

تأثیر سیکل شستشو بر کارایی ماسک‌های پارچه‌ای تکمیل‌شده با هیدروکسی آپاتیت

ابوالفضل زارع^۱، رستم نمیرانیان^۱، حسین ملاحسینی^۲، حامده رحیم‌نژاد^۱، ساجده رحیم‌نژاد^۱

^۱ دانشکده مهندسی نساجی - دانشگاه یزد - یزد ۸۹۱۵۸۱۸۴۱۱

^۲ مدرس آموزش و پرورش ناحیه یک یزد - سازمان آموزش و پرورش - یزد ۸۹۱۶۸۴۵۹۸۳

a.zare@yazd.ac.ir

چکیده:

شیوع ویروس کرونا که از اواخر سال ۲۰۱۹ آغاز شد، منجر به افزایش چشمگیر تقاضای ماسک صورت شده است. ماسک‌های پارچه‌ای ساده‌ترین نوع ماسک‌هایی هستند که می‌توان برای محافظت در برابر ویروس از آن‌ها استفاده نمود. امروزه برای بهبود عملکرد ماسک‌ها از ترکیباتی همچون هیدروکسی آپاتیت استفاده می‌شود. این ترکیب در بدن هیچ گونه تأثیر سمی نداشته و سازگاری زیستی خوبی با بافت‌های بدن برقرار می‌سازد. در این مقاله، منسوج بی‌بافت اسپانداوند با هیدروکسی آپاتیت تکمیل شده و از این منسوج به عنوان لایه میانی در تهیه ماسک‌های سه‌لایه استفاده می‌گردد که لایه داخلی و خارجی ماسک‌های تولیدی از دو نوع منسوج با ساختار حلقوی پودی و تافته می‌باشد. پس از آماده‌سازی ماسک‌ها، به منظور اندازه‌گیری میزان عبور آلاینده‌های موجود در هوا از دستگاه شبیه‌سازی شده طراحی شده، استفاده گردید. سپس تأثیر سیکل‌های شستشو بر عملکرد این نوع ماسک‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که برای هر سه لایه ماسک (داخلی - میانی - خارجی) تأثیر ساختار ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن، معنی‌دار هست. علاوه بر این نتایج نشان داد که ماسک‌هایی که حاوی لایه میانی تکمیل‌شده با هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار دوپ‌شده با نانوذرات اکسید روی می‌باشند دارای بالاترین میزان نفوذپذیری هوا می‌باشند.

کلمات کلیدی: اکسید روی، هیدروکسی آپاتیت، ماسک پارچه‌ای، سیکل شستشو، شبیه‌سازی

The effect of washing cycles on the efficiency of fabric face masks treated with hydroxyapatite

Abolfazl Zare¹, Rostam namiranian¹, Hossain Mollahosseini², Hamedeh Rahimnezhad¹, Sajedah Rahimnezhad¹

¹Department of Textile Engineering, Yazd University, Yazd, Iran-8915818411

²Education teacher of one district of Yazd - Education Organization - Yazd-8916845983

a.zare@yazd.ac.ir

Abstract:

The outbreak of the corona virus, which began in late 2019, has led to a significant increase in the demand for face masks. Fabric masks are the simplest type of face masks that can be used to protect against the virus. Today, compounds such as hydroxyapatite used to improve the performance of face masks. These material do have any toxic effect in the body and are suitable biocompatible with body tissues. In this article, spun bond non-woven fabric treated with hydroxyapatite and used as middle layer in 3-ply face masks whereas inner and outer layers were fabricated with two types of weft knitted and plain. After preparing the face masks, the designed simulated device was used to measure the passage of pollutants in the air. On the other hand, the effect of washing cycles on the performance of these types of masks was investigated. The results showed that for all three mask layers (inner-middle-outer), the effect of mask structure and washing cycle on weight changes is significant. In addition, the results showed that the masks containing middle layer treated with hydroxy apatite nano-structure doped with ZnO nanoparticles have the highest air permeability.

Keywords: Zinc oxide, Hydroxyapatite, Fabric face mask, Washing cycle, Simulation

۱- مقدمه

مدت طولانی است که جهان با یک بیماری به نام کووید ۱۹ دست و پنجه نرم می‌کند که باعث شد کشورها راهی برای کنترل این بیماری پیدا کنند. تصمیم اولیه کشورها، قرنطینه بود. علاوه بر این دانشمندان تلاش کردند تا یک واکسن یا داروی مناسب را تولید نمایند. با این حال، به دلیل طولانی شدن محدودیت‌ها و گران بودن واکسن‌های اولیه و همچون شرایط نگهداری و حمل آن‌ها، کشورها مجبور شدند که از روش‌های دیگری همچون توصیه به ماسک‌زدن برای افراد به منظور محافظت در برابر ویروس و ایجاد فاصله اجتماعی در مکان‌های عمومی استفاده نمایند [۲۱]. در دوران همه‌گیری کرونا، تقاضای گسترده برای ماسک‌های پزشکی و ماسک‌های تنفسی مصنوعی باعث کمبود یا دسترس نبودن این نوع ماسک‌ها در بسیاری از کشورها شد بنابراین برخی از افراد برای محافظت تنفسی هنگام ورود به یک مکان عمومی از ماسک‌های پارچه‌ای استفاده نمودند. ماسک‌های پارچه‌ای، ساده‌ترین نوع ماسک است که می‌توان در مدت زمان‌های متفاوت از آن‌ها استفاده نمود. یکی از محدودیت‌های استفاده از این نوع ماسک‌ها آن است که با توجه به نوع بافت و اندازه منافذ موجود در آن‌ها، نمی‌توانند همچون ماسک‌های جراحی که از منسوجات بی‌بافت تهیه شده‌اند کارایی لازم به منظور جلوگیری از ذرات آئروسول و ذرات ویروس‌ها را داشته باشند

بنابراین برای تولیدکنندگان ماسک‌های پارچه‌ای ساده، بهره‌وری و کیفیت فیلتراسیون این ماسک‌ها جای سوال است زیرا اثربخشی آن‌ها در برابر ذرات بزرگتر و کوچکتر از ۱۰۰۰ نانومتر از جمله ویروس‌ها به خوبی درک نشده است از این‌رو مطالعاتی در مورد کارایی فیلتراسیون ماسک‌های ساده پارچه‌ای یا پارچه‌هایی که می‌توان برای ساخت آن‌ها استفاده کرد، انجام شد [۳-۵]. از آنجایی که قیمت تمام‌شده این نوع ماسک‌ها نسبت به ماسک‌های یکبارمصرف بیشتر می‌باشد از این‌رو استفاده مجدد از این نوع ماسک‌ها بعد از شستشو به عنوان مزیتی برای آن‌ها توسط تولیدکنندگانشان ذکر می‌گردد [۶]. یکی از این ویژگی‌هایی که می‌توان بر روی انواع ماسک‌ها مورد نظر قرار گیرد، خاصیت ضد میکروب کردن آن‌ها هست. ترکیبات ضد میکروبی بر روی سطح حرکت کرده و پس از ورود به میکرواورگانیزم‌ها، آن‌ها را سمی کرده، پروسه حیات آن‌ها را مختل و در نهایت منجر به مرگ میکروب‌ها می‌شوند از این‌رو روش‌هایی برای استفاده از مواد مختلف برای از بین بردن ویروس‌ها و میکروب‌ها انجام شد [۷ و ۸]. در یک مقاله مروری در سال ۲۰۲۲، مروری بر روش‌های ضد میکروب نمودن منسوجات مخصوصاً منسوجات نظامی انجام شده است [۹]. هیدروکسی آپاتیت، دارای یون‌های آنیونی هیدروکسیل می‌باشد که با کربنات، کلرید یا فلورید قابل جایگزین بوده و باعث ایجاد فلوراپاتیت یا کلروپاتیت می‌شوند [۱۰]. هیدروکسی آپاتیت دارای خواص عالی از جمله

1 - COVID-19

با اندازه ۲/۵ تا ۱۰ میکرون را حذف کند. نتایج نشان داد کاغذ فیلتر هوا هیدروکسی آپاتیت/ الیاف پنبه آماده شده دارای مزایایی از جمله تخلخل زیاد، کارایی حذف زیاد، قابلیت کارایی طولانی و ضخامت و افت فشار کمتر نسبت به ماسک تنفسی تجاری می‌باشد [۱۸]. فریرا^۴ و همکارانش در سال ۲۰۱۹ از پارچه پنبه‌ای همراه با نانوکامپوزیت‌هایی بر پایه هیدروکسی آپاتیت و نانوذرات نقره در لباس‌های بیمارستانی استفاده نمودند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها، اشباع نانوذرات نقره را در هیدروکسی آپاتیت نشان داد. آزمایش‌های کمی و کیفی مربوط به فعالیت ضد میکروبی، عملکرد ضد میکروبی عالی را برای نانوذرات نقره و هیدروکسی آپاتیت نشان داد [۱۹]. برای مشخص کردن ویژگی هیدروکسی آپاتیت در تقویت خواص فیلتراسیون، تحقیقی توسط شهبازی و همکارانش صورت گرفت. آن‌ها از ذرات نانوساختار هیدروکسی آپاتیت و نانوالیاف پلی اکریلونیتریل برای تقویت خواص فیلتراسیون لایه‌های ماسک تنفسی استفاده کردند. لایه‌های مورد استفاده متشکل از لایه‌های منسوجات بی‌بافت شامل اسپان باند، ملت بلون و نانوالیاف الکترورسی شده بود. راندمان فیلتراسیون برای ذرات با اندازه‌های مختلف و همچنین افت فشار ایجاد شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد وجود ذرات نانوساختار هیدروکسی آپاتیت باعث افزایش راندمان فیلتراسیون شده ولی تأثیر چندانی بر روی افت فشار ندارد. افزایش وزن نانوالیاف، راندمان فیلتراسیون را

نسبت سطح به حجم بالا، تخلخل‌پذیری، غیر سمی و غیرالتهابی، پایداری تحت شرایط خنثی، حلالیت کم در آب و مقاومت در برابر شکستگی می‌باشد. ویژگی‌هایی از جمله سازگاری زیستی، تجزیه‌پذیری و فعالیت زیستی باعث شده است که در زمینه‌های بین رشته‌ای علوم مانند شیمی، زیست‌شناسی و پزشکی بسیار مفید باشد [۱۵-۱۱]. در زمینه استفاده از هیدروکسی آپاتیت بر روی پارچه و کاربرد آن، مطالعاتی انجام شده است که از جمله می‌توان به تحقیقی اشاره کرد که از نانوذرات هیدروکسی آپاتیت و نقره برای دادن خواص چند منظوره به پارچه‌های پنبه‌ای، از جمله رنگ درخشان، محافظت در برابر اشعه ماوراءبنفش و فعالیت ضد میکروبی استفاده شده است [۱۶]. یانگ^۲ و همکارانش، آماده‌سازی و خواص دو نوع فیلتر هیدروکسی آپاتیت از جمله پارچه‌های فیلتری انعطاف‌پذیر و سرامیک‌های متخلخل را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها پارچه فیلتر را با رسوب سرامیک هیدروکسی آپاتیت با اندازه نانو روی پارچه پنبه‌ای تهیه و سرامیک متخلخل با ساختار ریز متشکل از منافذ نسبتاً کوچک و منافذ، بزرگ مورد آزمایش قرار دادند. آزمایش‌های فعالیت ضد باکتری نشان داد که پارچه فیلتر شش‌لایه می‌تواند باکتری‌ها را به طور موثر از بین ببرد [۱۷]. در سال ۲۰۱۷ شیونگ^۳ و همکارانش یک نوع جدیدی از کاغذ فیلتر هوا که از نانوالیاف هیدروکسی آپاتیت و الیاف پنبه تهیه شده بود را گزارش دادند. این نوع فیلتر می‌تواند ذرات معلق در هوا

⁴ Ferreira² Yang³ Xiong

۲- تجربیات

۲-۱- مواد مصرفی

برای تهیه ماسک‌های پارچه‌ای از دو نوع پارچه مختلف استفاده می‌گردد که ساختار بافت پارچه اول از نوع حلقوی پودی بوده و پارچه دوم دارای بافت تافته می‌باشد. جنس پارچه اولی از پلی استر-ویسکوز و دومی از نوع الیاف پلی استر با ابعاد میکرو می‌باشد. لازم به ذکر است که برای تهیه ماسک‌های سه لایه از این نوع پارچه‌ها برای لایه داخلی و خارجی ماسک‌ها استفاده شده و از لایه منسوج بی‌بافت اسپان باند تکمیل شده به عنوان لایه میانی استفاده می‌گردد. مشخصات پارچه تافته مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

افزایش و افت فشار لایه را نیز بالا می‌برد. استفاده از ذرات نانو ساختار هیدروکسی آپاتیت و الکتروسی نانوالیاف پلی-اکریلونیتریل در یک ضخامت مشخص به تقویت خواص فیلتراسیون لایه‌های ماسک تنفسی کمک می‌کند [۱۸]. در این مقاله، منسوج بی‌بافت اسپان باند با هیدروکسی آپاتیت تکمیل شده و از این منسوج به عنوان لایه میانی در تهیه ماسک‌های سه لایه استفاده می‌گردد که لایه داخلی و خارجی ماسک‌های تولیدی از دو نوع منسوج با ساختار حلقوی پودی و تافته می‌باشد. پس از آماده‌سازی ماسک‌ها، به منظور اندازه گیری میزان عبور آلاینده‌های موجود در هوا از دستگاه شبیه سازی شده طراحی شده، استفاده گردید. سپس تأثیر سیکل های شستشو بر عملکرد این نوع ماسک‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: مشخصات منسوج تافته مورد استفاده

نام	وزن واحد سطح (گرم بر متر مربع)	نمره نخ تار (دنیر)	نمره نخ پود (دنیر)	تراکم تار (در سانتی‌متر)	تراکم پود (در سانتی‌متر)
پارچه تافته	55	75	30	32	22

به منظور افزایش کارایی ماسک‌های پارچه‌ای، لایه میانی را با مواد مختلفی تکمیل نموده که مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات مواد مصرفی تکمیلی برای لایه میانی بی‌بافت اسپان باند

کد نمونه	مشخصات مواد تکمیلی
A	هیدروکسی آپاتیت معمولی با غلظت 20% (وزنی/وزنی)
B	هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار با غلظت 20% (وزنی/وزنی)
C	هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار با غلظت 20% (وزنی/وزنی) دوپ شده با نانوذرات ZnO با غلظت 0.5% (وزنی/وزنی)

۲-۲- آماده سازی نمونه‌ها

بدین منظور، امولسیون مربوطه از مواد موردنیاز را در حمام تکمیل آماده شده و نمونه‌های ماسک آماده شده درون ظرف امولسیون به مدت زمان ۳۰ دقیقه و در دمای محیط قرار داده شد. پس از فرایند آغشته‌سازی، نمونه‌ها خارج و از غلتک‌های

فولارد با برداشت ۱۰۰٪، نمونه‌ها عبور داده شدند. به منظور تثبیت مواد تکمیلی بر روی ماسک‌ها، نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه در استنتر و در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در نهایت ۶ نمونه ماسک پارچه‌ای تهیه شدند که کد نمونه و مشخصات آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: مشخصات ماسک‌های تهیه شده

کد نمونه	نمونه ماسک‌ها
1	ماسک تهیه‌شده از پارچه با بافت حلقوی پودی و لایه میانی تکمیل‌شده با هیدروکسی آپاتیت معمولی با غلظت 20%
2	ماسک تهیه‌شده از پارچه با بافت حلقوی پودی و لایه میانی تکمیل‌شده با هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار با غلظت 20%
3	ماسک تهیه‌شده از پارچه با بافت حلقوی پودی و لایه میانی تکمیل‌شده با ماده هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار با غلظت 20% دوپ-شده با نانوذرات اکسید روی با غلظت 0.5%
4	ماسک تهیه‌شده از پارچه با بافت تافته و لایه میانی تکمیل‌شده با هیدروکسی آپاتیت معمولی با غلظت 20%
5	ماسک تهیه‌شده از پارچه با بافت تافته و لایه میانی تکمیل‌شده با هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار با غلظت 20%
6	ماسک تهیه‌شده از پارچه با بافت تافته و لایه میانی تکمیل‌شده با ماده هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار با غلظت 20% دوپ‌شده با نانوذرات اکسید روی با غلظت 0.5%

۲-۳- شستشوی نمونه‌ها

برای شستشوی نمونه‌ها از دستگاه رنگرزی تحت فشار استفاده شد. عملیات شستشو طبق استاندارد ISO 105- C10:2006

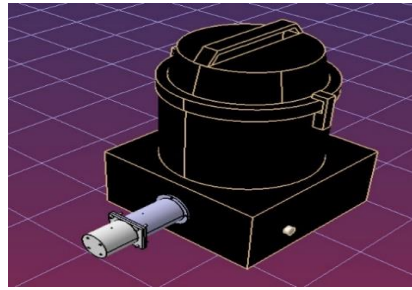
انجام شد. شستشوی نمونه‌ها با ۵ گرم بر لیتر صابون غیریونی خانگی و آب مقطر در $L:R=1:20$ و در دو سیکل شستشو صورت گرفت که در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴: سیکل‌های شستشو

سیکل	دما (درجه سانتیگراد)	مدت زمان (دقیقه)	دور (rpm)
اول	50	45	15
دوم	50	45	30

به منظور شبیه‌سازی دم انسان‌ها و میزان عبور ذرات آئروسول

و ذرات میکروبی از ماسک‌ها، از دستگاه نشان‌داده‌شده در شکل ۱ استفاده شد.



شکل ۱: طرح سه بعدی دستگاه اندازه‌گیری میزان عبور آلاینده‌ها از لایه‌های ماسک

کردن مجدد ماسک موجود، تغییرات وزن محاسبه می‌شود. از ترازوی دیجیتال با دقت ۴ رقم اعشار برای محاسبه وزن و اختلاف وزن نمونه‌ها استفاده شد. از نرم افزار spss 2020 به منظور تحلیل آماری نتایج استفاده شد. آزمون آماری تحلیل واریانس در سطح معناداری ۹۵٪ و با خطای نوع اول ۵٪ (p-value) انجام شده است. نتایج حاصله از ۴ تکرار برای هر نمونه حاصل شده‌اند.

۲-۴-آزمون نفوذپذیری هوا

این آزمون بر اساس استاندارد ISIR 1245 انجام شده است. نمونه را به ابعاد (۹×۹) سانتی‌متر مربع جدا کرده و آن را روی دستگاه محکم می‌کنیم. شیر را آرام باز کرده تا فشار روی دستگاه به عدد موردنظر برسد. پس از تنظیم، شیطانک در مقابل عددی قرار می‌گیرد که عدد خوانده شده بر روی روتامتر میزان هوای عبوری از نمونه است.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

داده‌های مربوط به تغییرات وزن هر سه لایه ماسک قبل از شستشو، پس از سیکل اول شستشو و پس از سیکل دوم شستشو به ترتیب در جدول ۴، ۵ و جدول ۶ آورده شده است.

با استفاده از این دستگاه که از اجزا مختلفی تشکیل شده است می‌توان به صورت نسبی میزان عبور مواد ریز با اندازه میکرومتر به بالا از لایه‌های ماسک را بدست آورد. جعبه مشکی رنگ که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید محل قرارگیری موتور برای ایجاد مکش است. روی جعبه یک دیمر تعبیه شده است که تنظیم کننده شدت مکش است. به جعبه مشکی رنگ یک محفظه‌ی استوانه‌ای شکل وصل شده است. این محفظه‌ای است که ذرات پس از عبور از ماسک وارد آن می‌شوند. پس از آن صفحه‌های نگهدارنده ماسک است. در وسط دو صفحه، محل قرارگیری ماسک می‌باشد. به این صفحات یک محفظه استوانه‌ای شکل وصل است که در واقع محفظه نگهداری ذرات و مواد موردآزمایش است. روی این محفظه سوراخ‌هایی برای ایجاد مکش بهتر تعبیه شده است. نحوه عملکرد دستگاه بدین صورت است که در ابتدا در داخل محفظه نگهداری، ۱/۰ گرم پودر کربن فعال ریخته می‌شود. سپس ماسک مورد آزمایش، وزن شده و در جایگاه تعبیه شده، قرار داده می‌شود. با روشن نمودن موتور دستگاه و تنظیم دیمر، عمل مکش در مدت زمان مشخص انجام می‌گیرد. با وزن

جدول ۴: تغییرات وزن لایه‌های ماسک قبل از شستشو

نمونه	اختلاف وزنی لایه داخلی (میلی گرم)	اختلاف وزنی لایه میانی (میلی گرم)	اختلاف وزنی لایه خارجی (میلی گرم)	اختلاف وزنی سه لایه (میلی گرم)
1	0.2500±1.2000	1.7000±8.9000	3.6030±20.4666	7.0760±30.5666
2	0.0400±0.4000	0.5400±3.1666	0.7500±6.7333	0.9090±10.3000
3	0.3000±2.2000	2.9500±14.4000	3.3450±18.3666	5.8400±35.0000
4	0.2500±1.2333	3.1400±18.2333	6.6400±22.2000	12.4015±41.6666
5	0.1500±1.2000	3.5050±14.2666	10.5200±27.3000	6.5840±49.9000
6	8.3333 ± 2.1400	4.6500±18.7333	8.460±37.5666	5.5500±57.5000

جدول ۵: تغییرات وزن لایه‌های ماسک پس از سیکل اول شستشو

نمونه	اختلاف وزنی لایه داخلی (میلی گرم)	اختلاف وزنی لایه میانی (میلی گرم)	اختلاف وزنی لایه خارجی (میلی گرم)	اختلاف وزنی سه لایه (میلی گرم)
1	0.0540±0.6666 -	1.0550±10.8333 -	5.4000±31.7333 -	6.6700±43.2333 -
2	0.000±0.3000 -	0.8900±5.8666 -	4.5040±11.5333 -	2.5400±17.7000 -
3	0.1501±0.7333 -	5.4050±11.7333 -	5.5460±15.5666 -	10.1500±28.0333 -
4	0.0050±0.3000 -	1.1010±9.8333 -	8.8800±20.3333 -	8.2040±30.4666 -
5	.0540±1.7333 -	1.0400±5.5666 -	0.0530±6.8000 -	4.0100±14.1000 -
6	0.0020±0.5000 -	2.1200±11.6000 -	6.4090±31.5666 -	4.1250±43.6666 -

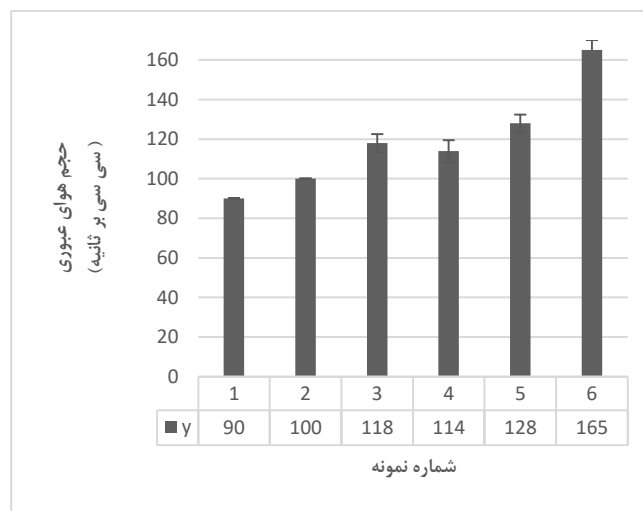
جدول ۶: تغییرات وزن لایه‌های ماسک پس از سیکل دوم شستشو

نمونه	اختلاف وزنی لایه داخلی (میلی گرم)	اختلاف وزنی لایه میانی (میلی گرم)	اختلاف وزنی لایه خارجی (میلی گرم)	اختلاف وزنی سه لایه (میلی گرم)
1	0.0100±0.4333 -	1.6240±8.1000 -	21.1333-	3402±29.6666 -
2	0.0040±0.3000 -	1.2904±8.3666 -	5.4150±14.1666 -	2.5570±22.8333 -
3	.0040±0.3000 -	2.1420±14.2666 -	3.1204±13.4000 -	6.6124±27.9666 -
4	0.0030±0.3000 -	1.8490±10.9666 -	11.1200±21.2333 -	8.5480±32.5000 -
5	1.6333 0.0050-	1.0510±5.1333 -	1.504±13.6000 -	2.1450±20.3666 -
6	0.0095±1.2333 -	2.5704±11.4000 -	5.1460±21.4000 -	12.3040±34.0333 -

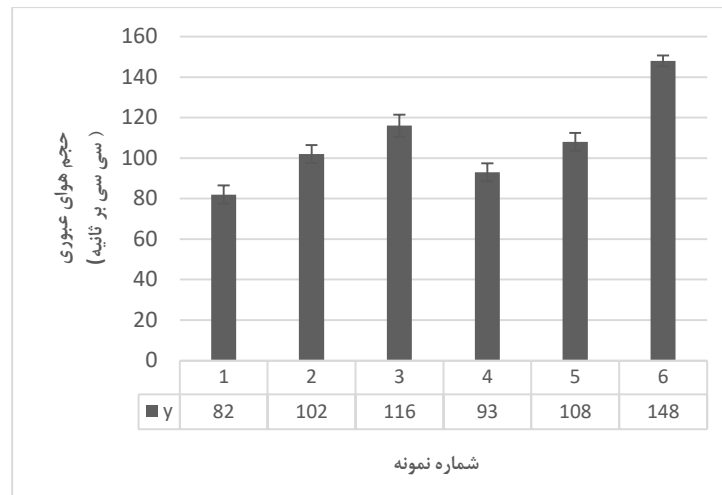
به منظور بررسی اثر نوع ساختار ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن لایه داخلی نمونه‌ها یک تحلیل واریانس دوطرفه استفاده شد. اثر متقابل بین نوع ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن لایه داخلی نمونه‌ها معنی‌دار هست همچنین اثر

فعال بوده و از این رو این ماسک دارای بالاترین قابلیت جذب مواد و فیلتراسیون می‌باشد. بنابراین چنانچه در لایه میانی از هیدروکسی آپاتیت نانوساختار ۲۰٪ دوپ شده با نانو ذرات اکسید روی استفاده شود (در ماسک‌های پارچه‌ای با ساختار تافته)، جذب آلاینده‌ها از همه بیشتر خواهد بود. پس از شستشو با سیکل ۱ و سیکل ۲، تغییرات وزنی، نتایجی مشابه با نتایج مذکور را نشان می‌دهند به طوری که نمونه ۶ دارای بالاترین تغییرات وزنی می‌باشد. نتایج آزمون نفوذپذیری هوا در سیکل‌های مختلف شستشو در اشکال ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

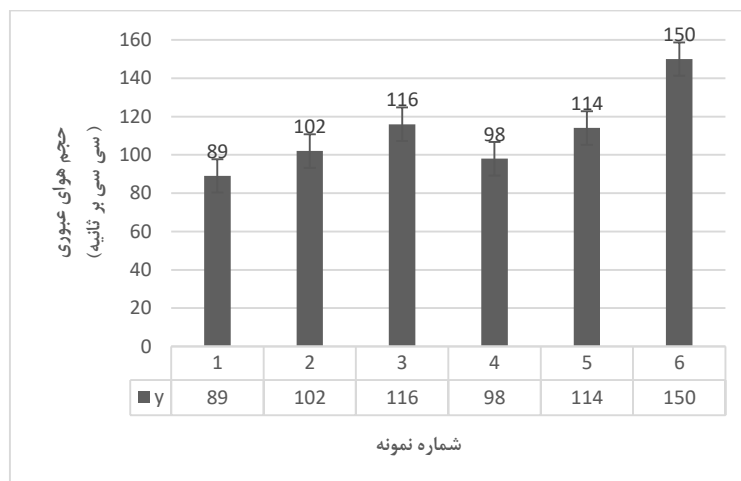
نوع ماسک و همچنین سیکل شستشو بر تغییرات وزن نیز معنی‌دار هست. تحلیل واریانس دوطرفه برای لایه میانی نشان داد که اثر متقابل بین نوع ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن لایه میانی نمونه‌ها معنی‌دار هست همچنین اثر اصلی نوع ماسک و همچنین سیکل شستشو بر تغییرات وزن نیز معنی‌دار هست. لایه خارجی اثر متقابل بین نوع ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن لایه داخلی نمونه‌ها معنی‌دار هست همچنین اثر اصلی نوع ماسک و همچنین سیکل شستشو بر تغییرات وزن نیز معنی‌دار هست. با توجه به جدول ۴، بیشترین تغییرات وزنی قبل از شستشو مربوط به نمونه ۶ بوده است که می‌تواند نشان‌دهنده بالاترین جذب ذرات کربن



شکل ۲: بررسی حجم هوای عبوری نمونه ماسک‌های تهیه شده قبل از شستشو



شکل ۳: بررسی حجم هوای عبوری نمونه ماسک‌های تهیه شده پس از سیکل اول شستشو



شکل ۴: بررسی حجم هوای عبوری نمونه ماسک‌های تهیه شده قبل از سیکل دوم شستشو

هوا بیشتری نسبت به دیگر نمونه‌ها می‌باشد بنابراین این نوع ماسک دارای منافذ بازتر بوده و هوای بیشتر می‌تواند از آن عبور نماید و از این رو تنفس با این ماسک، راحت‌تر می‌باشد. همچنین از بین تمام نمونه‌هایی که در لایه‌های داخلی و خارجی از پارچه دوم (ساختار تافته) استفاده شده نسبت به پارچه اول با ساختار حلقوی پودی، نفوذپذیری کمتری را نشان دادند. این نتیجه‌گیری برای دو سیکل شستشو نیز

با توجه به نتایج بدست آمده از نمودارهای نفوذپذیری هوا در فرآیند قبل از شستشو نمونه شماره ۳ نسبت به نمونه ۱ و ۲ حجم هوای عبوری بیشتری دارد و همچنین از بین نمونه‌های تولیدشده با پارچه تافته، نمونه شماره ۶ بالاترین نفوذپذیری هوا را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که لایه میانی تکمیل شده با هیدروکسی آپاتیت نانو ساختار دوپ شده با نانوذرات اکسید روی دارای نفوذپذیری

هر سه لایه ماسک (داخلی - میانی - خارجی) تاثیر نوع ماسک و سیکل شستشو بر تغییرات وزن، معنی دار می باشند. در رابطه با تاثیر سیکل شستشو می توان نتیجه گیری نمود که فرایند شستشو منجر به حذف آلاینده ها از روی تمامی نمونه ها می - گردد. همچنین با توجه به داده هایی که از تغییرات وزن بدست آمد نتایج نشان داد ماسکی که در لایه میانی آن توسط ذرات هیدروکسی آپاتیت نانوساختار دوپ شده با نانوذرات اکسید روی تکمیل شده است دارای بالاترین تغییرات وزن بوده از این رو بیشترین میزان آلاینده جذب کرده و برای محافظت، ماسک مناسب تری می باشد. همچنین این ماسک بدلیل وجود نانوذرات اکسید روی می تواند دارای خاصیت ضد میکروبی بوده و از این رو به عنوان کاندیدای مناسبی برای جایگزینی ماسک های جراحی قابل استفاده می باشد.

۵- منابع

- [1] Doumbia, A.S., Amadou Hamadou Babana, P., Abdourhamane Noussoura, D.M., Reusable Face Barrier Mask in Cotton: Natural Dye use to Improve Antibacterial Properties, International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN: 2319-7064, 2018
- [۲] هیوه چی ا، شراهی م، سارلی م، بروکی میلان پ، تقاضا برای ماسک های نانوفناوری با قابلیت محافظتی برتر در جهان بعد از کرونا، فصلنامه علوم و فناوری نساجی، دوره: ۹، شماره: ۱، ۱۳۹۹
- [3] Konda, A., Prakash, A., Moss, G.A., Schmoltdt, M., Grant, G.D., Guha, S., Aerosol filtration efficiency

مشابه بوده است بنابراین می توان نتیجه گرفت پارچه حلقوی پودی منافذ بازتری دارد و هوا راحت تر می تواند از آن عبور کند و شستشو روی میزان نفوذپذیری این نوع پارچه تاثیری ندارد. در مقایسه نمونه ها قبل و پس از شستشو، نتایج نشان داد در تمام نمونه ها به جز نمونه ۲ نفوذپذیری هوا پس از شستشو افزایش پیدا کرده است.

۴ - نتیجه گیری

نتایج آزمون نفوذپذیری هوا نشان داد نمونه ماسک هایی که لایه داخلی و خارجی از پارچه حلقوی پودی استفاده شد نسبت به پارچه با ساختار تافته نفوذپذیری بیشتری دارند. همچنین از بین نمونه ها، ماسک هایی که لایه میانی آن ها با هیدروکسی آپاتیت نانوساختار دوپ شده با نانوذرات اکسید روی تکمیل شده اند دارای بالاترین نفوذپذیری هوا می باشند. نتایج بدست آمده از تحلیل واریانس دوطرفه نشان داد برای of common fabrics used in respiratory cloth masks, ACS Nano 14 (5) 6339–6347, 2020

[4] Rengasamy, S., Eimer, B., Shaffer, R.E., Simple respiratory protection—evaluation of the filtration performance of cloth masks and common fabric materials against 20–1000 nm size particles, 54, 7, 789–798, 2010.

[5] Drownick, F., Pikmann, J., Fachinger, F., Moormann, L., Sprang, F., Borrmann, S., Aerosol filtration efficiency of household materials for homemade face masks: Influence of material properties, particle size, particle electrical charge, face velocity, and leaks, Aerosol Science and Technology, 1-17, 2020

- [6] Zayedul Hasan., Md., Ayatullah Hosne Asif ,A. K. M., Razzaque.A., Rakibul Hasan ,Md., Sur, S., Md. Faruque, O., An Experimental Investigation of Different Washing Processes on Various Properties of Stretch Denim Fabric, *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 9, 1-15, 2021.
- [7] بیگی چیمها، بربره و، بررسی ساخت پارچه‌های ضد میکروب با استفاده از نانوذرات، نانو تکنولوژی، ۱۸۵، ۱۳۹۷.
- [8] زارع ا.، رحیم‌نژاد س.، رحیم‌نژاد ح.، مروری بر روش‌های ضد میکروبی و ضد ویروسی ماسک‌های جراحی، فصلنامه علوم و فناوری نساجی، ۹، ۴، ۱۳۹۹.
- [9] زارع ا.، رحیم‌نژاد ح.، رحیم‌نژاد س.، مروری بر روش‌های ضد میکروب کردن منسوجات نظامی، مجله طب نظامی، ۲۳، ۱۲، ۱۴۰۰.
- [10] Agbeboh, N.I., Oladele, I.O., Daramola, O.O., Adediran, A.A., Olasukanmi., O.O., Tanimola, M.O., Environmentally sustainable processes for the synthesis of hydroxyapatite, 2020.
- [11] Phatai P., Futalan, C.M., Kamonwannasit, S., Khemthong, P., Structural characterization and antibacterial activity of hydroxyapatite synthesized via sol-gel method using glutinous rice as a template, , *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 89, 764–775, 2019.
- [12] Pokhrel, S., Hydroxyapatite: Preparation, Properties and Its Biomedical Applications, *Advances in Chemical Engineering and Science*, 08, 04, 16, 225-240, 2018.
- [13] Niranjana, E., Arun, S., Ganesh, S., Venkatesh, N., Sherif, J.M., Enhanced Mechanical Strength of Egg Shell Based Hydroxyapatite (Ha) In Polymer Matrix As Potential, *SSRG International Journal of Applied Chemistry (SSRG-IJAC)*, 7, 1, 15-17, 2020.
- [14] Shi, H., Zhou, Z., Li, W., Fan, Y., Li, Z., Wei, J., Hydroxyapatite Based Materials for Bone Tissue Engineering: A Brief and Comprehensive Introduction, 11, 149, 2021.
- [15] Said, M., Rehan, M., El-Sheikh, S., Zahran, M., Abdel-Aziz, M., Bechelany, M., Barhoum, A., Multifunctional Hydroxyapatite/Silver Nanoparticles/Cotton Gauze for Antimicrobial and Biomedical Applications, 11(2), 429, 2021.
- [16] Yang, L., Ning, X., Chen, K., Zhou, H., Preparation and properties of hydroxyapatite filters for microbial filtration. *Ceramics International*, 33(3), 483–489, 2007.
- [17] Xiong, Z.C., Yang, R. L., Zhu, Y. J., Chen, F. F., Dong, L. Y., Flexible hydroxyapatite ultralong nanowire-based paper for highly efficient and multifunctional air filtration, *Journal of Materials Chemistry A*, 5(33), 17482–17491, 2017.
- [18] Ferreira, E.F., Eiras, C., Sousa, J.M.D, Zille, A., Souto, A.P.G.V, Modified cotton textile with HAP-AgNPs Nanocomposite and antimicrobial for medical textile gown, *International Conference of Natural Fibers*, 1-3, 2019.
- [۱۹] شهبازی. ن، رامیار. م، حافظی. م، ملاحسینی. ح، استفاده از نانو الیاف پلی اکریلونیتریل و ذرات نانوساختار هیدروکسی آپاتیت برای بالا بردن راندمان فیلتراسیون ماسک تنفسی، یازدهمین همایش سراسری بهداشت و ایمنی کار، ۱۳۹۸.