن نیست، بنابراین به فیبرها چسبیده و فیلتر می‌شود. (د): تقاطع و برخورد، که به موجب آن ذرات کوچکتر با حرکت در امتداد خط جریان به الیاف ماسک می‌چسبند. (ه): انتشار، که به موجب آن حرکت براونی ذرات کوچک منجر به برخورد با الیاف ماسک شده و بنابراین به آنها می‌چسبند. (و): جاذبه الکترواستاتیک، که به موجب آن ذرات باردار از طریق جاذبه الکترواستاتیک بار مخالف به الیاف می‌چسبند و به دام می‌افتند. هیچ مقیاسی برای نشان دادن اندازه ذرات نشان داده شده در شکل‌های (الف) تا (و) در نظر گرفته نشده است [۳۲].

به لحاظ نظری، جاذبه الکترواستاتیک مستقل از اندازه ذرات است، زیرا طبق قانون کولمب^{۵۸} این نیرو مستقل از جرم است. با این حال، حرکت ذرات بزرگتر بیشتر است؛ بنابراین، مسیر ذرات بزرگ به‌طور عمده مستقیم است. در عوض، مسیر ذرات

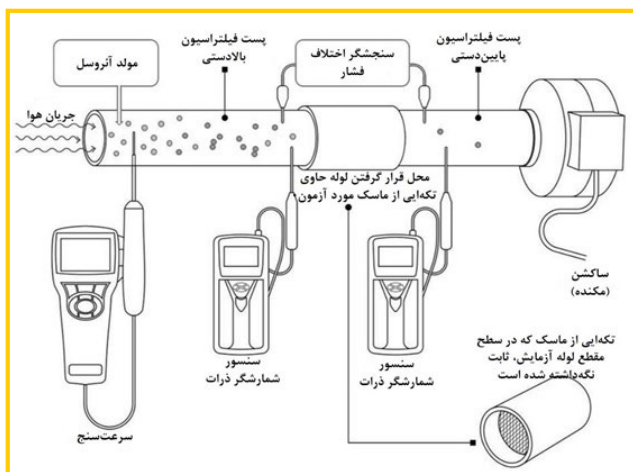
میزان تناسب ماسک با حالت ارگونومیک صورت را می‌توان به روش آزمون کمی تناسب ماسک با ارگونومی صورت (QNFT)^{۴۶} تعیین کرد. به‌عنوان مثال، با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری تناسب ماسک با ارگونومیک صورت^{۴۷} انجام می‌شود. بیشینه مقدار نمره این آزمون ۲۰۰ است. ماسکی که نمره تناسب آن با ارگونومیک صورت، بیشتر از ۱۰۰ است، نقش حفاظتی آن کفایت می‌کند و در واقع آزمون QNFT را پاس می‌کند [۳]. برخلاف ماسک N۹۵ و سایر ماسک‌های فیلتردار، ماسک‌های جراحی و پارچه‌ای خیلی متناسب با ارگونومیک صورت طراحی نشده‌اند. با استفاده از آزمون QNFT مشخص شده است که ۱۰۰ درصد ماسک‌های جراحی در شرایط تنفس طبیعی نمی‌توانند این آزمون را پاس کنند. در حالی که یک ماسک فیلتردار N۹۵ می‌تواند عامل تناسب (QNFT) ۱۰۰ را کسب نماید، این عامل در ماسک‌های جراحی بسته به نام تجاری و تنوع شکل صورت افراد در محدوده ۹/۶-۲/۵ است [۳]. به‌طور تقریبی ۲۰ تا ۳۰ درصد قطرات و آئروسول‌ها، به‌صورت عمده از قسمت‌های شل و گشاد ماسک‌های جراحی نشت می‌کنند [۲۳]. مشکل نشت حتی برای ماسک N۹۵ هم در صورت شل بودن روی صورت اتفاق می‌افتد. یافته‌ها نشان می‌دهند که چند سوراخ ۳ میلی‌متری روی ماسک‌های N۹۵ منجر به کاهش شدید PFE می‌شود که از این نظر با ماسک جراحی مقایسه می‌شوند.

■ سازوکار فیلتراسیون

سازوکار عملکردی بیشتر ماسک‌ها، سازوکار فیلتراسیون است. توجه به این نکته ضروری است که فیلتر ماسک به‌عنوان یک صافی ساده عمل نمی‌کند. بنابراین، اندازه منافذ ماسک به تنهایی PFE آن را تعیین نمی‌کند. به‌طور کلی، سازوکارهای فیلتراسیون ماسک‌ها شامل فیلتراسیون مکانیکی^{۴۹} و الکترواستاتیک^{۵۰} است (شکل (۵-الف)). فیلتراسیون مکانیکی از الیاف بدون بار استفاده می‌کند که ذرات را از طریق رسوب حاصل از نیروی گرانشی^{۵۱}، نیروی اینرسی^{۵۲}، برخورد به مانع^{۵۳} و انتشار بواسطه حرکت براونی^{۵۴} به دام می‌اندازد [۳۲]. برای ذرات بزرگ با اندازه در محدوده ۱۰-۱ میکرومتر، فیلتراسیون مکانیکی بواسطه رسوب حاصل از نیروی گرانشی (شکل (۵-ب)) و نیروی اینرسی (شکل (۵-ج))، موثرترین سازوکار جذب ذرات است. ذرات بزرگتر، اینرسی بیشتری دارند و از این رو بیشتر خطی حرکت می‌کنند و قادر به جریان در اطراف الیاف ماسک نیستند. در نتیجه، آنها در الیاف گیر کرده و نمی‌توانند از فیلتر عبور کنند. برای ذرات کوچک با اندازه حدود ۱-۰/۱ میکرومتر، برخورد با مانع و حرکت براونی، رایج‌ترین سازوکارهای مکانیکی فیلتراسیون است. ذرات کوچک با اندازه ۰/۶ میکرومتر در امتداد خطوط جریان حرکت می‌کنند. لذا هنگام نزدیک شدن به الیاف، با الیاف فیلتر برخورد کرده و به دام می‌افتند (شکل (۵-د)) [۳۲]. حتی برای ذرات کوچکتر، به

[۳] و [۳۳]. بدین ترتیب که تکه‌ایی از ماسک را جدا کرده و در سطح مقطع لوله آزمایش به قطر $2/60-5$ سانتی‌متر محکم ثابت می‌کنند. سپس به واسطه سیستم مکشی^{۶۱} که در پایین دست سیستم طراحی می‌شود، جریان هوایی ایجاد و سرعت این جریان هم با دستگاه سرعت‌سنج مثل بادسنج حرارتی کنترل می‌شود. میزان جریان هوا در محدوده $0/5-0/15$ میکرومتر به‌عنوان یک فیلتر مکانیکی معمولی عمل می‌کند [۳۴]. افزودن الیاف دارای بار الکترواستاتیک، کارایی فیلتراسیون ماسک‌های ساخته شده از جنس الیاف با چگالی کم را بهبود می‌بخشد و لذا باعث کاهش اختلاف فشار و افزایش راحتی تنفس می‌شود. بنابراین، کارایی فیلتراسیون الکترواستاتیک، به ترکیب شیمیایی ذرات و الیاف بکار رفته در ساخت ماسک، بار روی ذرات و چگالی بار سطحی الیاف بستگی دارد. نکته مهم دیگر، تجمع ذرات در فیلتر است که به بارگذاری ذرات^{۵۹} نیز معروف است. اثر بارگذاری ذرات برای ذرات جامد و قطرات مایع و آئروسول‌ها متفاوت است [۳۴].

قطرات مایع رسوب کرده به‌صورت معمول، یک لایه نازک روی سطح الیاف تشکیل می‌دهند. در حالی که ذرات جامد تمایل دارند در غیاب نیروهای الکترواستاتیک شکل زنجیره‌های نامنظم را به خود بگیرند [۳۴]. به‌طور کلی، کارایی یک فیلتر الکتریکی با بارگذاری ذرات در مراحل اولیه فیلتراسیون کاهش می‌یابد. با این حال، الیاف مختلف رفتارهای پیچیده‌ای را از خود نشان می‌دهند که وابسته به زمان است [۳۴]. برای درک کامل اثرات بارگذاری ذرات بر کارایی فیلتراسیون، مطالعات بیشتری در این زمینه لازم است؛ به‌طور کلی، PFE یک ماسک با استفاده از عوامل متعددی شامل عوامل مربوط به خود ماسک، مانند اندازه منافذ، میزان فیبر و تناسبش با ارگونومی صورت و دیگر عوامل مرتبط با شرایط بیرونی مانند اندازه ذرات، شکل، بار، میزان جریان هوا و شرایط جریان، رطوبت نسبی^{۶۰} دمای محیط تعیین می‌شود [۳۲]. در میان عوامل مرتبط با شرایط بیرونی، مشخص شده که سرعت جریان هوا بیشترین تأثیر را بر PFE یک ماسک دارد. جالب است که تأثیر سرعت جریان هوا بر PFE ذرات بزرگ، عکس ذرات کوچک است. زیرا سازوکار فیلتراسیون این ذرات متفاوت است. برای ذرات بزرگ، افزایش سرعت جریان هوا باعث افزایش PFE و در نتیجه افزایش نیروهای گرانشی و اینرسی می‌شود، که همین امر، موجب جذب ذرات بزرگ بواسطه رسوب و بهم‌فشرده‌گی می‌شود. در حالی که برای ذرات کوچک، کاهش سرعت جریان هوا، PFE را افزایش می‌دهد؛ زیرا در این حالت برای جذب الکترواستاتیک و انتشار براونی ذرات زمان بیشتری وجود خواهد داشت [۳۲].



شکل (۶): الگوی یک سیستم آنالیز کمی کارایی فیلتراسیون ذرات (PFE) ماسک. ماسک در سطح مقطع یک لوله آزمایش محکم ثابت می‌شود. جریان هوا با دستگاه مکش پایین دست ایجاد شده و میزان این جریان با سرعت‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. آئروسول‌ها در بالادست با مولد آئروسول تولید می‌شوند و غلظت آئروسول قبل و بعد از عبور از ماسک نیز با استفاده از شمارشگر ذرات اندازه‌گیری می‌شود. میزان راحتی تنفس ماسک با اندازه‌گیری اختلاف فشار (AP) رو و پشت ماسک با استفاده از یک مانومتر تعیین می‌شود [۳].

■ روش‌های آزمایش ماسک

بیشتر آزمایشگاه‌ها معیار PFE ماسک‌های صورت را طبق الگویی که در شکل (۶) نشان داده شده اندازه‌گیری می‌کنند

بهره نمی‌برند و لذا این روش ارزیابی برای تخمین کیفیت ماسک‌های باردار موسوم به الکتریت مناسب نیستند.

■ مواد و ساختار ماسک‌های جراحی و N۹۵

بیشتر ماسک‌های جراحی و ماسک‌های فیلتردار N۹۵ از مواد فیبری بی‌بافت^{۶۸} ساخته می‌شوند. فرآیند تولید منسوجات بی‌بافت به نسبت آسان و ارزان است؛ بنابراین، برای تولید انبوه ماسک‌های یکبار مصرف مطلوبند. به دلیل مقاومت و پایداری الکتریکی بالای مواد پلیمری مانند پلی پروپیلن^{۶۹} و پلی اکریلونیتریل^{۷۰}، بیشتر از این دو پلیمر در ساخت انواع فیلتر در ماسک‌ها استفاده می‌شود [۳]. این فیلترها قادر به جذب ذرات به نسبت بزرگ (بزرگتر از ۰/۳ میکرومتر) بواسطه رسوب و نفوذ و همین‌طور جذب ذرات به نسبت کوچک (کوچکتر از ۰/۲ میکرومتر) به طریق انتشار و جذب الکترواستاتیک هستند. فرآیند تولید میکرو و نانوالیاف بی‌بافت به صورت معمول شامل یکی از دو روش ذوب^{۷۱} و اسپینینگ (ریسندگی چرخشی)^{۷۲} است که در آن الیاف پلیمری مذاب بسیار ریز به صورت مکانیکی، شیمیایی یا حرارتی به هم متصل می‌شوند که حاصل آن یک صفحه مش‌دار با منافذ و توزیع نامنظم است [۳].

ساختار ماسک‌های N۹۵ و جراحی از چند لایه مواد فیبری بی‌بافت تشکیل شده‌است. ماسک‌های جراحی عموماً سه لایه‌ای هستند و ماسک‌های N۹۵ یک لایه میانی اضافی هم برای نگهداری و تناسب بیشتر خود با ارگونومی صورت دارند. لایه بیرونی رو به هوا به‌طور معمول از جنس پلی پروپیلن آبرگیز نخریسی شده بی‌بافت است که قابلیت دفع رطوبت دارد و لذا از نفوذ قطرات آب که سبب آسیب به بخش فیلتر ماسک می‌شود جلوگیری می‌کند. به‌طور کلی، این لایه PP بی‌بافت از فیبرهایی با قطر ۲۰ میکرومتر و اندازه منافذ ۱۰۰ میکرومتری تشکیل شده‌است (شکل (۷-الف)) [۳۹]. لایه PP اسپان‌باند بار الکتریکی ضعیفی دارد. چگالی بار دوقطبی کمتر از ۰/۵ میکروکلمب^{۷۳} بر مترمربع ($\mu\text{C}/\text{m}^2$) است. بنابراین، ظرفیت فیلتراسیون ذرات این لایه به نسبت ضعیف و کمتر از ۶-۱۰ درصد است [۳۹]. داخلی‌ترین لایه ماسک برای جذب رطوبت بازدم و خشک نگه داشتن ماسک با هدف جلوگیری از رشد عوامل بیماری‌زا طراحی می‌شود. لایه میانی به‌طور معمول از پارچه بی‌بافت ملت بلون ساخته می‌شود که اولین سد برای فیلتراسیون ذرات است. PP ملت بلون استفاده شده در N۹۵ و ماسک‌های جراحی از نظر اندازه منافذ، وزن پایه و تراکم، تفاوت چندانی ندارند [۳۹]. به‌طور کلی، قطر فیبر PP ملت بلون مورد استفاده در N۹۵ و ماسک‌های جراحی مشابه و در محدوده ۱-۱۰ میکرومتر و اندازه منافذ آنها حدود ۲۰ میکرومتر است (شکل‌های (۷-ب) و (۷-ج)) [۳۹]. با این تفاوت که بار الکتریکی PP ملت بلون استفاده شده در ماسک‌های N۹۵ به‌طور معمول بیشتر از ماسک‌های جراحی

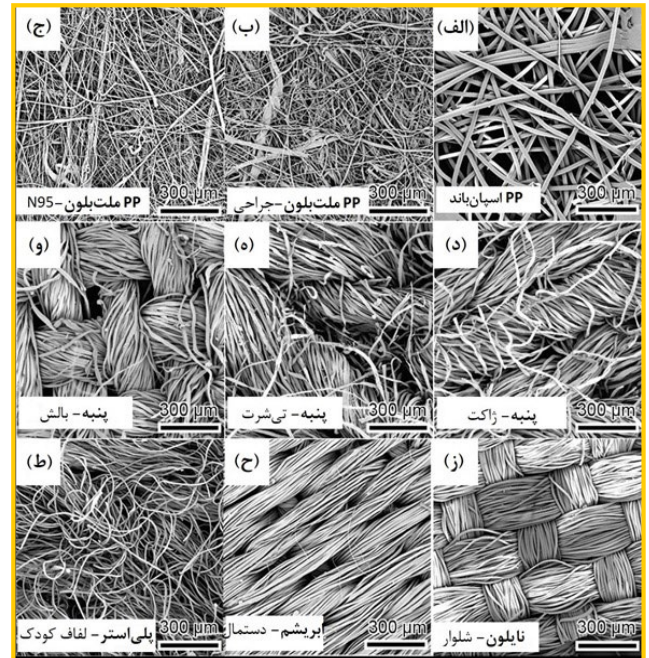
برای آنالیز BFE ماسک، از آئروسول‌های باکتری استافیلوکوکوس اورئوس^{۶۶} با اندازه میکرومتر در جریان ۲۸/۳ لیتر/دقیقه استفاده می‌شود [۳۱]. مقاومت ماسک به مایعات با استفاده از پاشش خون مصنوعی روی ماسک و با فشارهای مختلف تعیین می‌شود. علاوه‌بر این آزمون‌ها، آزمون‌های مقاومت ماسک در برابر شعله و اختلاف فشار (ΔP) نیز وجود دارد. اختلاف فشار مساوی یا بیشتر از ۰/۵ ($\Delta P \geq 5/0$) یعنی حدود ۴۹ پاسکال به دلیل سختی در تنفس نامطلوب گزارش می‌شود [۳۶]. گاهی اوقات کارایی فیلتراسیون ویروس ماسک نیز مورد آزمون قرار می‌گیرد. اگرچه FDA در انجام این آزمون اجباری ندارد. برای انجام آزمون VFE به صورت معمول از همان روش‌های آزمون BFE پیروی می‌شود و البته به‌طور معمول از باکتریوفاژ $\Phi X174$ به جای باکتری استافیلوکوکوس اورئوس استفاده می‌شود. نتایج آزمون‌های VFE انواع ماسک نشان داده است که به‌طور معمول بسیار نزدیک به نتیجه BFE آن است [۳۱].

بخش ۸۴ دستورالعمل منتشر شده از موسسه ملی ایمنی و بهداشت کار آمریکا [۳۷] حاوی آزمون ارزیابی ماسک‌های فیلتردار N۹۵ است. در این آزمون از آئروسول‌های NaCl با اندازه حدود ۰/۳ میکرومتر و سرعت جریان هوا ۸۵ لیتر/دقیقه استفاده می‌شود که متناسب با تهویه ریوی حین ورزش سنگین است. آئروسول‌ها باید از نظر بار الکتریکی خنثی شوند و ماسک باید ۲۴ ساعت قبل از آزمون در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۸۵ درصد قرار گیرد. آزمون NIOSH، سخت‌ترین و محافظه‌کارترین آزمون ارزیابی PFE یک ماسک محسوب می‌شود [۳۱]. بدین معنی که اگر ماسکی طبق معیارهای FDA نمره PFE بیشتر از ۹۵ را کسب نماید، ممکن است با معیارهای NIOSH نمره PFE کمتر از ۷۰ درصد شود.

یک ماسک جراحی N۹۵ باید هر دو الزامات FDA و NIOSH را داشته باشد. علاوه‌بر این روش‌های استاندارد، چندین روش آزمون کم هزینه آزمایشگاهی و حتی قابل انجام در منزل هم وجود دارد. به‌عنوان مثال، فیشور و همکاران یک دستگاه تقریباً ارزان (حدود ۵ میلیون تومان) ساخته‌اند که می‌تواند کارایی ماسک را در طول گفتار به‌طور کیفی ارزیابی کند [۳۰]. هنگامی که فرد با ماسک در داخل یک جعبه تاریک صحبت کند، قطرات پخش شده با استفاده از لیزر قابل نمایش می‌شود و هم‌زمان با استفاده از یک دوربین تلفن همراه قابل ضبط است. نوپان و همکاران هم با استفاده از یک لنز ساده دوربین^{۶۷}، دوربین گوشی هوشمند، صفحه آلومینیومی و یک لامپ LED سفید، یک میکروسکوپ نوری درست کردند که با این میکروسکوپ امکان اندازه‌گیری منافذ ماسک فراهم است [۳۸]. به طوری که ماسک با اندازه منافذ کوچک‌تر واجد PFE بالاتری خواهد بود. البته، در این روش فرض بر این است که ماسک‌های مورد آزمون از فیلتراسیون الکترواستاتیک

ماسک‌های پارچه‌ای ساخته شده از مواد یکسان هم بسیار متفاوت از هم است. دلیل این همه تفاوت این است که پارچه‌های ساخته شده از یک جنس مثل پنبه، ممکن است در ساختار، الگوی بافت و اندازه منافذ بسیار متفاوت باشند (شکل‌های (۷-د)، (۷-ه) و (۷-و)). بازده فیلتراسیون یک ماسک پارچه‌ای نیز به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تعداد لایه‌های پارچه‌ای آن است. تحقیقات نشان می‌دهد که PFE ماسک‌های پارچه‌ای را می‌توان با استفاده از لایه‌های متعدد از مواد یکسان یا متفاوت تا حد مطلوبی بهبود بخشید (شکل (۸-ب)). با بهره‌گیری از یکپارچگی مکانیکی پارچه‌های پنبه‌ای و جاذبه الکترواستاتیک پارچه‌های ابریشمی، مشخص شد که PFE همه ماسک‌های پارچه‌ای ساخته شده از پنبه/ابریشم و پنبه/فلانل بالاتر از ۹۰ درصد است [۴۲]. اما اختلاف فشار یا ΔP این ماسک‌های چند لایه حدود ۳ پاسکال است. یعنی بیشتر از انواع تک لایه‌شان که حداکثر حدود ۲/۵ تا ۲/۷ پاسکال است [۳۳]. راه دیگر برای طراحی ماسک‌های پارچه‌ای چند لایه، استفاده از لایه‌های آبریز و آب دوست است. بدین ترتیب که لایه آبریز از تجمع آب و آئروسول روی ماسک جلوگیری می‌کند و لایه آب‌دوست در جذب و چسبیدن قطرات به

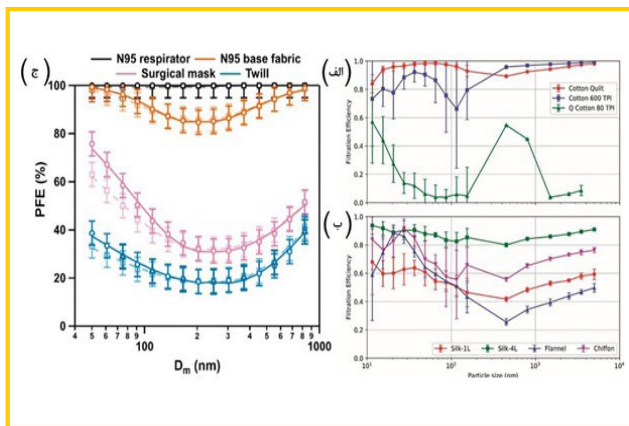
است (حدود ۳/۲ تا ۱۷/۲۷ میکروکلمب بر مترمربع). در نتیجه، ظرفیت فیلتراسیون ذرات PP ملت بلون ماسک‌های N۹۵ بیش از ۹۵ درصد است، در حالی که این ظرفیت در PP ملت بلون مورد استفاده در ماسک‌های جراحی به‌طور معمول بین ۱۹ تا ۳۳ درصد متغیر است [۳۹].



شکل (۷): تصاویر SEM^{۷۴} مواد مختلف مورد استفاده در ساخت پارچه‌های بی‌بافت. (الف): پارچه بی‌بافت از جنس پروپیلین (PP) تهیه شده به روش اسپان باند. (ب) و (ج): دو نوع پارچه بی‌بافت از جنس پروپیلین تهیه شده به روش ملت بلون. (د): پارچه پنبه‌ای ژاکت. (ه): پارچه پنبه‌ای تی‌شرت. (و): پنبه بافت‌دار که در روکش‌های بالش استفاده می‌شود. (ز): پارچه نایلونی بافت‌دار ورزشی. (ح): پارچه ابریشمی بافت‌دار دستمال. (ط): پارچه پلی‌استر بافت‌دار لاف قنداق کودک [۳۹].

■ کارایی و طراحی ماسک‌های پارچه‌ای

برای ماسک‌های پارچه‌ای برخلاف ماسک‌های N۹۵ و جراحی، نه استاندارد وجود دارد و نه توسط ارگان‌های دولتی ممیزی صورت می‌پذیرد. لذا، طراحی ماسک‌های پارچه‌ای بسیار متنوع است. این تنوع به نوع مواد، میزان نخ در هر اینچ^{۷۵}، نوع بار الکترواستاتیک و غیره مرتبط می‌شود. بنابراین، مقایسه اثربخشی ماسک‌های پارچه‌ای مختلف به دلیل تنوع زیاد در پارچه آنها، تعداد نخ، تعداد لایه‌ها، میزان تناسب با ارگونومی صورت و طراحی، کار ساده‌ای نیست. به‌طور کلی، انتظار می‌رود PFE یا ظرفیت فیلتراسیون ذرات ماسک‌های پارچه‌ای کمتر از ماسک‌های N۹۵ و جراحی باشد (شکل (۸-ج)) [۴۰]. در مورد ماسک N۹۵ با استفاده از آزمون‌های NIOSH، مشخص شد که به‌طور کلی، مواد با تعداد نخ بیشتر، یعنی اندازه منافذ کوچکتر، کارایی فیلتراسیون بالاتری دارند [۴۱]. لازم به ذکر است که حتی PFE



شکل (۸): مقایسه PFE ماسک‌های N۹۵، ماسک‌های جراحی و چند ماسک پارچه‌ای؛ (الف): PFE‌های پارچه‌های پنبه‌ای با تعداد نخ‌های مختلف، شامل لاپوش‌های پنبه‌ای متشکل از دو ورق پنبه ۱۲۰ نخ (TPI ۱۲۰) با ضخامت تقریبی ۰/۵ سانتی‌متر (قرمز)، پنبه ۶۰۰ نخ (TPI ۶۰۰) (آبی) و ملحفه پنبه‌ای ۸۰ نخ (TPI ۸۰) (سبز). (ب): PFE‌های پارچه‌های مختلف شامل، پارچه ابریشم طبیعی تک لایه (قرمز)، پارچه ابریشم طبیعی چهار لایه (سبز)، فلانل^{۷۶} (پنبه/پلی‌استر) تک لایه (آبی)، شیفون^{۷۷} (پلی‌استر/ اسپندکس یا لاکرا^{۷۸}) تک لایه (رنگ بنفش). (ج): PFE‌های یک ماسک N۹۵ (مشکی)، پارچه پایه N۹۵ (نارنجی)، یک ماسک جراحی (صورتی) و یک روسری یا توپیل^{۷۹} ترکیب پنبه/پلی‌استر (۶۵ درصد/۳۵ درصد) (آبی). به‌عنوان تابعی از قطر حرکتی ذره (Dm). این مقایسه رتبه‌بندی PFE انواع ماسک را به این ترتیب پیشنهاد می‌کند که ماسک پارچه‌ای < ماسک جراحی < پارچه پایه N۹۵ < ماسک N۹۵ فیلتردار رتبه‌بندی می‌شود. همچنین نشان می‌دهد که بیشترین نفوذپذیری ذرات^{۸۰} به ماسک‌های جراحی و پارچه‌ای مربوط به اندازه ۲۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر است [۳۳ و ۴۰].

از شیوع کووید-۱۹ برای عموم نشان می‌دهد اما مهم است که به خاطر داشته باشید ماسک‌های پارچه‌ای نباید به‌عنوان جایگزینی برای ماسک‌های جراحی یا ماسک‌های N۹۵ توسط کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامت مورد استفاده قرار گیرد [۴۲]. PFE ماسک‌های پارچه‌ای به‌طور کلی بسیار کمتر از ماسک‌های N۹۵ است (شکل ۸-ج).

■ ضد عفونی کردن و استفاده مجدد از ماسک‌ها

در حال حاضر داده‌ها، حاکی از کاهش PPE انواع ماسک‌ها بعد از شستشوی آنها است. برای افزایش PPE ماسک‌ها بعد از شستشو (حتی اگر این ماسک‌ها به‌عنوان ماسک‌های یکبار مصرف طراحی و در بازار عرضه می‌شوند) نیازمند توسعه روش‌های آلودگی‌زدایی و استفاده مجدد آنها هستیم [۳ و ۴۲]. در طراحی این روش‌ها باید سه اصل اساسی مدنظر قرار گیرد: اول اینکه در ضد عفونی و غیرفعال‌سازی همه عوامل بیماری‌زا موفق باشد. برای ارزیابی موفقیت فرآیند ضد عفونی، به‌طور معمول از تلقیح عامل بیماری‌زایی مثل H_1N_1 و تشخیص حضور آن قبل و بعد از تیمار ماسک مورد آزمایش استفاده می‌شود. دوم اینکه روش ضد عفونی نباید ماسک را خراب کند، به طوری که یکپارچگی آن از بین برود. ارزیابی حفظ یکپارچگی، با استفاده از آزمون QNFT و آزمون NaCl مرکز NIOSH تعیین می‌شود. استفاده از میکروسکوپ برای مشاهده هرگونه تغییر در الیاف یا ساختار پارچه ماسک ضد عفونی شده مفید است و سوم اینکه نباید هیچ گونه بقایای شیمیایی یا محصولات جانبی روی ماسک باقی بماند که تأثیر منفی بر سلامتی فرد بگذارد. علاوه بر این، هزینه و در دسترس بودن مواد و ابزار لازم، سهولت و ایمنی درمان و مقیاس‌پذیری روش، همه باید در نظر گرفته شود.

در اینجا ما به چند روش برای ضد عفونی ماسک اشاره می‌کنیم:

- تابش اشعه (UVGI) UV^{۴۴}؛
- حرارت خشک و مرطوب^{۸۵}؛
- بخار پراکسید هیدروژن^{۸۶}؛
- اتیلن اکسید (EtO)^{۸۷}؛
- تیمار با اتانول؛

• تیمار با مواد ضد عفونی نانویی نوظهور برای ساخت انواع ماسک‌های خودتمیز شونده و قابل استفاده مجدد.

ویژگی‌های اصلی متداول‌ترین روش‌های ضد عفونی، از جمله UVGI، عملیات حرارتی خشک و مرطوب و VHP، در جدول (۳) خلاصه شده است.

فیلتر کمک می‌کند [۳۹]. براساس شواهد موجود، CDC توصیه می‌کند که عموم مردم از ماسک‌های پارچه‌ای دو یا چند لایه برای جلوگیری از همه‌گیری کووید-۱۹ استفاده کنند [۲۶].

■ مقایسه ماسک‌های N۹۵، جراحی و پارچه‌ای

WHO و آژانس بهداشت عمومی کانادا توصیه می‌کنند که کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامت در حضور بیماران مبتلا به کووید-۱۹، از ماسک‌های جراحی استفاده کنند و هنگامی که از روش‌هایی استفاده می‌کنند که تولید آئروسول می‌کند^{۸۱} به‌عنوان مثال، لوله‌گذاری نای، تراشه و برونکوسکوپی و مواردی از این دست، از ماسک‌های N۹۵ استفاده کنند [۳]. CDC و مرکز پیشگیری و کنترل بیماری‌های اروپا^{۸۲} استفاده از ماسک‌های N۹۵ را برای کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامتی که از روش‌های غیر AGP استفاده می‌کنند نیز توصیه می‌کنند [۳]. نتایج بسیاری از مطالعه‌های مرتبط با مقایسه میزان محافظت ماسک‌های جراحی و N۹۵ حاکی از آن است که کارایی محافظت ماسک‌های جراحی در برابر عوامل بیماری‌زای ویروسی به اندازه ماسک‌های N۹۵ مطلوب است. بدین معنی که استفاده از ماسک‌های N۹۵ در مقایسه با ماسک‌های جراحی تفاوت معنی‌داری در کاهش ابتلا به عفونت تنفسی ندارد [۳ و ۴۲]. شواهد قابل توجهی از متاآنالیزها برای اثبات معنی‌دار بودن ادعای مزیت ماسک‌های N۹۵ نسبت به ماسک‌های جراحی در محافظت کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامتی عهده‌دار مراقبت بیماران کووید-۱۹ به روش‌های غیر AGP وجود ندارد [۳].

تفاوت PFE ماسک‌های N۹۵ و جراحی در صورت وجود نشتی و عدم تناسب مطلوب با ارگونومی صورت بسیار ناچیز است. میزان نشتی^{۸۳} ماسک‌های N۹۵ و جراحی کاملاً سالم، در سرعت جریان هوا - ۸ لیتر/دقیقه - تفاوت چندانی ندارد و به ترتیب ۰/۳۱ و ۳/۵۸ درصد است [۴۳]. عدد TIL به تمام آئروسول‌هایی که از ماسک عبور می‌کنند اشاره دارد، از جمله نشتی که از تناسب ضعیف ماسک با ارگونومی صورت ناشی می‌شود. در همین آزمون‌های تخمین TIL تفاوت آماری ناچیزی بین نشتی ماسک‌های N۹۵ و جراحی پس از ایجاد شش سوراخ ۳ میلی‌متری روی هر دو ماسک گزارش شده است (۳۸/۷۲ در مقابل ۳۵/۶۷ درصد) [۴۳]. این اثر نشتی عدم تفاوت قابل توجه بین ماسک‌های N۹۵ و جراحی در محافظت کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامت را توضیح می‌دهد. زیرا انطباق دقیق با PPE در همه زمانی که از این ماسک‌ها استفاده می‌شود بسیار بعید بنظر می‌رسد [۳]. در مقایسه با ماسک‌های پارچه‌ای، اگرچه مطالعاتی وجود دارد که مفید بودن آنها را در جلوگیری

جدول (۳): خلاصه روش‌های ضد عفونی ماسک [۳].

| روش آلودگی‌زدایی | مواد و ابزار مورد نیاز | تأثیر بر غیرفعال‌سازی ویروس و باکتری | تأثیر بر کارایی فیلتراسیون ذرات (PFE) | تأثیر بر خواص فیزیکی ماسک | خطر و ملاحظات دیگر |
|----------------------------|--|---|--|--|--|
| اشعه ماوراءبنفش (UVGI) | منبع UVC (مانند لامپ جیوه). | <ul style="list-style-type: none"> کاهش 10^{-3} باکتری H1N1 با چگالی انرژی J/cm^2 و زمان ۶۰ تا ۷۰ ثانیه [۴۴]؛ مقاومت بیشتر موجودات بزرگتر [۴۵] | <ul style="list-style-type: none"> در چگالی انرژی $1181-176 mJ/cm^2$ به مدت ۱۵ دقیقه هیچ تأثیری ندارد [۴۶]؛ کاهش جزئی (۱ درصد) PFE در دوز بالا حدود $120 J/cm^2$ [۴۷]. | <ul style="list-style-type: none"> از دست دادن قدرت N۹۵ در تابش‌های با انرژی $120 J/cm^2$ آسیب به پلیمر و بند ماسک [۴۵]. | <ul style="list-style-type: none"> چین خوردگی ناهموار ماسک مانع نفوذ UV می‌شود. |
| حرارت خشک | آون (گرید آزمایشگاه، آشپزخانه و غیره) | <ul style="list-style-type: none"> SARS-CoV-2 در $70^{\circ}C$ در مدت ۶۰ دقیقه غیرفعال می‌شود [۴۸]. | <ul style="list-style-type: none"> $98 <$ درصد PFE ماسک N۹۵ در دمای $70^{\circ}C$ و مدت ۹۰ دقیقه [۴۹]. | <ul style="list-style-type: none"> نوارهای فلزی در دمای $80^{\circ}C$ تغییر شکل می‌یابند؛ مایکروویو منجر به ذوب شدن فیلتر N۹۵ می‌شود [۴۴]؛ کاهش ΔP [۴۸]. | <ul style="list-style-type: none"> گرمای بیش از حد ($> 80^{\circ}C$) منجر به آسیب ماسک می‌شود [۴۴]. |
| حرارت مرطوب | آون (گرید آزمایشگاهی)؛ بخارپز آشپزخانه؛ بخار تولید شده توسط مایکروویو MGS ^{۸۸} . | <ul style="list-style-type: none"> $6 <$ برابر کاهش SARS-CoV-2 در دمای $70^{\circ}C$ به مدت ۵ دقیقه؛ $10^{-5} <$ کاهش در S. aureus و MS2 برای بخارپز؛ $10^{-5} <$ کاهش H_1N_1 برای MGS با قدرت ۱۲۵۰ وات به مدت ۲ دقیقه [۴۵]. | <ul style="list-style-type: none"> $95 <$ درصد PFE ماسک N۹۵ در دمای $70^{\circ}C$ و رطوبت ۵۰ درصد به مدت ۶۰ دقیقه [۴۸]. | <ul style="list-style-type: none"> در دمای $70^{\circ}C$ و رطوبت ۵۰ درصد به مدت ۶۰ دقیقه هیچ تأثیری بر تناسب یا سایر ویژگی‌های فیزیکی ندارد [۴۸]؛ هیچ تغییر قابل مشاهده‌ای پس از ۵ مرتبه بخار به مدت ۵ دقیقه دیده نمی‌شود؛ بخار MGS، مناطق اطراف بند فلزی بینی^{۸۹} ماسک N۹۵ را ذوب می‌کند [۴۶]. | <ul style="list-style-type: none"> رطوبت منجر به خالی شدن بار الکتریت‌های ماسک می‌شود [۵۰]. |
| بخار پراکسید هیدروژن (VHP) | روش آلودگی‌زدایی مورد تایید FDA؛ به صورت تجاری با عنوان سیستم ضد عفونی کننده مراقبت‌های بحرانی ^{۹۰} (CCDS) موجود است. | <ul style="list-style-type: none"> $10^{-5} <$ کاهش RNA SARS-CoV-2 ماسک‌های N۹۵ [۵۱]. | <ul style="list-style-type: none"> $95 <$ درصد PFE ماسک N۹۵ یا ۸ درصد H_2O_2 و همچنین کاهش قابل توجه PFE ماسک‌های جراحی [۵۲]. | <ul style="list-style-type: none"> مناطق اطراف بند فلزی بینی آسیب می‌بینند [۴۶]؛ تأثیری بر ΔP ندارد. | <ul style="list-style-type: none"> CCDS گران است؛ H_2O_2 ممکن است توسط باقیمانده‌های مواد آلی (مانند خاک) غیرفعال شود [۴۵]. |

پارچه‌ای پس از شستشو و خشک کردن‌های مکرر باید دور ریخته شوند؛ زیرا PFE آنها به دلیل کاهش کشش سطحی و لذا افزایش منافذ پارچه کاهش می‌یابد [۳۸].

■ تابش اشعه فرابنفش (UVGI)

در فرآیند UVGI، از امواج الکترومغناطیسی UV با انرژی بالا برای غیرفعال کردن ویروس‌ها و میکروب‌های ماسک استفاده می‌شود. طیف اشعه ماوراءبنفش از چهار ناحیه طول موج تشکیل شده است، یکی از آنها UVC است که دارای طول موج در محدوده ۲۸۰ - ۲۰۰

لازم به ذکر است که این روش‌های ضد عفونی برگرفته از ممیزی‌های متفاوت کشورهای مختلف هستند و بیشتر برای استفاده مجدد ماسک‌های ۹۵ توسعه یافته است [۵۳].

از سوی دیگر، برای ماسک‌های پارچه‌ای، ممیزی و استاندارد دقیقی وجود ندارد. البته ماسک‌های پارچه‌ای کثیف مورد استفاده کارکنان سیستم‌های بهداشت و سلامت می‌تواند منبع آلودگی باشند [۵۴]. CDC توصیه می‌کند که ماسک‌های پارچه‌ای هر زمان که کثیف می‌شوند و یا حداقل در پایان هر روز استفاده، با مواد شوینده معمولی یا صابون شسته شوند [۲۶]. ماسک‌های

معمول در محدوده دمایی بین 80°C – 70°C انجام می‌شود. در تیمار حرارتی خشک تنها از هوای خشک با دمای بالا استفاده می‌شود. لذا به راحتی می‌تواند برای ضدعفونی کردن ماسک استفاده شود [۴۸ و ۴۹]. این روش به تجهیزات تخصصی نیازمند نیست و با آون معمولی آزمایشگاه، یا حتی اجاق‌های خانگی قابل انجام است [۴۴ و ۴۸]. البته استفاده از اجاق‌های میکروویو برای این منظور توصیه نمی‌شود؛ چراکه تابش میکروویو ممکن است منجر به ذوب شدن فیبرهای ماسک شود [۴۶]. استفاده از اتوکلاو نیز برای اعمال حرارت مرطوب مطلوب نیستند؛ زیرا درجه حرارت و فشار بالای اتوکلاو منجر به خراب شدن ماسک می‌شود. برای ضدعفونی ماسک با تیمار حرارتی مرطوب از بخار فشار قوی گرم استفاده می‌شود [۴۴]. برای آلودگی‌زدایی ماسک با استفاده از تیمار حرارت همراه با رطوبت، اعمال رطوبت در محدوده 85 – 50 درصد توصیه می‌شود. اعمال ۲ دقیقه بخار تولید شده توسط میکروویو برای غیرفعال‌سازی ویروس کفایت می‌نماید [۴۵]. نتایج آزمون‌ها نشان داد که تیمار حرارتی مرطوب در دمای 70°C و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۶۰ دقیقه با موفقیت می‌تواند SARS-CoV-2 روی ماسک‌های N95 را غیرفعال کند [۴۸].

در مطالعه دیگری که از پلویز معمولی خانگی برای تیمار حرارتی و رطوبت ماسک‌های N95 (شامل ایجاد حرارت طی مدت ۸ تا ۱۰ دقیقه و به دنبال آن ۵ دقیقه بخاریز شدن) استفاده شد، کاهش 10^{-5} برابری باکتریوفاج MS2 و S.aureus گزارش شده است [۵۸]. در همین مطالعه همچنین گزارش شده است که تیمار حرارتی خشک در آون 100°C به مدت ۱۵ دقیقه تنها منجر به کاهش 10^{-3} برابری همین میکروب‌ها شد [۵۸]. میانگین قطر الیاف بکار رفته در انواع ماسک‌ها پس از ۱۰ سیکل تیمار حرارتی مرطوب (با رطوبت نسبی ۵۰ درصد) از $3/8$ میکرومتر به $3/92$ میکرومتر افزایش می‌یابد و البته تیمار حرارتی خشک تأثیر بیشتری بر افزایش قطر فیبر دارد و همچنین تیمار حرارتی مرطوب تأثیر کمی بر میزان معیارهای PFE، BFE، و ΔP دارد [۴۴ و ۴۸].

■ استریلیزه کردن با بخار پراکسید هیدروژن (VHP)

استریلیزه کردن ماسک با بخار هیدروژن تنها روشی است که در حال حاضر توسط FDA برای ضدعفونی کردن ماسک تأیید شده است و به عنوان روش ضدعفونی کننده سیستم مراقبت‌های بحرانی (CCDS™) به صورت تجاری در دسترس است [۳]. پراکسید هیدروژن یک عامل اکسید کننده است و رادیکال‌های هیدروکسیل و اکتنش‌پذیری را تولید می‌کند که به پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک حمله می‌کند و بدین ترتیب باعث غیرفعال شدن ویروس‌ها می‌شوند. بخار پراکسید هیدروژن بدلیل نفوذپذیری، پخش در همه نواحی ماسک و پوشش‌دهی سطح بیشتری از ماسک، همواره تماس

نانومتر است که به راحتی توسط اسیدهای نوکلئیک (در طول موج ۲۶۰ نانومتر) و پروتئین‌ها (در طول موج ۲۸۰ نانومتر) جذب می‌شود [۵۵] در طول عملیات میکروبی کشتی با اشعه فرابنفش، فوتون‌ها با استفاده از اسیدهای نوکلئیک ویروس یا میکروب‌ها جذب می‌شوند. بنابراین، این فوتون‌های جذب شده به DNA/RNA آنها آسیب می‌رسانند و از رشد ویروس‌ها و میکروب‌ها جلوگیری می‌کنند [۴۵] و UVGI [۴۷]. همچنین به پروتئین کپسید نیز هر چند به میزان کمتر آسیب می‌رساند [۵۵]. UVGI بر میکروب‌ها و ویروس‌های کوچک موثر است [۴۵]. هر چه عامل بیماری‌زا بزرگتر باشد، میزان اثرگذاری UVGI در برابر آن کمتر است. فرآیند UVGI بسیار سریع است و فقط ۷۰–۶۰ ثانیه طول می‌کشد تا به‌طور موثر ویروس کرونا را غیرفعال کند [۴۵]. اثربخشی این فرآیند تا حد زیادی به شدت تابش‌دهی که با واحد J/cm^2 بیان می‌شود و طول تابش بستگی دارد.

برای ضدعفونی کامل ماسک نیاز به کاهش بار میکروبی و عوامل بیماری‌زای ماسک تا 10^{-3} است یعنی حدود ۹۹/۹ درصد در کاهش بار میکروبی [۵۶]. لازم به ذکر است که ماسک‌های N95 انواع مختلفی دارند و این تفاوت شامل شکل (مانند فنجان‌ی^{۹۱}، تخت^{۹۲}، یا کیسه‌ای^{۹۳}) و ویژگی‌های طراحی (مانند پلیسه^{۹۴}، شیاردار^{۹۵} و فلپ^{۹۶}) است [۳ و ۵۶]. با توجه به نوع طراحی ممکن است سایه‌هایی در مناطقی از ماسک ایجاد شود که استفاده از UVGI برای آلودگی‌زدایی را محدود کند. چرا که این سایه‌ها می‌تواند از تماس یکنواخت اشعه UV به همه نقاط ماسک جلوگیری کند [۴۴]. یکی دیگر از معایب UVGI این است که به راحتی در مقیاس گسترده در دسترس نیست. بیشتر سیستم‌های UVGI از لامپ‌های کم فشار جیوه‌ای استفاده می‌کنند که خطر آلودگی جیوه را همراه دارد و به همین دلیل در سال ۲۰۱۳ به پیشنهاد سازمان ملل استفاده از آنها ممنوع اعلام شده است [۴۵].

علاوه بر این، لامپ‌های UVGI ازن تولید می‌کنند که دارای اثرات سمی است [۴۵]. به جای این لامپ‌ها می‌توان از منابع UVC-LED استفاده کرد اما لامپ‌های UVC-LED سطوح تابش کمتری دارند و بنابراین باید از تابش بیشتری استفاده شود، که خود می‌تواند هزینه را تا حد زیادی بالا ببرد [۳ و ۴۵].

■ تیمار حرارتی

تیمار حرارتی، شامل حرارت خشک و مرطوبی است که به‌طور معمول در دمای 70°C بر ماسک اعمال می‌شود و با انعقاد برگشت‌ناپذیر پروتئین‌های میکروبی یا ویروسی، ضدعفونی انجام می‌شود [۴۴]. دمای 70°C به مدت ۳ دقیقه می‌تواند SARS-CoV-2 را غیرفعال کند و از مقدارش تا 10^{-3} برابر یعنی حدود ۹۹/۹ درصد می‌کاهد [۵۷]. از آنجا که نقطه تخریب حرارتی^{۹۷} الیاف PP مورد استفاده در ماسک‌های N95 و جراحی 130°C است، تیمار حرارتی نباید از این دما فراتر رود [۴۸]. در عمل، ضدعفونی ماسک با تیمار حرارتی به صورت

درصد مقدار PFE در سرعت جریان هوا ۳۰ لیتر/دقیقه و ۷۰ درصد در سرعت جریان ۸۰ لیتر بر دقیقه گزارش شده است [۶۰]. مطالعات دیگری نیز کاهش PFE را پس از ضد عفونی ماسک با اتانول گزارش کرده‌اند [۴۴]. بنابراین، استفاده از اتانول به لحاظ افزایش نفوذپذیری ماسک کارایی آن را کم می‌کند. چراکه گزارش شده که MPPS از ۰/۲ - ۰/۳ میکرومتر به ۰/۵ میکرومتر بعد از ضد عفونی با الکل تغییر می‌کند [۶۰]. کاهش قابل توجه PFE ماسک‌ها به احتمال زیاد به این دلیل است که اتانول باعث حذف بارهای الکتریکی الیاف می‌شود و فیلتراسیون الکترواستاتیک ماسک را کاهش می‌دهد [۳].

گزارش شده که ضد عفونی با ایزوپروپانول، چگالی بار دو قطبی ماسک‌های N۹۵ را از محدوده ۲۷/۲۹ - ۱۷/۲۸ میکروکلمب بر مترمربع به نزدیک صفر کاهش می‌دهد [۳]. بنابراین، تأثیر مشابه اتانول روی ماسک‌ها دور از انتظار نیست. ضمن آنکه، لایه آبریز ماسک‌های جراحی می‌تواند با الکل غلیظ آسیب ببیند [۳]. هر چند ممکن است هیچ اثر قابل مشاهده‌ای بعد از ضد عفونی ماسک‌ها با اتانول دیده نشود [۶۰].

■ تیمار با مواد نانویی خود تمیز شونده و قابل استفاده مجدد:

قابل استفاده مجدد، خود تمیز شونده، ضد میکروب و ضد ویروس گشوده است [۶۱]. تا به امروز، استفاده از فناوری نانو در ساخت ماسک‌های صورت، بیشتر مرتبط با استفاده از نانوذرات ضد میکروبی یا ضد ویروسی، نانوالیاف و نانوذرات، پوشش‌های فوق آبریز و استفاده از اثرات هم‌افزایی آن در دفع آب و سایر رویکردهای خود تمیز کننده مانند استریلیزاسیون فتوترمال و فوتوکاتالیستی ناشی از نانوذرات بوده است. نانوذرات فلزی خاص، مانند نقره و مس، می‌توانند با آزادسازی یون‌های آزاد که گونه‌های فعال اکسیژن تولید می‌کنند به DNA، RNA و پروتئین‌ها آسیب برسانند و بدین صورت اثرات ضد میکروبی و ضد ویروسی قوی اعمال کنند [۶۲]. نانوذرات فلزی ممکن است با آسیب رساندن به پروتئین‌ها و لیپیدهای ویروسی، به ویژه پروتئین‌های پوششی در غیرفعال سازی ویروس SARS-CoV-2 نقش ایفا نمایند. اگرچه هنوز تحقیقات بیشتری برای تعیین اثربخشی این ماسک‌های مجهز به نانومواد مورد نیاز است، اما به نظر می‌رسد استفاده از نانوذرات ضد میکروبی و ضد ویروسی نویدبخش توسعه و پیشرفت در طراحی و ساخت ماسک‌های قابل استفاده مجدد است [۳]. رویکرد دیگری که در توسعه ماسک‌های مجهز به نانومواد استفاده می‌شود، استفاده از اندازه منافذ ریز تولید شده توسط نانوالیاف است.

نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن است که نانوالیاف با پایه پلیمر الکتروریسی شده، مانند پلی وینیلیدن دی فلوراید^{۹۸}

یکسان با همه نقاط ماسک را فراهم می‌سازد [۴۵]. ضمن آنکه VHP با گذشت زمان بواسطه تبدیل به اکسیژن و بخار آب، بقایایی از مواد شیمیایی مخاطره‌آمیز را حین فرآیند آلودگی‌زدایی بر ماسک باقی نمی‌گذارد [۴۶]. با این وجود، فرآیند VHP محدودیت‌های زیادی هم دارد. اول اینکه یک فناوری به نسبت گران است که به دستگاه‌های تخصصی نیاز دارد. ثانیاً، مشخص شده که فرآیند VHP ممکن است قسمت‌های فلزی ماسک‌های N۹۵ را مستعمل سازد [۴۶] و همچنین با تکرار سیکل‌های تماس، کشسانی نوارهای نگهدارنده ماسک روی صورت را از بین می‌برد [۴۲ و ۴۵]. ثالثاً، قبل از استعمال VHP، پاکسازی گرد و غبار و سایر ناخالصی‌ها از ماسک ضروری است؛ زیرا پراکسید هیدروژن در اثر تماس با بقایای آلی غیرفعال می‌شود [۴۵]. به همین دلیل، فرآیند VHP را نمی‌توان روی انواع ماسک‌هایی که از مواد سلولزی در ساخت و طراحی فیلترهای آن استفاده شده است، اعمال کرد [۴۸]. علاوه بر این، نمی‌توان بلافاصله بعد از تیمار ماسک‌ها با VHP از آنها استفاده کرد. چراکه بقایای پراکسید هیدروژن تا ۲ ساعت بعد از تیمار در سطح داخلی ماسک باقی است. البته بقایای پراکسید هیدروژن، بعد از گذشت ۲ ساعت از تیمار تا ۰/۶ ppm یعنی کمتر از حد مجاز و ایمنی آن که حدود ۱ ppm است کاهش می‌یابد و بعد از ۳ ساعت نیز کاملاً غیرقابل تشخیص می‌شود [۵۹].

■ استفاده از اتیلن اکسید (EtO)

گاز اتیلن اکسید مدتهاست که در صنعت بهداشت و پزشکی به‌عنوان ضد عفونی کننده تجهیزات پزشکی استفاده می‌شود. این فرآیند ضد عفونی به نسبت مشابه VHP است [۴۴]. با این حال، نگرانی کلی در مورد این روش وجود دارد زیرا EtO یک ماده سرطان‌زا و جهش‌زا شناخته شده و می‌تواند از این حیث عوارض جانبی جدی بر سلامت افراد ایجاد کند [۴۴]. خطرات احتمالی تیمار EtO قبل از اینکه بتواند به‌عنوان یک روش کلی برای آلودگی‌زدایی ماسک مورد استفاده قرار گیرد، مستلزم تحقیقات بیشتری است.

■ ضد عفونی با استفاده از اتانول

اتانول یک ضد عفونی کننده عام عوامل بیماری‌زای ویروسی و باکتریایی است. به‌طور خاص، مشخص شده که اتانول حدود 10^{-4} برابر یا بیشتر عفونت ویروس کرونا را کاهش می‌دهد [۳]. اما بعد از خیساندن ماسک‌ها با اتانول ۷۰ درصد به مدت ۲ ساعت به‌منظور ضد عفونی، مشاهده شد که اگرچه تأثیر ناچیزی بر ΔP داشته است اما در میزان PFE کاهش قابل توجهی ایجاد می‌شود [۶۰]. در آزمون NaCl مرکز NIOSH که به‌منظور بررسی MPPS ماسک‌های N۹۵ ضد عفونی شده با اتانول انجام شده، کاهش کمتر از ۹۰

بر تأثیر روش‌های مختلف آلودگی‌زدایی بر یکپارچگی ماسک متمرکز شده‌است. این مطالعات گزارش می‌کنند که در بین تمام روش‌های مورد آزمایش، حرارت مرطوب در دمای 85°C درجه و رطوبت نسبی ۳۰ درصد کمترین تأثیر را بر PFE فیلتر دارد. گزارش شده که میزان PFE ماسک بعد از ۵۰ مرتبه تیمار حرارتی مرطوب تغییر قابل توجهی نمی‌کند؛ از نظر مقایسه روش‌ها در میزان تخریب ماسک، روش UVGI کمترین اثر تخریبی را پس از ۲۰ سیکل تیمار داشته‌است. استفاده از اتانول ۷۵ درصد به‌طور قابل توجهی از PFE ماسک می‌کاهد و بنابراین برای آلودگی‌زدایی ماسک توصیه نمی‌شود [۶۷].

تأثیر UVGI، گرمای خشک و مرطوب 77°C و ایزوپروپانل ۷۵ درصد بر ماسک‌های N۹۵ مقایسه شده‌است. در این مقایسه گزارش شده که تا ۱۰ مرتبه استفاده از UVGI برای آلودگی‌زدایی هنوز PFE ماسک مطلوب است. بین دو روش تیمار حرارتی (حرارت خشک و مرطوب) میزان حفظ PFE فیلترهای دی‌الکترونیک و ارگونومی ماسک در استفاده از حرارت خشک بیشتر است. با این حال، استفاده از ایزوپروپانول به‌طور قابل توجهی PFE فیلترهای دی‌الکترونیک را به واسطه حذف بارهای الکترواستاتیک آن کم می‌کند و بنابراین برای آلودگی‌زدایی ماسک توصیه نمی‌شود [۵۰]. اثر UVGI، حرارت مرطوب (70°C و 75°C)، VHP و EtO بر غیرفعال کردن SARS CoV 2 ماسک‌های N۹۵ نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌است. همه روش‌های مورد آزمون به جز UVGI در از بین بردن این ویروس، مؤثر گزارش شده‌اند. مؤثر گزارش نشدن روش UVGI احتمالاً به دلیل شدت کم تابش UV مورد استفاده در این مطالعه‌ها است. چرا که در این آزمون‌ها از شدت تابش $1/12 \text{ J/cm}^2$ ، یا $0/56 \text{ J/cm}^2$ استفاده شده‌است. البته همه روش‌های یاد شده تا یک مرتبه می‌تواند بر ماسک اعمال شوند بدون آنکه اثر نامطلوب قابل ملاحظه‌ایی بر کارایی ماسک بگذارند. در حالی که با روش آلودگی‌زدایی UVGI، گرمای مرطوب و VHP می‌توان حتی ۱۰ مرتبه از یک ماسک استفاده شود [۶۸]. در یک مقایسه هم عملکرد و تأثیر اتانول ۷۰ درصد، تابش UVGI با شدت 18 J/cm^2 و استفاده VHP بر غیرفعال کردن SARS-CoV2 ماسک‌های N۹۵ آلوده به نمونه‌های بالینی ارزیابی شد.

نتایج نشان داد که حتی پس از یک مرتبه آلودگی‌زدایی با هر دو روش استفاده از اتانول و UVGI عملکرد و یکپارچگی ماسک نامطلوب می‌شود، در حالی که تیمار با VHP تأثیر قابل توجهی بر تناسب ماسک طی دو مرتبه آلودگی‌زدایی ندارد. همچنین مشخص شد که از بین سه روش آلودگی‌زدایی، تنها استفاده از اتانول، RNA قابل تشخیص SARS-CoV-2 روی همه ماسک‌های مورد آزمون را حذف می‌کند. استفاده از VHP، اگرچه به‌طور کامل RNA عفونی SARS-CoV-2 را از همه ماسک‌های مورد آزمون از بین نبرد، اما منجر به کاهش 10^{-5} برابری RNA SARS-CoV-2 دو ماسک N۹۵ شد [۵۱].

مزایای متعددی نسبت به فیلترهای ملت بلون مورد استفاده در ماسک‌های N۹۵ دارد [۶۳]. این مزایا شامل عملکرد فیلتراسیون، مقاومت بیشتر در برابر تصفیه اتانول و آبگریزی پایدار در برابر رطوبت است؛ بنابراین، از رشد باکتری در داخل ماسک جلوگیری و امکان استفاده مجدد چندین مرتبه را فراهم می‌کند [۶۴]. در مقایسه با فناوری میکروفیبرهای رایج که به‌طور معمول در بخش فیلتراسیون ماسک‌های صورت کاربرد دارند، فیلترهای نانوفیبر چند حالتی دارای بار الکترواستاتیکی کارایی فیلتراسیون ممتازی هستند [۶۴].

مسئله موجود در مورد این فناوری شامل توازن بین قطر نانوالیاف و افت فشار ناشی از آن است. در حالی که استفاده از نانوالیاف با قطر کوچکتر منجر به افزایش کارایی ماسک در جذب آئروسول‌های کوچکتر از $0/1$ میکرومتر می‌شود، در عوض می‌تواند باعث افزایش مقاومت ماسک به جریان هوا شده و لذا نفس کشیدن را با مشکل مواجه کند [۶۴].

جدیدترین ماسک‌های مجهز به فناوری نانو از مزایای ترکیبی فوق‌آبگریزی و ظرفیت فوتوترمال نانومواد استفاده کرده‌است. برای این منظور، از لیزر برای کاشت گرافن روی برخی انواع از ماسک‌های جراحی تجاری استفاده شده‌است [۶۵]. این ماسک‌های جراحی اصلاح شده با فناوری نانو، ویژگی فوق‌آبگریزی قابل توجهی از خود نشان داده‌اند و در دفع قطرات آب که در آلودگی ماسک نقش دارند بسیار مؤثر عمل می‌کنند. در همین حال، گرافن می‌تواند به‌عنوان یک جاذب، ظرفیت فوتوترمال ماسک‌ها را افزایش دهد. دمای سطح این ماسک‌های مجهز به نانومواد می‌تواند پس از ۱۰۰ ثانیه تابش نور خورشید به سرعت به بیش از 80°C افزایش یابد [۶۵]. با استفاده از ترکیب هم‌زمان فوق‌آبگریز و فوتوترمال این ماسک‌های نانویی، می‌توان پس از ۱۰ دقیقه قرار دادن ماسک در معرض نور خورشید، تا $99/99$ درصد آئروسول‌های باکتریایی را غیرفعال کرد [۶۶]. اثرات هم‌افزایی مشابهی را می‌توان با نانوذرات ترکیبی پوشش براق/مس^{۹۹} ایجاد کرد. نتایج تحقیقات نشان داده‌اند که این ماسک‌های مجهز به فناوری نانو می‌توانند باکتری‌هایی مانند اشرشیا کلی را به‌طور مؤثر غیرفعال کنند و تا 10^{-4} برابر کاهش دهند و غشای متشکل از ویزیکول‌های چربی حدود 100 نانومتری که مشابه ذرات ویروسی هستند را هم تخریب کنند [۳].

■ مقایسه روش‌های آلودگی‌زدایی ماسک:

چندین متآنالیز وجود دارد که عملکرد روش‌های مختلف آلودگی‌زدایی ماسک را مقایسه کرده‌است [۳ و ۴۴]. اگرچه تا حدودی تناقض در گزارش‌ها وجود دارد، اما به نظر می‌رسد بیشتر متآنالیزها بر این توافق هستند که VHP قابل اطمینان‌ترین و ایمن‌ترین روش برای آلودگی‌زدایی ماسک‌های N۹۵ در سیکل‌های متناوب است. مطالعاتی هم

بیماری همه‌گیر کووید-۱۹ بیش از دو سال است که به طول انجامیده و موجب تغییرات عظیمی در زندگی روزمره ما شده‌است. ویروس عامل این بیماری در طی دو سال اخیر حداقل هفت جهش منجر به افزایش حدت بیماری‌زایی یا سرایت شامل: آلفا، بتا، گاما، اتا، دلتا، لامبدا و سویه اخیر اومیکرون داشته است. ما هنوز توانایی پیش‌بینی تاثیر سویه‌ها را نداریم هر چند نسبت به گذشته ابزارهای بهتری در اختیار داریم ولی قادر به پیش‌بینی زمان ظهور سویه جدید و مسیر تقویت یا تضعیف این جهش‌ها نیستیم. لذا بنظر می‌رسد که همچنان بشر برای مقابله تا ریشه‌کنی کامل این بیماری، راه درازی پیش‌رو دارد.

قطرات تنفسی و آئروسول‌ها به‌عنوان راه‌های انتقال عامل این بیماری یعنی SARS-CoV-2 معرفی و تأیید شده‌است. همچنین این یک حقیقت است که تاثیر ماسک در جلوگیری از انتشار وسیع این ویروس قابل توجه است. در نتیجه، استفاده از ماسک صورت در سطح جهانی توسط بسیاری از آژانس‌های ملی و بین‌المللی توصیه می‌شود و مورد حمایت قرار گرفته است. واکسیناسیون‌های دسته جمعی در بسیاری از کشورها از ابتدای سال ۲۰۲۱ آغاز شده‌است. با این حال، هنوز تعدادی عدم قطعیت در مورد استفاده از واکسن‌ها وجود دارد. از میان آنها می‌توان زمان مورد نیاز برای دستیابی به ایمنی جمعی، اثر آنها در محافظت از افراد در برابر سویه‌های جدید SARS-CoV-2 و احتمال واکسیناسیون افراد مبتلا به عفونت بدون علامت و لذا همچنان احتمال گسترش SARS-CoV-2 به دیگران را بر شمرد. قبل از اینکه این موضوعات کاملاً مرتفع شوند و قبل از اینکه درمانی قطعی برای بیماری کووید-۱۹ محقق شود، مداخلات غیر دارویی، مانند فاصله‌گذاری اجتماعی، استفاده از ماسک صورت و شستن دست‌ها، به احتمال زیاد اصلی‌ترین اقدامات پیشگیرانه در برابر کووید-۱۹ حتی در دوران پس از واکسیناسیون خواهد بود. ضمن آنکه نقش محافظتی انواع ماسک در این پاندمی همچنان ارزشمند است که در آینده استفاده از ماسک برای هر نوع بیماری تنفسی و با هر حدتی، باید به‌عنوان یک توصیه بهداشتی و فرهنگ عمومی مطرح باشد. همان‌طور که مطرح شد همه انواع ماسک‌ها به یک اندازه تولید نمی‌شوند. در حالی که آزمون‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهند که ماسک‌های N۹۵ از نظر عملکرد برتر از ماسک‌های جراحی هستند، مطالعات جمعیتی در کارکنان سیستم بهداشت و درمان، تفاوت‌های قابل توجهی را در میزان حفاظت این ماسک‌ها گزارش نمی‌کند. البته این عدم تفاوت حفاظت، ممکن است ناشی از عدم تناسب و ارگونومی نامطلوب هنگام استفاده از ماسک N۹۵ باشد. در عوض، ماسک‌های پارچه‌ای در مقایسه با ماسک‌های N۹۵ و جراحی در آزمون‌های ارزیابی کارایی ضعیفی نشان می‌دهند. با این حال، تا حدی به دلیل ناتوانی جهان در تأمین تجهیزات حفاظتی شخصی برای همه، هم اکنون ماسک‌های پارچه‌ای رایج‌ترین ابزار محافظ شخصی مورد استفاده توسط عموم مردم است. علیرغم کاستی‌های ماسک‌های پارچه‌ای، نتایج تحقیقات مبنی بر کارایی ماسک‌های پارچه‌ای در کاهش سرعت شیوع کووید-۱۹ وجود دارد. به دلیل فقدان استانداردها و مقررات، نیاز به تحقیق برای شناسایی ترکیبات بهینه از مواد مورد استفاده در تولید پارچه، تعداد لایه‌ها، تعداد نخ‌ها و دیگر خواص موثر در مهندسی صحیح ماسک‌های پارچه‌ای وجود دارد. روش‌های آلودگی‌زدایی که امکان استفاده مجدد از ماسک N۹۵ و جراحی را فراهم می‌کند، در میان همه‌گیری به‌طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. با این وجود، باید توجه داشت که همه ماسک‌های N۹۵ و جراحی برای یکبار مصرف طراحی شده‌اند و همه روش‌های آلودگی‌زدایی تا حدی یکپارچگی و کارایی فیلتراسیون را کم می‌کند. هیچ روش آلودگی‌زدایی وجود ندارد که برای همه انواع ماسک‌های موجود مناسب باشد. ایجاد روش‌های استاندارد برای انواع مدل‌های متنوع ماسک باید توسط تولیدکنندگان و سازمان‌های نظارتی مورد توجه قرار گیرد تا از ثبات و قابلیت اطمینان در فرآیندهای تولید و آلودگی‌زدایی اطمینان حاصل شود. نویسندگان این مقاله امیدوار هستند که مطالعه مروری حاضر تا حدودی توانسته باشد بینشی در مورد نقش ماسک‌های صورت در مهار عفونت کووید-۱۹ در اختیار خوانندگان قرار دهد و اطلاعاتی جدید در خصوص مجموعه قوانین و دستورالعمل‌های روشن و منسجم مرتبط با تولید و استفاده از ماسک را به همه ذی‌نفعان این حوزه ارائه نماید.

پی‌نوشت

۱. مرکز تحقیقات ریزفناوری زیستی، پژوهشگاه فناوری‌های نوین علوم زیستی جهاد دانشگاهی - ابن سینا
۲. دبیر کارگروه تخصصی زیست‌فناوری و عضو تیم همکاری شبکه‌ای - طرح تأمین مواد مرجع شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی
۳. گروه پژوهشی تقاضا محور توسعه مواد مرجع و استاندارد، شرکت توسعه و تجهیز حکمت اندیش ممتاز یاس (حامی)
۴. کارشناس ارشد نانو فناوری، دانشگاه گیلان
۵. کارشناس ارشد آموزش محیط‌زیست، دانشگاه پیام نور، واحد تهران جنوب

6. Alpha variant
7. Beta Variant
8. Gamma Variant
9. Eta variant
10. Delta variant
11. Lambda variant
12. Omicron variant
13. SARS-CoV-2
14. Coronavirus disease 2019 (COVID-19)
15. World Health Organization (WHO)
16. Respiratory droplets
17. Aerosols
18. Centers for Disease Control and Prevention (CDC)
19. Personal protective equipment (PPE)
20. Missouri
21. Filtering facepiece respirators (FFRs)
22. Epidemiology
23. Effective reproduction number (Rt)
24. Elastomeric respirators
25. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)
26. Filtration efficiency (FE)
27. Electrets to electrostatically filter particles
28. Melt-blown
29. Emulated cough jet
30. Face shields
31. Medical-grade respiratory protective equipment (RPE)
32. Particle filtration efficiency (PFE)
33. Quality of fit
34. Downstream particles
35. Upstream particles
36. Filtering Facepieces (FFP)
37. Food and Drug Administration (FDA)
38. American Society for Testing and Materials (ASTM)
39. Bacterial filtration efficiency (BFE)
40. Differential pressure (ΔP)
41. Charge neutralized NaCl test aerosol at a high, fixed flowrate
42. Masks/respirators preconditioned 24 hours before testing
43. Highly conservative and stringent test
44. Bacterial & Viral Filtration Efficiency (BFE/VFE)
45. Breathability
46. Quantitative fit test (QNFT) method
47. PortaCount Respirator Fit Tester
48. Thermo-Systems Inc
49. Mechanical filtration

50. Electrostatic filtration
51. Gravitational sedimentation
52. Inertial impaction
53. Interception
54. Brownian diffusion
55. Electrets
56. Mechanical filtration (MF)
57. Electrostatic filtration (EF)
58. Coulomb's law
59. Particle loading
60. Relative humidity (RH)
61. Downstream suction
62. Cubic feet per minute
63. Aerosol generator
64. Particle counter
65. Differential pressure meter
66. Staphylococcus aureus
67. Sapphire ball lenses
68. non-woven fibrous
69. Polypropylene (PP)
70. Polyacrylonitrile
71. Meltblowing
72. Spunbonding
73. Microcoulomb
74. scanning electron microscope (SEM)
75. Threads per inch (TPI)
76. Flannel
77. Chiffon
78. Spandex
79. Twill blend
80. Most penetrating particle size (MPPS)
81. Aerosol generating procedures (AGP)
82. European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC)
83. Total inward leakage (TIL)
84. Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI)
85. Dry and moist heat
86. Vaporized hydrogen peroxide (VHP)
87. Ethylene oxide (EtO)
88. Microwave generated steam (MGS)
89. Metallic noseband
90. Critical Care Decontamination System (CCDS)
91. Cup
92. Flatfold
93. Pouch
94. Pleats
95. Ridges
96. Flaps
97. Thermal degradation point
98. Polyvinylidene difluoride
99. Shellac/copper nanoparticles

- [1] Organization, W.H. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. 2021; Available from: https://covid19.who.int/?adgroupsurvey={adgroupsurvey}&gclid=EAIaIQobChMIgeKZ46Cm8wIVBoGRCh2umgEsEAAYASABEGl_nvD_BwE.
- [2] Buonanno, G., L. Stabile, and L. Morawska, Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment international*, 2020. 141: p. 105794.
- [3] Ju, J.T., L. Boisvert, and Y.Y. Zuo, Face masks against COVID-19: Standards, efficacy, testing and decontamination methods. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2021: p. 102435.
- [4] Morawska, L. and J. Cao, Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment international*, 2020. 139: p. 105730.
- [5] Morawska, L. and D.K. Milton, It is time to address airborne transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Clinical Infectious Diseases*, 2020. 71(9): p. 2311-2313.
- [6] Tang, S., et al., Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environment international*, 2020. 144: p. 106039.
- [7] Veldhuizen, R.A., et al., The COVID-19 pandemic: a target for surfactant therapy? *Expert review of respiratory medicine*, 2021. 15(5): p. 597-608.
- [8] Zhang, R., et al., Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. 117(26): p. 14857-14863.
- [9] Zuo, Y.Y., W.E. Uspal, and T. Wei, Airborne transmission of COVID-19: aerosol dispersion, lung deposition, and virus-receptor interactions. *ACS nano*, 2020. 14(12): p. 16502-16524.
- [10] Fennelly, K.P., Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. *The Lancet Respiratory Medicine*, 2020.
- [11] Liang, D., et al., Urban air pollution may enhance COVID-19 case-fatality and mortality rates in the United States. *The Innovation*, 2020. 1(3): p. 100047.
- [12] Howard, J., et al., An evidence review of face masks against COVID-19. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021. 118(4).
- [13] Brooks, J.T., J.C. Butler, and R.R. Redfield, Universal masking to prevent SARS-CoV-2 transmission—the time is now. *Jama*, 2020. 324(7): p. 635-637.
- [14] Hendrix, M.J., Absence of apparent transmission of SARS-CoV-2 from two stylists after exposure at a hair salon with a universal face covering policy—Springfield, Missouri, May 2020. *MMWR. Morbidity and mortality weekly report*, 2020. 69.
- [15] Eikenberry, S.E., et al., To mask or not to mask: Modeling the potential for face mask use by the general public to curtail the COVID-19 pandemic. *Infectious Disease Modelling*, 2020. 5: p. 293-308.
- [16] bin-Reza, F., et al., The use of masks and respirators to prevent transmission of influenza: a systematic review of the scientific evidence. *Influenza and other respiratory viruses*, 2012. 6(4): p. 257-267.
- [17] Canini, L., et al., Surgical mask to prevent influenza transmission in households: a cluster randomized trial. *PloS one*, 2010. 5(11): p. e13998.
- [18] COWLING, B.J., et al., Face masks to prevent transmission of influenza virus: a systematic review. *Epidemiology & infection*, 2010. 138(4): p. 449-456.
- [19] Radonovich, L.J., et al., N95 respirators vs medical masks for preventing influenza among health care personnel: a randomized clinical trial. *Jama*, 2019. 322(9): p. 824-833.
- [20] Doung-Ngern, P., et al., Case-control study of use of personal protective measures and risk for SARS-CoV 2 infection, Thailand. *Emerging infectious diseases*, 2020. 26(11): p. 2607.
- [21] Inglesby, T.V., Public health measures and the reproduction number of SARS-CoV-2. *Jama*, 2020. 323(21): p. 2186-2187.
- [22] FDA, U., Use of Respirators, Facemasks, and Cloth Face Coverings in the Food and Agriculture Sector During Coronavirus Disease (COVID-19) Pandemic. 2021.
- [23] Verma, S., M. Dhanak, and J. Frankenfield, Visualizing the effectiveness of face masks in obstructing respiratory jets. *Physics of Fluids*, 2020. 32(6): p. 061708.

- [24] Salimnia, H., et al., A laboratory model demonstrating the protective effects of surgical masks, face shields, and a combination of both in a speaking simulation. *American Journal of Infection Control*, 2021. 49(4): p. 409-415.
- [25] Verma, S., M. Dhanak, and J. Frankenfield, Visualizing droplet dispersal for face shields and masks with exhalation valves. *Physics of Fluids*, 2020. 32(9): p. 091701.
- [26] CDC, Use Masks to Slow the Spread of COVID-19 Updated. 2021.
- [27] Department of Health and Human Services, C., Part 84-Approval of respiratory protective devices, in Part, 84. 2004-10-01.
- [28] ASTM, Standard specification for performance of materials used in medical face masks. 2019, ASTM Committee F23. ASTM International. West Conshohocken, PA.
- [29] Standardization, E.C.f., EN 14683:2019+AC:2019(MAIN) Medical face masks - Requirements and test methods. 2019.
- [30] Fischer, E.P., et al., Low-cost measurement of face mask efficacy for filtering expelled droplets during speech. *Science Advances*, 2020. 6(36): p. eabd3083.
- [31] Rengasamy, S., et al., A comparison of facemask and respirator filtration test methods. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2017. 14(2): p. 92-103.
- [32] Tcharkhtchi, A., et al., An overview of filtration efficiency through the masks: Mechanisms of the aerosols penetration. *Bioactive materials*, 2021. 6(1): p. 106-122.
- [33] Konda, A., et al., Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. *ACS nano*, 2020. 14(5): p. 6339-6347.
- [34] Wang, C.-S., Electrostatic forces in fibrous filters—a review. *Powder Technology*, 2001. 118(1-2): p. 166-170.
- [35] Silverman, L., et al., Air flow measurements on human subjects with and without respiratory resistance at several work rates. *Arch. Indust. Hyg. & Occupational Med.*, 1951. 3(5): p. 461-78.
- [36] Forouzandeh, P., K. O'Dowd, and S.C. Pillai, Face masks and respirators in the fight against the COVID-19 pandemic: An overview of the standards and testing methods. *Safety science*, 2021. 133: p. 104995.
- [37] Services, D.o.H.a.H., PART 84—Approval of respiratory protective devices. 2004.
- [38] Neupane, B.B., et al., Optical microscopic study of surface morphology and filtering efficiency of face masks. *PeerJ*, 2019. 7: p. e7142.
- [39] Zhao, M., et al., Household materials selection for homemade cloth face coverings and their filtration efficiency enhancement with triboelectric charging. *Nano letters*, 2020. 20(7): p. 5544-5552.
- [40] Zangmeister, C.D., et al., Filtration efficiencies of nanoscale aerosol by cloth mask materials used to slow the spread of SARS-CoV-2. *ACS nano*, 2020. 14(7): p. 9188-9200.
- [41] Hao, W., et al., Filtration performances of non-medical materials as candidates for manufacturing facemasks and respirators. *International journal of hygiene and environmental health*, 2020. 229: p. 113582.
- [42] Chua, M.H., et al., Face masks in the new COVID-19 normal: materials, testing, and perspectives. *Research*, 2020. 2020.
- [43] Rengasamy, S., B.C. Eimer, and J. Szalajda, A quantitative assessment of the total inward leakage of NaCl aerosol representing submicron-size bioaerosol through N95 filtering facepiece respirators and surgical masks. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2014. 11(6): p. 388-396.
- [44] Polkinghorne, A. and J. Branley, Evidence for decontamination of single-use filtering facepiece respirators. *Journal of Hospital Infection*, 2020. 105(4): p. 663-669.
- [45] Torres, A.E., et al., Ultraviolet-C and other methods of decontamination of filtering facepiece N-95 respirators during the COVID-19 pandemic. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2020. 19(6): p. 746-751.
- [46] Viscusi, D.J., et al., Evaluation of five decontamination methods for filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene*, 2009. 53(8): p. 815-827.
- [47] Lindsley, W.G., et al., Effects of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) on N95 respirator filtration performance and structural integrity. *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2015. 12(8): p. 509-517.

- [48] Daeschler, S.C., et al., Effect of moist heat reprocessing of N95 respirators on SARS-CoV-2 inactivation and respirator function. *Cmaj*, 2020. 192(41): p. E1189-E1197.
- [49] Pascoe, M., et al., Dry heat and microwave-generated steam protocols for the rapid decontamination of respiratory personal protective equipment in response to COVID-19-related shortages. *Journal of Hospital Infection*, 2020. 106(1): p. 10-19.
- [50] Ou, Q., et al., Evaluation of decontamination methods for commercial and alternative respirator and mask materials—view from filtration aspect. *Journal of Aerosol Science*, 2020. 150: p. 105609.
- [51] Smith, J.S., et al., Effect of various decontamination procedures on disposable N95 mask integrity and SARS-CoV-2 infectivity. *Journal of Clinical and Translational Science*, 2021. 5(1).
- [52] Cai, C. and E.L. Floyd, Effects of Sterilization With Hydrogen Peroxide and Chlorine Dioxide Solution on the Filtration Efficiency of N95, KN95, and Surgical Face Masks. *JAMA network open*, 2020. 3(6): p. e2012099-e2012099.
- [53] Kobayashi, L.M., et al., Extended use or reuse of N95 respirators during COVID-19 pandemic: an overview of national regulatory authority recommendations. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 2020. 41(11): p. 1364-1366.
- [54] MacIntyre, C.R., et al., Contamination and washing of cloth masks and risk of infection among hospital health workers in Vietnam: a post hoc analysis of a randomised controlled trial. *BMJ open*, 2020. 10(9): p. e042045.
- [55] Gilbert, R.M., et al., Mask reuse in the COVID-19 pandemic: creating an inexpensive and scalable ultraviolet system for filtering facepiece respirator decontamination. *Global Health: Science and Practice*, 2020. 8(3): p. 582-595.
- [56] Mills, D., et al., Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American journal of infection control*, 2018. 46(7): p. e49-e55.
- [57] Yap, T.F., et al., A predictive model of the temperature-dependent inactivation of coronaviruses. *Applied physics letters*, 2020. 117(6): p. 060601.
- [58] Li, D.F., et al., It's not the heat, it's the humidity: effectiveness of a rice cooker-steamer for decontamination of cloth and surgical face masks and N95 respirators. *American journal of infection control*, 2020. 48(7): p. 854-855.
- [59] Cheng, V., et al., Disinfection of N95 respirators by ionized hydrogen peroxide during pandemic coronavirus disease 2019 (COVID-19) due to SARS-CoV-2. *The Journal of hospital infection*, 2020. 105(2): p. 358.
- [60] Grinshpun, S.A., M. Yermakov, and M. Khodoun, Autoclave sterilization and ethanol treatment of re-used surgical masks and N95 respirators during COVID-19: impact on their performance and integrity. *Journal of Hospital Infection*, 2020. 105(4): p. 608-614.
- [61] Weiss, C., et al., Toward nanotechnology-enabled approaches against the COVID-19 pandemic. *ACS nano*, 2020. 14(6): p. 6383-6406.
- [62] Zhou, J., et al., Progress and perspective of antiviral protective material. *Advanced Fiber Materials*, 2020. 2(3): p. 123-139.
- [63] Ullah, S., et al., Reusability comparison of melt-blown vs nanofiber face mask filters for use in the coronavirus pandemic. *ACS Applied Nano Materials*, 2020. 3(7): p. 7231-7241.
- [64] Leung, W.W.-F. and Q. Sun, Charged PVDF multilayer nanofiber filter in filtering simulated airborne novel coronavirus (COVID-19) using ambient nano-aerosols. *Separation and purification technology*, 2020. 245: p. 116887.
- [65] Zhong, H., et al., Reusable and recyclable graphene masks with outstanding superhydrophobic and photothermal performances. *ACS nano*, 2020. 14(5): p. 6213-6221.
- [66] Huang, L., et al., Self-reporting and photothermally enhanced rapid bacterial killing on a laser-induced graphene mask. *ACS nano*, 2020. 14(9): p. 12045-12053.
- [67] Liao, L., et al., Can N95 respirators be reused after disinfection? How many times? *ACS nano*, 2020. 14(5): p. 6348-6356.
- [68] Kumar, A., et al., Decontamination of N95 masks for re-use employing 7 widely available sterilization methods. *PLoS One*, 2020. 15(12): p. e0243965.

Authors

Mohammad-Reza Nejadmoghaddam^{1,2*}

Seyyedeh Azadeh Hosseini Olam³

Samira Rashvan Haranaki⁴

*mrnejadmoghaddam@gmail.com

1. Nanobiotechnology Research Center, Avicenna Research Institute, ACECR, Tehran, Iran.
2. Biotechnology Expert working group and Iran High-Tech Laboratory Network (Labsnet)
3. Msc in nanotechnology, University of Guilan
4. Msc in Environmental Education, Payamenoor University, South Tehran Branch



Standardization, Quality tests, and Cleansing Methods to Reuse Face Masks Used in Coronavirus and Respiratory Diseases Outbreaks

Abstract

Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2, is the cause of the new Coronavirus 2019 disease, which has caused a severe pandemic that is unprecedented 21st century. The virus has triggered at least seven mutations in the last two years, leading to either an increase in pathogenicity or transmission. Including, Alpha, Beta, Gamma, Eta, Delta, Lambda, and the recent emergence of Omicron variants. Indicating, we have a long way to deal with the complete eradication of this disease. Several scientific evidence show that respiratory droplets and aerosols are the most common route for coronavirus transmission. Using face masks by all people is generally recommended as a simple and inexpensive solution to cut this outbreak as the virus can be transmitted by asymptomatic patient. Many governments and public health organizations around the world have promoted the use of face masks in public places and have made them mandatory, especially in situations where social distancing is not possible; However, the effectiveness of face mask remains a challenge. This paper considers the challenges from three viewpoints: the quality standards of different face masks and the basis of their filtration mechanisms, the quantitative methods available to determine mask integrity and efficiency in particle filtration, and finally disinfection methods for disposable masks that make possible their reuse.

Keywords

Corona virus, COVID 19, face mask, filtration, decontamination and reusing

Comparison of atomic force microscopy with some common methods in measuring surface roughness Abstract



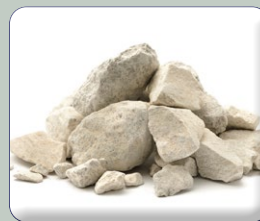
Standardization, Quality tests, and Cleansing Methods to Reuse Face Masks Used in Coronavirus and Respiratory Diseases Outbreaks



Common diseases of farmed shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and laboratory diagnostic methods



Genetic studies in ancient excavations (geoarchaeology)



Prediction of UCs Sterength of Limestone Using Neural Network and ANFIS (Case Study)



Determination of the Uncertainty Sources of Vicat Softening Temperature for Thermoplastic Material