



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

Endüstriyel Üretimde Polipropilen Meltblown Kumaşların Filtreleme Performansının Geliştirilmesi

Improving the Filtering Performance of Polypropylene Meltblown Fabrics in Industrial Production

Yazar(lar) (Author(s)): Utkay DÖNMEZ^{1,*}, Hacı Arif KURT², Murathan SEVİM³, Akif SÜTSATAR⁴

¹ ORCID ID: 0000-0003-3847-4773

² ORCID ID: 0000-0002-4927-1587

³ ORCID ID: 0000-0002-8269-4039

⁴ ORCID ID: 0000-0002-5180-6210

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Dönmez U., Kurt H.A., Sevim M., ve Sütsatar A., “Endüstriyel Üretimde Polipropilen Meltblown Kumaşların Filtreleme Performansının Geliştirilmesi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 6(1): 28-38, (2021).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>



Endüstriyel Üretimde Polipropilen Meltblown Kumaşların Filtreleme Performansının Geliştirilmesi

Utkay DÖNMEZ1, * Hacı Arif KURT1, Murathan SEVİM1, Akif SÜTSATAR1

¹Teknomelt Arge Merkezi, Organize Sanayi Bölgesi 1.Cd. No:12 P.K.:78, 46100 Onikişubat/KAHRAMANMARAŞ

Öz

Meltblown teknolojisi ile üretilen kumaşlar medikalden filtre ürünlere, akustik izolasyondan kompozit bileşenlere kadar birçok amaç için kullanılmaktadır. Mikro seviyede lif üretimi ile sıvı ve hava filtreleme sistemlerinde tercih edilen meltblown kumaşların tercih edilebilirliği her geçen gün artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi ve kullanılan hammadde ve katkı maddeleri ile birlikte daha ince lifler üretilmektedir. meltblown kumaşların lif çapı değerleri Genellikle 2-4 mikron (μm) aralığında olup, bu ürünlerin filtre verimliliği de %20-30 aralığında değişmektedir. Bu çalışmada, meltblown proses parametrelerinin optimize edilmesi, girdilerin değiştirilmesi ve elektrostatik yükleme gibi işlemler ile üretilmiş 30 gsm meltblown kumaşların filtre verimlilikleri test edilerek en iyi değer elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler ile üretilen meltblown kumaşların tıbbi maskeler ve partikül tutucu toz maskelerde kullanılabilirlikleri ortaya konmuştur.

Makale Bilgisi

Başvuru: 06/07/2020
Yayın: 30/04/2021

Anahtar Kelimeler

Dokusuz Yüzey,
Polipropilen, Meltblown,
Elektrostatik Yükleme,
Filtre Verimliliği

Keywords

Nonwoven, Polypropylene,
Meltblown, Charging,
Filter Efficiency

Improving the Filtering Performance of Polypropylene Meltblown Fabrics in Industrial Production

Abstract

Fabrics produced with meltblown technology are used for many purposes, from medical to filter products, and from acoustic insulation to composite components. The preferability of meltblown fabrics, preferred in liquid and air filtering systems with microfiber production, is increasing day by day. Thinner fibers can be produced along with the advancement of technology, raw materials and the additives used. Generally, the fiber diameter values of meltblown fabrics are in the range of 2-4 microns, and their filtration efficiency varies between 20 to 30%. In this study, the filter efficiencies of 30 gsm meltblown fabrics produced by processes such as optimizing meltblown process parameters, changing inputs and electro loading are tried to be obtained by testing. The usability of meltblown fabrics produced with the as-obtained data has been demonstrated in medical masks and dust masks.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Filtrasyon işleminde amaç, genel olarak, bir ortamdan bir malzemeyi ayırmaktır. Günlük yaşantıda en sık kullanılan filtre malzemeleri; iş güvenliği ve işçi sağlığı için kullanılan yüz maskelerinde, medikal amaçlı tıbbi maskelerde, elektrik süpürgelerinin toz torbalarında veya hava çıkış kanallarında, otomobillerin polen ve motor hava filtrelerinde, endüstriyel uygulamalarda, kan filtreleme gibi ileri medikal uygulamalarda ve hastanelerdeki temiz oda uygulamalarında kullanılmaktadır.

Filtrasyon verimliliği partikül boyutu, ağırlığı ve şekli ile filtreleme ortamındaki hava akımı hızı, elyaf boyutu ve diğer çevresel koşullar gibi faktörler göz önüne alınarak belirlenir [1,2]. Filtre edilecek bir parçacık; atalet etkisi (inertial impaction), durdurma (interception), elektrostatik çekim (electrostatic attraction) veya difüzyon (diffusion) yoluyla yakalanabilir [3]. Bu parçacık, kendisinden daha küçük boyutta bir gözenekle engellenebilir. Bazen filtre malzemesindeki gözeneklerden çok daha küçük boyutta olan partiküller, kendisinden nispeten daha büyük olan partiküllerin atalet etkisi ile filtre malzemesine tutunabilir. Boyutu 0,3 μm 'den daha büyük olan parçacıklar, elyafın yakınındaki sınır tabakasında

*İletişim yazarı, e-mail: utilers@gmail.com

hapsedilebilir. Difüzyon, boyutu birçok faktöre bağlı olan, ancak genellikle 0,1 µm'den daha küçük olduğu bilinen en küçük parçacıkları yakalamak için bilinen en baskın mekanizmadır [4]. Derinlik filtreleri, 10-100 µm aralığında gözenek boyutuna ve 0,1-1 bar aralığında son derece düşük bir basınç düşüşüne sahiptir. Bu nedenle, derinlik filtreleri diğer filter çeşitlerine göre daha ekonomiktir [2].

Meltblown yöntemi, eritilmiş polimerin, kalıp çıkışında sıcak ve yüksek hızdaki hava basıncına maruz bırakılması, liflerin oluşturulması ve bunların üst üste yığılması ile kumaş elde edilmesi yöntemidir [5,6]. Meltblown kumaşlar; gözenekli yapıları, geniş yüzey alanları ve mikro boyutlarından kaynaklanan özellikleri nedeniyle [7-9] filtrasyon, akustik yalıtım, hijyen, sorbent ve kompozit ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır [10,11]. Termoplastik özelliği sayesinde meltblown üretiminde en sık kullanılan polimer olan polipropilen (PP), granül olarak işlenebilir. PP'nin tercih edilir olmasının sebebi, düşük hammadde ve işleme maliyetinin yanı sıra geri dönüştürülebilir özelliğe de sahip olmasıdır [6, 12-14].

Meltblown kumaşlar, hava filtreleme uygulamalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bahsedilen fonksiyonların yanı sıra meltblown kumaşların düşük maliyeti, onları birçok uygulama için de cazip kılmaktadır [15]. Tek kullanımlık ürünlerin tüketimindeki artış, nüfustaki artış, daha yüksek performans/maliyet oranı gibi sebepler, non-woven filtreleri, ticari olarak cazip hale getirmiştir [16]. Bir filtrenin performansını etkileyen yapısal parametreler ise lif çapı ve geometrisi ile yüzey alanı, gözeneklilik, yüzey yapısı, kumaş kalınlığı ve yoğunluğu, birim alan başına hacim (gsm) ve ağırlık şeklinde sıralanabilir [17-19]. Filtre sektörü de kendi içerisinde birçok alt dala ayrılmaktadır. Bunlardan en önemlisi insan sağlığı için önem arz eden yüz maskelerini kapsayan filtrasyon işlemleridir.

Maske denildiğinde birçok ürün akla gelmektedir. Kartuşlu tam yüz maskeleri, cerrahi maskeler, moda ürünü maskeler veya ventilli/ventilsiz toz maskeleri günümüzde farklı alanlar için kullanılan maske tipleridir. Şekil 1'de maskelere örnekler verilmiştir.



Şekil 1. Tıbbi maske ve toz maskesi (ventilsiz) örnekleri

Tıbbi maskeler “Tıbbi yüz maskeleri–Gereklilikler ve Deney Yöntemleri-EN 14683” standardına uygun olarak üretilir ve kullanım amacı ise tıbbi ortamlardaki işlemler esnasında, enfeksiyonun personelden hastalara veya hastalardan personele bulaş riskini sınırlamaktır [20,21]. Avrupa standartları dışında, kullanılan maske standartlarını belirleyen bir diğer standart ise “Tıbbi Yüz Maskelerinde Kullanılan Malzemelerin Performansı-ASTM F2100” Amerikan standardıdır [22]. Tıbbi yüz maskesinin malzeme performansı; bakteriyel filtrasyon verimliliği, diferansiyel basınç, mikron altı partikül filtrasyon verimliliği, sentetik kanın nüfuz etmesine karşı direnç ve yanıcılık ile mikrobiyal temizlik gibi testlere dayanmaktadır [23-25]. İstenilen performans değerleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. EN 14683 - ASTM F2100 standartlarına göre tıbbi maskeler için azami koşullar

Uygulanan Testler	EN 14683			ASTM F-2100		
	Tip I	Tip II	Tip IIR	Level 1	Level 2	Level 3
Bakteri Filtrasyon Verimliliği (BFE), (%)	≥ 95	≥ 98		≥ 95	≥ 98	
Basınç Farkı / Düşümü (Pa/cm ² / mmH ₂ O/cm ²)	< 40		< 60	< 39,2 < 4	< 49 < 5	
Mikron Altı Partikül Filtrasyon Verimliliği (0,1 mikron), % (ASTM F2299)	-	-	-	≥ 95	≥ 98	
Sentetik Kanın Nüfuz Etmesine Karşı Direnç (ISO 22609/ ASTM F1862) (mmHg)	-	-	120 (16 kPa)	80	120	160
Yanmaya Yayılması	-	-	-	Sınıf 1		

Mikrobiyal Temizlik (Biyolojik yük miktarı EN ISO 11731-1), (cfu/g)	≤ 30	-	-	-
---	------	---	---	---

Tıbbi maskeler, kişinin ağızını ve burnunu tam kapattığı için solunum yolu ile bulaşabilecek bakteri ve virüslere karşı koruyucu olabilmektedir. BFE testi için *Staphylococcus aureus* bakterisi 3,0 (±0,3) µm kullanılmakta olup, uygulanan miktar yaklaşık $\geq 10^7$ cfu civarındadır [3,26].

Bir diğer maske türü ise daha zor şartlarda koruma sağlayan toz maskeleridir. Bu maskeler, nano ve mikron boyuttaki istenmeyen toz ve gazların filtrelenmesinde kullanılır. Bir iş güvenliği ekipmanı (kişisel koruyucu ekipman-KKE) olarak inşaatlarda, tekstil ve çimento fabrikaları ile kimyasal laboratuvarlarda ve daha birçok sağlık riski barındıran iş alanında kullanılmaktadır [22,25]. Ancak salgın hastalıklar ile mücadelede de sağlık personelinin korunması amacıyla da kullanılabilir. Bu amaçla kullanılan partikül filtreli maskeler, 89/686 Kişisel Koruyucu Ekipman Direktifi kapsamında, 3. kategoride yer alan ve EN 149+A1 “Solunumla ilgili koruyucu cihazlar - Parçacıklara karşı koruma amaçlı filtreli yarım maskeler - Özellikler, Deneyler ve İşaretleme” standardı gerekliliklerini sağlayan maskelerdir.

Toz maskelerinde soluk alıp verme (konfor) direnci testi de uygulanmakta ve maskenin ventilli/ventilsiz oluşuna göre bu limitler değişmektedir. Soluk alıp verme direnci 30 L/dk ve 95 L/dk olmak üzere iki farklı koşulda gerçekleştirilir. Test yönteminde genellikle sodyum klorür (NaCl) aerosolü 0,3 (±0,03) µm boyutunda partikül kullanılır [22, 27-29]. Çizelge 2’de EN 149 standardına göre maskelerin filtreleme koruma seviyeleri verilmiştir.

Çizelge 2. EN 149 standardına göre toz maskesi sınıflandırması [3]

Sınıf	Penetrasyon Limiti	Filtrasyon Limiti	İç Sızıntı	Suluk Alma (95 L/dk)	Suluk Verme (160 L/dk)
FFP1	< %20	≥ %80	< %22	2,1 mbar / 21,41 mmH ₂ O	3,0 mbar
FFP2	< %6	≥ %94	< %8	2,4 mbar / 24,47 mmH ₂ O	
FFP3	< %1	≥ %99	< %2	3,0 mbar / 30,59 mmH ₂ O	

Bu çalışmada, PP esaslı meltblown nonwoven kumaşlarının filtrasyon yetenekleri belirli bir gelişim sırasına göre incelenmiştir. Öncelikle meltblown kumaş üretim makinesinde mevcut üretim parametreleri üzerine iyileştirme çalışmaları, daha sonra hammadde değişikliği ve son olarak elektrostatik katkı maddesi ve elektrostatik yükleme prosesinin etkisi incelenerek PP meltblown kumaşın filtre yeteneğindeki iyileşme ortaya konulacaktır. Geliştirilecek meltblown kumaşların filtrasyon verimlilikleri ve hava geçirgenliği performansları incelenecektir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Materyal (Material)

Meltblown kumaş üretimi için MFI değeri sırasıyla 1000 g/10dk, 1200 g/10 dk ve 1800 g/10 dk özellikteki PP malzeme kullanılmıştır. Elektrostatik yükleme işlemi için ise ticari bir markanın katkı maddesi kullanılmıştır (bilgisi yazılmalı!!). Katkı maddesinin yoğunluğu 0,9 g/cm³, MFI değeri 800 g/10 dk ve içeriğinde %20 oranında homopolimer içinde kapsüllenmiş slip antistatik katkı bulunmaktadır.

2.2. Metot (Method)

2.2.1. Meltblown Nonwoven Üretimi (Production of Meltblown Nonwoven)

Meltblown nonwoven kumaş üretimleri, Teknomelt Teknik Mensucat San. ve Tic. A.Ş. firmasında gerçekleştirilmiştir. Meltblown kumaşlar 160 cm eninde ve 30 gsm olarak üretilmiştir. Elektrostatik yükleme (charging) işlemi yine aynı firmada bulunan charging ünitesi ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Performans Testleri (Performance Tests)

PP meltblown kumaşlar, istenilen özelliklerde üretilmeleri amacıyla hava geçirgenliği, filtrasyon testleri ve ortalama lif çapları analiz edilmiştir.

Numuneler, EDANA- NWSP 070.1.R0 (15)- Hava Geçirgenliği test standardına göre 20 cm², numune tutucu ve 196 Pa basınç altındaki sabit hava geçiş koşullarında test edilmiştir. Ölçümler Pro-White Air Test-II marka hava geçirgenliği cihazında gerçekleştirilmiştir.

Filtrasyon testleri, EN 149 +A1 standardına göre 0,3 µm NaCl aerosol partikül, 32 L/dk hava akış hızında tek kat formunda uygulanmıştır. Partikül filtrasyon testleri, TEMAG Laboratuvarında (İstanbul/Türkiye), seçilmiş meltblown kumaş numunesinin bakteri filtrasyon verimliliği (BFE) testi ise Nelson Laboratuvarında (Salt Lake/USA) gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

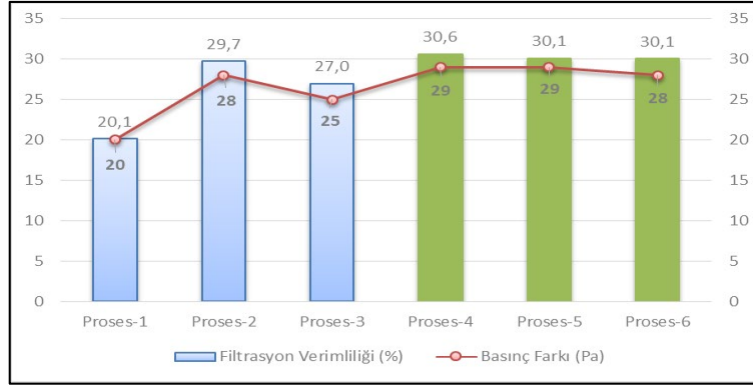
3.1. Aşama-1 (Stage-1)

İlk aşamada, makine çalışma parametrelerinin, numunelerin filtre performanslarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, ekstrüder sıcaklığı, blower sıcaklığı ve devri ile belt emiş fanı devri gibi çalışma parametreleri üzerinde incelemeler gerçekleştirilmiştir. Diğer değişkenler sabit tutulmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Meltblown prosesi parametreleri ve filtrasyon yetenekleri

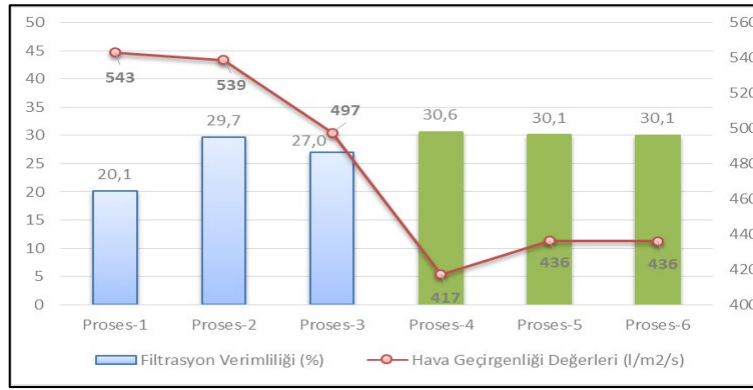
Değişkenler	Proses-1	Proses-2	Proses-3	Proses-4	Proses-5	Proses-6
Eriyik Akış İndeksi (MFI)	1000					
Ekstrüder Sıcaklığı (°C)	260			265		
Blower Devri (rpm)	1750	1800	1850	1750	1800	1850
Blower Sıcaklığı (°C)	275			285		
Belt Emiş Fanı Devri (rpm)	300			400		
Kalıp-Belt Arası Mesafe (cm)	40					
Kalıp Sıcaklığı (°C)	265					
Pompa Devri (rpm)	23					
Hava Geçirgenliği (l/m ² /s)	543	539	497	417	436	436
Filtrasyon Verimliliği (%)	20,1	29,7	27,0	30,6	30,1	30,1
Basınç Farkı (Pa)	20	28	25	29	29	28

Filtre kullanıcıları tarafından basınç farkının mümkün olduğunca düşük, filtre verimliliğinin de oldukça yüksek olması istenir. Genel olarak meltblown numunelerinde tespit edilen filtre verimliliği değerleri oldukça düşük seviyede kalmıştır. En iyi filtre verimliliğini %30,6 ile Proses-4 numunesi göstermiştir. Basınç farkı değerinin de en yüksek olduğu numune yine Proses-4 numunesidir. Proses-1/2/3 numuneleri (1. grup) ile Proses-4/5/6 numuneleri (2. grup), blower devri hariç diğer tüm parametreler sabit tutularak üretilmiştir. Her iki grup için de blower devrinin artması ile filtre verimliliğinde sürekli bir iyileşme görülmemiştir, bu durumda tek başına blower devrinin filtre verimliliği üzerinde etkin olmadığı anlaşılmaktadır. Bu çıkarım, özellikle ikinci grupta net bir şekilde görülmüştür. Grup-1 ile Grup-2 numuneler arasında, 5 °C ekstrüder farkı, 10 °C blower sıcaklığı farkı, 100 rpm belt emiş fanı farkı bulunmaktadır. Bu durum PP erişiğinin daha akışkan olması ve daha fazla çekime uğraması açısından fark oluşturmaktadır. Ancak makineye girilen bu parametrelerin, üretilen lifler üzerinde, beklenen etkiyi oluşturmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Meltblown kumaş numunelerinin (Proses 1-6) filtrasyon verimlilikleri

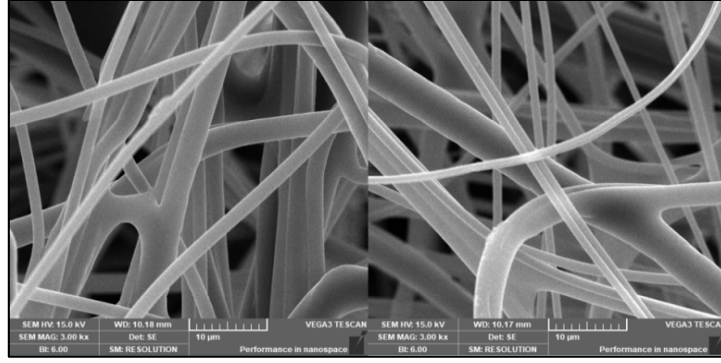
Filtre verimliliği ile hava geçirgenliği arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Filtre verimliliği ve hava geçirgenliği karşılaştırması

Hava geçirgenliği, meltblown liflerin yapısı ve dağılımı ile yakından ilgilidir. Şekil 3'te verilen grafikte, filtre verimliliği ile hava geçirgenliği arasında bir ters orantı tespit edilmiştir. Meltblown kumaşlar, hava geçirgenliği ve filtrasyon testlerine mekanik olarak tepki göstermiştir. Maske yapımında kullanılacak kumaşlarda hava geçirgenliği, yüksek istenmekle birlikte filtre verimliliği çok daha fazla öneme sahiptir. Grup-1 ile Grup-2 arasında bulunan lif çekim kuvveti farkları (sıcaklık değerleri ve emiş fanı değeri), kumaşlarda kendini göstermiş ve daha yüksek çekim kuvveti uygulanan kumaşlarda daha düşük hava geçirgenliği tespit edilmiştir. Sıcaklıkların ve blowerın etkisiyle incelen lifler, belt emiş fanı devrinin artması ile birbirine daha da incelmekte ve yaklaşmaktadır. Bu durum birim alandaki lif yoğunluğunun arttığını göstermektedir.

İncelemeler neticesinde, Proses-2 numunesi için SEM analizi yapılmasına karar verilmiştir. Proses-2 numunesinde liflerin kumaş yapısı içerisinde homojen dağılım gösterdiği, ancak lif çaplarının farklı değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Görüntüler incelendiğinde bazı liflerin çatalı bir görünüme veya ince-kalın bölgelere sahip olduğu, hatta bazı liflerin birleşerek hareket ettiği görülmüştür. Bu negatif durum, liflerin daha kalın olarak üretilmesine sebep verir ve kumaşın filtrasyon verimliliğini düşürür. Şekil 4'te SEM görüntüleri verilen numunenin, ortalama lif çapı değeri $1,89 (\pm 1,1) \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir. Lif çapı sayımlarında görülen en düşük değer $0,51 \mu\text{m}$, en yüksek lif çapı değeri ise $4 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. Proses-2 numunesinin SEM görüntüleri

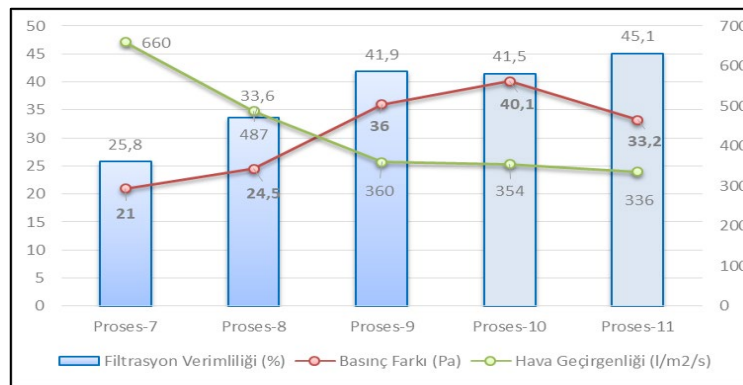
3.2. Aşama-2 (Stage-2)

İkinci aşamayı oluşturan deneysel çalışmada, meltblown kumaşları oluşturan liflere daha fazla çekim uygulanması ve lif dağılımının daha dar olması için üretim parametreleri revize edilmiştir.

Çizelge 4. Revize edilmiş meltblown parametreleri

Değişkenler	Proses-7	Proses-8	Proses-9	Proses-10	Proses-11
Eriyik Akış İndeksi (MFI)	1000	1200a		1200b	
Ekstruder Sıcaklığı (°C)	260				255
Blower Devri (rpm)	1800 (27)			1750 (25)	1725 (24)
Blower Sıcaklığı (°C)	275	305		310	300
Belt Emiş Fanı Devri (rpm)	300 (22)			450 (28)	250 (20)
Kalıp-Belt Arası Mesafe (cm)	40		35	30	45
Kalıp Sıcaklığı (°C)	265		250	260	260
Pompa Devri (rpm)	20				
Hava Geçirgenliği (l/m ² /s)	660	487	360	354	336
Filtrasyon Verimliliği (%)	25,8	33,6	41,9	41,5	45,1
Basınç Farkı (Pa/cm ²)	21,0	24,5	36,0	40,1	33,2

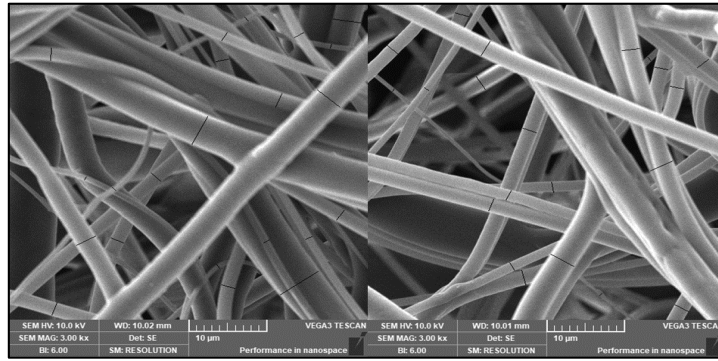
Çizelge 4'te görüldüğü üzere en önemli değişken, kullanılan hammaddedir. Filtre verimliliği en yüksek numune %45,1 değere sahip Proses-11 numunesidir, ki bu numunenin basınç farkı değeri de oldukça düşüktür. Uygun makine parametrelerinin ayarlanmasından sonra hammadde katkısıyla da filtrasyon verimliliğinde iyileştirme gerçekleştirilmiştir. 2. Aşamada üretilen numunelerin hava geçirgenliği, basınç farkı ve filtre verimliliği değerleri Şekil 5'te verilen grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5. Numunelerin filtrasyon verimlilikleri ve hava geçirgenlikleri Proses 7-11

İlk aşamaya göre daha iyi filtre verimliliğine ulaşılan meltblown numunelerde filtre verimliliği değeri arttıkça basınç düşümü değeri de artmaktadır. Bu durum mekanik filtrasyon tekniği uygulanan filtre medyalarının en belirgin özelliğidir. Ancak Proses-11 numunesinde basınç farkı değeri düşüş göstermiştir.

2. aşama denemelerinde, filtrasyon verimliliği değerlerini etkileyen en önemli parametrenin hammadde özellikleri olduğu görülmüştür. 1000-1200 MFI arasında erime ve akışkanlık özelliklerinde farklılıklar olduğu bilinmektedir, ki bu farklılıklar meltblown makinesinde çalışılırken ayarlanacak olan sıcaklık değerlerini yakından ilgilendirir. Proses-11 numunesinin 1200 MFI özelliğe olması ve ince lif çekimi için makine parametrelerinin olabildiğince hassas ayarlanması sonucunda en iyi filtre verimliliği değerleri elde edilmiştir. Hava geçirgenliği, filtre verimliliği ve basınç farkı ile ters orantılı olacak şekilde tespit edilmiştir. Bu aşamada ise Proses-9 kodlu numunenin SEM görüntüleri analiz edilmiş ve ortalama lif çaplarına dair veriler incelenmiştir.



Şekil 4. Proses-9 numunenin SEM görüntüleri

Proses-9 numunesine ait SEM görüntülerinde, farklı çaplarda liflerin oluştuğu, en küçük lif çapının 0,382 µm ve en büyük lif çapının 9 µm ve ortalama lif çapının ise 2,07 (±1,4) µm olarak tespit edilmiştir. En küçük lif çapı ile en büyük lif çapı arasındaki farkın bu kadar geniş olması, meltblown üretimine etki eden parametrelerdeki kontrolün ne derece zor olduğunu göstermektedir.

Proses-2'nin ortalama lif çapı değerinin ile Proses-9'un ortalama lif çapı değerinden daha düşük olmasına rağmen filtrasyon verimlilik değeri daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Ancak, Proses-2 numunesinin basınç farkı değeri, Proses-9 numunesine göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Ortalama lif çapı değeri düştükçe, filtre verimliliğinin artması beklenmektedir. Kullanılan hammadde ve bu hammaddeye en uygun çalışma değerlerinin hazırlanması, söz konusu sonuç için gerekçe olarak gösterilebilir. Proses-9 ile Proses-11 numunelerinin her ikisi de aynı firmanın 1200 MFI özellikli ürünüdür. Filtrasyon verimlilik sonuçlarının farklı olmasının sebebi, Proses-11 numunesinde kullanılan hammaddenin, filtre uygulamaları için özel tasarlanmış olmasıdır.

Çalışmada, 0,3 µm NaCl aerosol, 32 L/dk hava akış hızı test koşulları altında gerçekleştirilen PFE (partikül filtrasyon verimliliği) testi sonucuna göre en iyi değeri Proses-11 (%45,1) numunesi elde etmiştir. Proses-11 numunesi, tıbbi maskelerde kullanılabilirliğinin araştırılması ve BFE (bakteri filtrasyon verimliliği) değerinin belirlenmesi amacıyla Nelson Laboratuvarına gönderilmiştir. Test sonucunda %95,6 filtre verimliliğine sahip olduğu anlaşılan meltblown kumaşa ait diğer veriler Çizelge 5'te verilmiştir. Proses-11 numunesine ait BFE değerlerinin, EN 14683 standardında istenen asgari koşulları karşıladığı ve Tip-1 sınıfı cerrahi maske olarak kullanılabilceği anlaşılmıştır.

Çizelge 5. Proses-11 kodlu meltblown kumaşın BFE değerleri

Değişkenler	Test Koşulu	Proses-11
Uygulanan Miktarı (CFU)	1,7-3,0*10 ³	2,2*10 ³
Tespit Edilen Miktarı (CFU)	< 1	< 1
Ortalama Bakteri Boyutu (µm)	3 ±0,3	3,1
Bakteri Filtrasyon Verimliliği-BFE (%)		95,4
Basınç Farkı (Pa/cm ²)/(mmH ₂ O/cm ²)		35,2 / 3,6
Hava Geçirgenliği (l/m ² /s)		336

3.4. Aşama-3 (Stage-3)

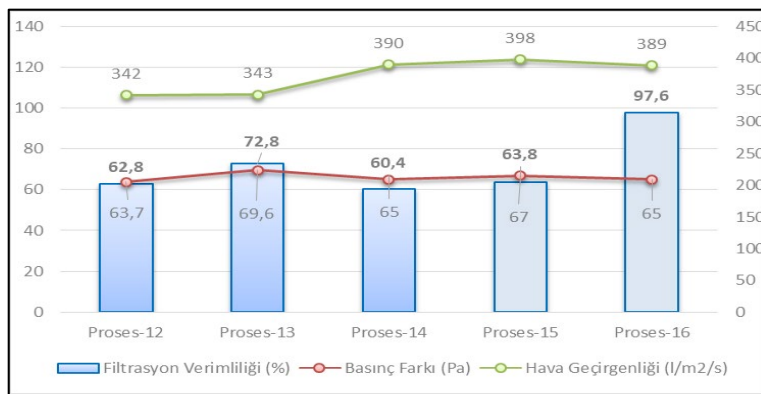
Son yıllarda, PP üreticileri, sektöre yönelik polimer tasarlayarak, yüksek performanslı ürünlerini pazara sunmaktadır. Bu sebeple yapılan pazar araştırmasında filtre sektörü için özel tasarlanmış 1400 MFI, 1500 MFI, 1600 MFI ve 1800 MFI polimerlerin var olduğu görülmüştür.

Bir diğer konu ise meltblown kumaşların filtrasyon özelliklerini geliştirecek özel katkı maddeleridir, kibu tip ürünler, meltblown liflerin üzerindeki elektrostatik yük miktarını ve bu yükleri tutuş süresini arttırmaktadır. Bu işlem sırasında filtre malzemesi olarak kullanılacak meltblown kumaş, bir elektrik alanından geçirilerek, meltblown kumaşın elektrostatik yükler ile yüklenmesi sağlanmaktadır.

Çizelge 6. 3. Aşamada üretilen meltblown kumaş üretim parametreleri

Değişkenler	Proses-12	Proses-13	Proses-14	Proses-15	Proses-16
Eriyik Akış İndeksi (MFI)	1800				
Ekstruder Sıcaklığı (°C)	250				
Blower Devri (rpm)	1600 (21)	1700 (24)	1750 (25)	1725 (24)	
Blower Sıcaklığı (°C)	285	295	310	295	
Belt Emiş Fanı Devri (rpm)	525 (31)	500 (30)	575 (34)		
Kalıp-Belt Arası Mesafe (cm)	28		30		
Kalıp Sıcaklığı (°C)	245		260	605	
Pompa Devri (rpm)	20				
Charging Katkısı	-	-	%2		
Voltaj (kV)	-	-	20	30	45
Hava Geçirgenliği (l/m ² /s)	342	343	390	398	389
Filtrasyon Verimliliği (%)	62,8	72,8	60,4	63,8	97,6
Basınç Farkı (Pa/cm ²)	63,7	69,6	65	67	65

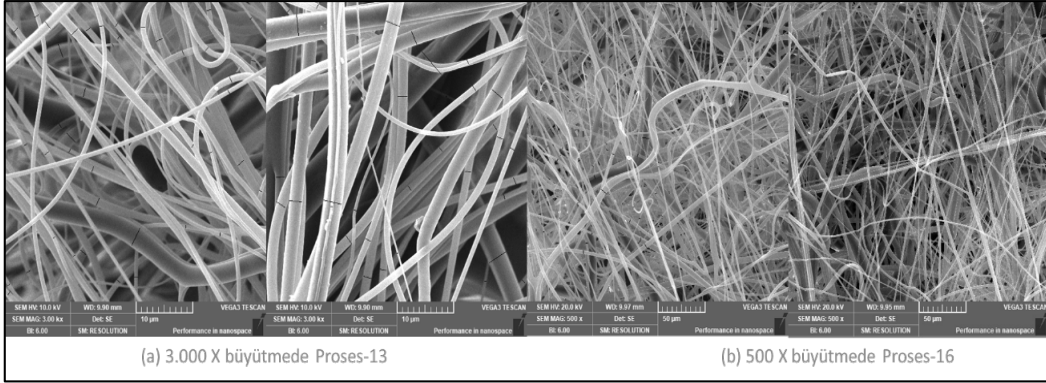
Daha önceki aşamalarda proses iyileştirilmesi ve hammadde iyileştirilmesi üzerine incelemeler yapılmıştı, bu son aşamada ise özel hammadde ve katkı maddesinin filtrasyon verimliliği ve hava geçirgenliği değerlerine etkisi incelenmiştir (Şekil 5). Sadece hammadde ve bu hammaddeye uygun en uygun parametreler ile üretilen meltblown kumaşa, filtre verimliliği %72,8 ve basınç farkı ise 69,6 Pa/cm² olarak tespit edilmiştir. Söz konusu filtrasyon verimliliği, proses ve hammadde ile elde edilebilecek en iyi değerlerdir. 1800 MFI degree sahip malzeme ile iki çalışma yapılmış, blower sıcaklığı ve devri değerleri artırıldığında filtrasyon verimlilik değerlerinin daha da iyileştiği görülmüştür.



Şekil 5. Meltblown numunelerin (Proses 10-14) filtrasyon performansları

Katkı maddesi sabit tutulan numunelerde ise elektrostatik yük değişiklikleri sonucunda meltblown kumaşların basınç farkı ve hava geçirgenlik değerlerinin çok fazla etkilenmediği, ancak filtre verimlilik değerinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Proses-16 numunesine 45 kV gerilim uygulanmış ve en yüksek filtre verimliliği elde edilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere numunelerin basınç farkı ve hava geçirgenliği birbirlerine yakın değerlerde tespit edilmiştir. Mekanik filtrelemenin yanında elektrostatik filtreleme de

etkili olmuş ve filtrasyon verimliliğinde %97,6 değerine ulaşılmıştır. Şekil 6'da Proses-13 ve Proses-16 numunelerine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6. Proses-13 ve Proses-16 numunelerinin SEM görüntüleri

Proses-13 numunesine ait SEM görüntülerinde (a), meltblown yüzeyleri oluşturan liflerin farklı çaplarda ve en küçük lif çapı $0,09 \mu\text{m}$ (90 nm), en büyük lif çapı ise $5 \mu\text{m}$ ve ortalama lif çapı ise $1,18 (\pm 0,9) \mu\text{m}$ olarak tespit edilmiştir. Proses-13 numunesinin filtre verimliliği değerinin yüksek tespit edilmesinin sebebi, $0,09 \mu\text{m}$ boyutlarına kadar düşük lif çapı ve ortalama lif çapı değerinin ($1,18 \mu\text{m}$) oldukça düşük tespit edilmesidir. Ortalama lif çapı değerinin düşük olması, basınç farkı değerini de yükseltmiştir.

Proses-16 numunesinin (b) SEM analizi incelendiğinde ise, meltblown yüzey içerisindeki lifler beklediği gibi hem en hem de boy yönünde dağılmış ve lif çaplarının kendi içlerinde dahi incelik kalınlaştığı tespit edilmiştir. Tespit edilen en düşük lif çapı $0,269 \mu\text{m}$, en yüksek lif çapı $8,686 \mu\text{m}$ ve ortalama lif çapı ise $2,09 (\pm 1,9)$ olarak tespit edilmiştir.

Proses-13 numunesi ortalama lif çapı değerinin Proses-16 numunesinin ortalama lif çapından daha düşük olmasına rağmen filtre verimliliği çok daha düşük tespit edilmiştir. Her iki numune de 1800 MFI hammadde ile üretilmiştir. Aralarındaki fark ise katkı maddesi ve elektrostatik yükleme işlemidir. Bu durumu hem basınç farkı hem de hava geçirgenlik değerlerinin birbirine yakın olmasını da desteklemektedir. Katkı maddesi (%2) ve kumaşa uygulanan gerilim (45 kV) sayesinde, Proses-16 numunesi %97,6 seviyesinde filtre verimliliğine ulaşmıştır.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu uzun soluklu çalışmada, faal durumda üretime devam eden bir işletmede meltblown kumaşların filtre verimliliğini arttırmak amacıyla yapılan iyileştirme çalışmaları incelenmiştir. Öncelikle blower sıcak hava değeri ve blower motor devri ile kalıp ve ekstrüder sıcaklığı gibi değişkenlerin yanı sıra kalıp-belt arası mesafesi, belt emiş fanı parametreleri ile en yüksek filtrasyon verimliliği araştırılmıştır. İlk aşamada literatürde belirtilen parametreler ile bu çalışma sonucunda elde edilen tecrübe birebir örtüşmemektedir. Örneğin, blower sıcaklığı belirli bir dereceye kadar pozitif etki sağlamıştır, ki aynı durum kalıp sıcaklığı, belt emiş fanı ve kalıp-belt arası mesafe parametreleri için de geçerlidir. Pozitif iyileşme bir dereceye kadar devam etmiş, ancak daha fazla yükleme yapıldığında ise filtre verimliliği düşmüştür. Bu ilk aşamada anlaşılan, üretim parametreleri arasında bir ilişki olduğudur. Ancak, çalışılan en iyi şekilde ilişkilendirilen parametrelerde dahi filtre verimliliği %30,6 ve basınç farkı 29 Pa/cm^2 olarak tespit edilmiştir.

İkinci aşamada ise hammadde ve hammaddeye uygun çalışma parametreleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Eriyik akış indeksi (MFI) değerinin yükselmesi, üretim parametrelerinde de iyileştirme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Nitekim hammaddenin makinede çalışma kolaylığı, o hammaddeye etki eden kuvvetlerin ne kadar kontrol altına alındığını göstermektedir.

Elde edilen veriler ile birlikte MFI değeri 1800 olan hammadde ve elektrostatik yükleme ile meltblown kumaşın filtre verimliliği arttırılmıştır. Tespit edilen filtrasyon verimliliği değerleri EN 14683 (ASTM F 2100) standartlarında tanımlanan tıbbi maskeler için yeterli gelmektedir. Daha yüksek filtre verimliliği için yapılan iyileştirme çalışmasında, elektrostatik yükleme ve katkı maddesi kullanarak %97,6 değeri elde edilmiştir. Üretilen meltblown kumaşların birkaç katman şeklinde kullanılması ile EN 149 standardına göre FFP2/FFP3 koruma seviyesinde maskelerin üretilebilir olduğu anlaşılmıştır.

Çalışmada elde edilen bir diğer sonuç ise ortalama lif çapı değeri ile filtrasyon arasındaki ilişki olmuştur. Meltblown kumaşı oluşturan liflerin, ortalama lif çapı değeri düştükçe filtre verimliliği ve basınç farkı değerleri artış göstermiştir. Ancak, meltblown makinesi mekanik parametreleri ile lif çapı bir noktadan sonra düşürülememiştir. Sonuç olarak, en düşük ortalama lif çapı değeri 1,18 µm ile oldukça yüksek bir filtre verimliliği değeri elde edilmiştir. Katkı maddesinin meltblown numunelere eklenmesi ile ortalama lif çapı değerinin arttığı gözlemlenmiş ve bunun yanı sıra elektrostatik yüklemenin etkisiyle de filtre verimliliğinde çalışmadaki en yüksek değer elde edilmiştir.

Çalışma ile birlikte Teknomelt Teknik Mensucat firmasında filtre amaçlı üretilmekte olan meltblown kumaşlar için bir gelişim süreci özetlenmiş, Korona virüs salgını ile birlikte filtre verimliliği yüksek meltblown kumaşlar üretilmeye başlanmıştır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Çalışmaya finansal destek veren Teknomelt Teknik Mensucat San ve Tic. A.Ş. (Kahramanmaraş) firmasına teşekkürlerimizi sunarız.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Zhang, W. S. Shim, & J. Kim, Design of ultra-fine nonwovens via electrospinning of Nylon 6: Spinning parameters and filtration efficiency. *Materials & design*, 30:9 (2009) 3659-3666.
- [2] R. Uppal, G. Bhat, C. Eash ve K. Akato, Meltblown nanofiber media for enhanced quality factor. *Fibers and polymers*, 14 (2013) 660-668.
- [3] S. S. Zhou, S. Lukula, C. Chiossone, R. W. Nims, D. B. Suchmann, & M. K. Ijaz, Assessment of a respiratory face mask for capturing air pollutants and pathogens including human influenza and rhinoviruses. *Journal of thoracic disease*, 10:3, (2018) 2059.
- [4] S. Kaur, R. Gopal, W. J. Ng, S. Ramakrishna, & T. Matsuura, Next-generation fibrous media for water treatment. *Mrs bulletin*, 33:1 (2008) 21-26.
- [5] T. Subbiah, G. S. Bhat, R. W. Tock, S. Parameswaran, S. S. Ramkumar, Electrospinning of nanofibers. *Journal of applied polymer science*, 96, (2005) 557-569,
- [6] U. Dönmez, H. A. Kurt, A. Atici, Nonwoven kumaşların kalender yöntemiyle birleştirilmesinde kalender sıcaklığı ve kumaş katman sayısının kumaş performansına etkisi. *Gazi üniversitesi fen bilimleri dergisi part c: Tasarım ve teknoloji*, 7:3 (2019) 765-775.
- [7] S. Mukhopadhyay, Microfibres- an overview. *Indian journal of fibres & textile research*, 27 (2002) 307-314.
- [8] S. J. Russell,. *Handbook of nonwovens*. (1st Edtn). CRC Press. Woodhead Publications, Cambridge, England, 2007.

- [9] R. R. Hegde, G. S. Bhat, Nanoparticle effects on structure and properties of polypropylene meltblown webs. *Journal of applied polymer science*, 115 (2010) 1062-1072.
- [10] A. Demiröz Gün, B. Demircan, ve A. Şevkan, Mikroliflerin üretim yöntemleri, özellikleri ve kullanım alanları. *Tekstil ve mühendis*, 18.83(2011) 38-46.
- [11] D. Duran, K. Duran, Meltblown Nonwovens: Effect of production parameters on physical properties, 14th National & 1st International textile technology and chemistry symposium, May 8-10 2013, Bursa, ISBN:978-605-63112-2-2, 2013.
- [12] D. Zhang, C. Sun, J. Beard, H. Brown, I. Carson, ve C. Hwo, Development and characterization of poly (trimethylene terephthalate)-based bicomponent meltblown nonwovens. *Journal of applied polymer science*, 83:6 (2002) 1280-1287.
- [13] D. C. Dutton, Overview and analysis of the meltblown process and parameters. *Journal of textile and apparel, technology and management (JTATM)*, Fall 2008. 6:1 (2008) 1-24.
- [14] D. Duran, S. Perincek, The Effect of various production parameters on the physical properties of polypropylene meltblown nonwovens. *Industria textila*, 61:3 (2010) 117-123.
- [15] G. Doğan, Kuru Hava Filtrasyonunda Kullanılan Dokusuz Yüzeylerin Performansları Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [16] H. K Kaynak, Z. Değirmenci, Teknik tekstil uygulamalarında kullanılan nonwoven filtreler. *Tekstil teknolojileri elektronik dergisi*, 4:2 (2010) 78-84.
- [17] K. Duran, D. Duran, G. Oymak, K. Kılıç, E. Öncü, M. Kara, Investigation of the physical properties of meltblown nonwovens for air filtration. *Tekstil ve konfeksiyon*, 23:2 (2013).
- [18] Y. Yesil, and G. S. Bhat, Porosity and barrier properties of polyethylene meltblown nonwovens. *The Journal of the textile institute*, 108:6 (2017) 1035-1040.
- [19] M. E. Gosch, R. E. Shaffer, A. E. Eagan, R. J. Roberge, V. J. Davey, & L. J. Radonovich Jr, B95: A new respirator for health care personnel. *American journal Of infection control*, 41:12 (2013) 1224-1230.
- [20] A. Podgorski, A. Bałazy, & L. Gradoń, Application of nanofibers to improve the filtration efficiency of the most penetrating aerosol particles in fibrous filters. *Chemical engineering science*, 61:20 (2006) 6804-6815.
- [21] S. D. Skaria, & G. C. Smaldone, Respiratory source control using surgical masks with nanofiber media. *Annals of occupational hygiene*, 58:6 (2014) 771-781.
- [22] J. Gralton, & M. L. McLaws, Protecting healthcare workers from pandemic influenza: N95 or surgical masks? *Critical care medicine*, 38:2 (2010) 657-667.
- [23] V. Pathak, Respirators for protection against PM2.5, 3M Personal Safety Division. <https://multimedia.3m.com/mws/media/1313143O/respirators-for-protection-against.pdf> (2016).
- [24] C. Akduman, & E. A. Kumbasar, Nanofibers in face masks and respirators to provide better protection. In *IOP conference series: Materials science and engineering*, 460:1 (2018) 012013.
- [25] Z. Wen, L. Yu, W. Yang, L., Hu, N. Li, J. Wang, J. Li, J. Lu, X. Dong, Z. Yin, & K. Zhang, Assessment the protection performance of different level personal respiratory protection masks against viral aerosol. *Aerobiologia*, 29:3 (2013) 365-372.
- [26] N. Shimasaki, A. Okaue, R. Kikuno, & K. Shinohara, Comparison of the filter efficiency of medical nonwoven fabrics against three different microbe aerosols. *Biocontrol science*, 23:2 (2018) 61-69.
- [27] A. Rengasamy, Z. Zhuang & R. Berry Ann, Respiratory protection against bioaerosols: literature review and research needs, *Am. J. infect. control*, 32:6 (2004) 345-354
- [28] A. Balazy, M. Toivola, A. Adhikari, S. K. Sivasubramani, T. Reponen, S. A. Grinshpun, Do N95 respirators provide 95% protection level against airborne viruses, and how adequate are surgical masks? *Am. J. infect. control*, 34:2 (2006) 51-57
- [29] N. Mao, Methods for characterisation of nonwoven structure, property, and performance, *Advances In Technical Nonwovens*, ed G Kellie (Amsterdam: Elsevier), ch. 6., 2016.