



TEKSTİL VE MÜHENDİS
(Journal of Textiles and Engineer)



<http://www.tekstilvemuhendis.org.tr>

Farklı Dokusuz Yüzeyler Üzerinde Çözelti Üfleme Eğirme Tekniği ile Poliamid 6.6 Esaslı Nano Lif Eldesi ve Araç Kabin Filtreleri için Uygunluğunun Araştırılması

Obtaining Polyamide 6.6 Based Nano Fibers on the Different Non-Woven Surfaces via Solution Blow Spinning Technique and Investigation of Their Suitability for Vehicle Cabin Filters

Eylül Büşra TAPANYİĞİT¹, Koray PEKTAŞ^{2*}, Mehmet ÖZDEMİR¹, Onur BALCI²

¹Şampiyon Filtre Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge Merkezi, Hatay, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Online Erişime Açıldığı Tarih (Available online):30 Eylül 2022 (30 September 2022)


Bu makaleye atıf yapmak için (To cite this article):

Eylül Büşra TAPANYİĞİT, Koray PEKTAŞ, Mehmet ÖZDEMİR, Onur BALCI (2022): Farklı Dokusuz Yüzeyler Üzerinde Çözelti Üfleme Eğirme Tekniği ile Poliamid 6.6 Esaslı Nano Lif Eldesi ve Araç Kabin Filtreleri için Uygunluğunun Araştırılması, Tekstil ve Mühendis, 29: 127, 116- 124.

For online version of the article: <https://doi.org/10.7216/1300759920222912701>

Araştırma Makalesi / Research Article

FARKLI DOKUSUZ YÜZEYLER ÜZERİNDE ÇÖZELTİ ÜFLEME EĞİRME TEKNİĞİ İLE POLİAMİD 6.6 ESASLI NANO LİF ELDESİ VE ARAÇ KABİN FİLTRELERİ İÇİN UYGUNLUĞUNUN ARAŞTIRILMASI

Eylül Büşra TAPANYİĞİT¹ 
Koray PEKTAŞ^{2*} 
Mehmet ÖZDEMİR¹ 
Onur BALCI² 

¹Şampiyon Filtre Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge Merkezi, Hatay, Türkiye

²Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

Gönderilme Tarihi / Received: 25.02.2022

Kabul Tarihi / Accepted: 15.09.2022

ÖZ: Çalışma kapsamında, kabin filtrelerinde yoğun bir şekilde kullanılan 100 g/m² spunbond filtre yüzeyine alternatif filtre yüzeylerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak ticari olarak kullanılan filtre yüzeyine alternatif olarak, farklı gramajlarda, tekniklerle (Spunbond, meltblown, airlaid) ve polimerler (Polipropilen, Polyester) ile elde edilen dokusuz yüzeylere performans testleri gerçekleştirilerek karşılaştırma ve kullanım olanakları incelenmiştir. Daha sonra, yeni bir nanolif üretim yöntemi olan çözelti üfleme eğirme tekniği (SBS) kullanılarak hem ticari hem de alternatif dokusuz yüzey üzerine poliamid 6.6 (PA 6.6) nanolifleri aktarılmış ve kompozit (katmanlı) filtre yüzeyleri elde edilmiştir. Elde edilen yeni yüzeyler de ticari ve alternatif filtre yüzeyleri ile performans bakımından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, farklı dokusuz yüzey teknikleri ile elde edilen ve farklı gramajlara sahip olan dokusuz yüzeylerin hava geçirgenlik değerlerinin 603-4271lt/m²sn arasında olduğu, gözenek çaplarının ise 7-231 µm arasında değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Aynı zamanda en düşük gözeneklilik çaplarına ise meltblown yüzeylerin 7µm sahip olduğu görülmüştür. Çözelti üfleme tekniğiyle Poliamid 6.6 aktarılan katmanlı yüzeylerin hava geçirgenlik ve gözenek çapları incelendiğinde ise, farklı dokusuz yüzeylerin PA 6.6 nano lifler ile kaplanması sonrasında hava geçirgenlik değerlerinin 114 lt/m²sn' ye kadar ve gözenek çaplarının ise 5µm' a kadar düştüğü tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre ticari filtre yüzeyine alternatif farklı yüzeylerin kullanılabilirliği gibi, etkin bir filtrasyon için katmanlı filtre yüzeylerinin kullanılabilirliği kanısı varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SBS, çözelti üfleme eğirme, nanolif, Poliamid 6.6, kabin filtresi

OBTAINING POLYAMIDE 6.6 BASED NANO FIBERS ON THE DIFFERENT NON-WOVEN SURFACES VIA SOLUTION BLOW SPINNING TECHNIQUE AND INVESTIGATION OF THEIR SUITABILITY FOR VEHICLE CABIN FILTERS

ABSTRACT: In the scope of the study, it was aimed to develop alternative filter surfaces to 100 g/m² spunbond filter surfaces, which are used extensively in cabin filters. With this aim, as an alternative to commercially used filter surface, the different nonwoven surfaces, which obtained with different weights and different nonwoven surface techniques (Spunbond, meltblown, airlaid) and different polymers (Polypropylene, Polyester), were used and performance tests were performed, and their comparison and usage possibilities were examined. In addition, using a new nanofiber production method, "solution blow spinning technique", composite filter surfaces were obtained by transferring polyamide 6.6 (PA 6.6) nanofibers onto both commercial and alternative surfaces. The obtained new surfaces were compared with commercial and different nonwoven filter surfaces in performance tests. When the results obtained are examined, the air permeability values ranged from 603 to 4271 lt/m²sn and pore diameters ranged from 7 to 231 µm of different nonwoven surfaces obtained with different weights and different nonwoven surface techniques showed variability. At the same time, it was seen that the meltblown surfaces had the least pore diameter with the 7µm. On examining the air permeability and pore diameters of polyamide transferred surfaces, it was determined that the air permeability values decreased up to 114 lt / m²sn and the pore diameters decreased to 5µm after the alternative surfaces were coated with nanofibers. According to these results, it is concluded that different surfaces can be used as alternative to commercial filter surfaces, as well as the developed layered filter surfaces can be used for effective filtration.

Keywords: SBS, solution blowing spinning, nanofiber, Polyamide 6.6, cabin air filter

***Sorumlu Yazarlar/Corresponding Author:** koraypektas@ksu.edu.tr

DOI: <https://doi.org/10.7216/1300759920222912701>

www.tekstilvemuhendis.org.tr

1. GİRİŞ

Dünyada her geçen gün nüfus artışı ile birlikte gelişen endüstrinin bir sonucu olarak iç ve dış ortamlarda canlılara zarar verebilecek miktarlarda toz, gaz, koku, duman, sis, buharlar vb. havanın doğal yapısında bulunmayan kirleticiler bulunmaktadır. Bu kirleticilerden arınmış bir havayı solumak için gerek evlerde, arabalarda veya endüstride hava filtrasyonu ve kullanım yerine göre uygulanacak filtre yapıları büyük önem arz etmektedir [1]. Filtrasyon kısaca ayırma işlemidir ve bu işlemin amacı, filtrelenen malzemenin saflığını arttırmaktır. Filtre yapılarında kullanılan malzemeler ile filtreler incelendiğinde karşımıza tekstil filtre malzemeleri çıkmaktadır ve bu malzemelerden elde edilen filtre yapıları katı-gaz veya katı-sıvı ayırmada yaygın bir şekilde kullanılırlar. Katı partiküllerin filtre yardımıyla sıvılardan veya gazlardan ayrılması ile ürün saflığı, enerji tasarrufu, proses verimliliği artarken aynı zamanda maddelerin geri kazanımı, çevresel yönden kirlilik kontrolü sağlanmaktadır [2]. Günümüzde sıklıkla kullanılan otomobiller havayı en çok kirleten kaynaklardan biridir. Çünkü otomobiller kompleks gaz karışımları ve partiküllerin yanı sıra tamamen yanmamış, kullanılmamış ve uçucu özelliğe sahip yakıtlar ile motor yağlarının salınımına olanak sağlarlar. Otomobillerden kaynaklanan bu kirleticilere parçacık maddeler, karbon monoksit (CO), sülfür oksitler (SOX), nitrojen oksitler (NOX) ve hidrokarbonlar örnek olarak verilmektedir [3]. Öte yandan motor emisyonlarından ortaya çıkan ve 100 nm'den küçük olan parçacıklar ise ultra ince parçacıklar (UFP) olarak tanımlanmakta ve insan sağlığını etkileyen parçacıklardır. Bu kirleticilerin azaltılması için ISO standartlarına sahip araç kabin filtreleri kullanılsa da bu filtreler genellikle 300 nm'den daha büyük parçacıkları filtreleme özelliğine sahip olup ultra ince parçacıkları filtreleyememektedirler [4]. Genel olarak araç kabin filtrelerinden beklenen özelliklere bakıldığında, havayla birlikte kabin içine giren polen, egzoz dumanı, kirli hava, fosil yakıtı emisyonları ve gaz damlacıklarında bulunan kir, toz ve mikroorganizmaları tutması beklenmektedir. Böylece araç içinde kirli hava solunmasından kaynaklanabilecek çeşitli hastalıklar korunma sağlanmaktadır. Ancak klasik araç kabin filtrelerinde yüksek derece UFP'lerin tutulması mümkün olmamaktadır. UFP'lerin insan sağlığına zarar vermemesi için yüksek etkinliğe sahip kabin filtrelerinin kullanılmasına dikkat çekilmektedir [5,6]. Yüksek etkinliğe sahip kabin filtreleri ise klasik kabin hava filtrelerinden farklı olarak tek katmanlı sentetik liflerin kullanımını yerine iki katmanlı yüzey kullanılmakta olup filtrasyon verimliliğini arttırmak için daha küçük çaplara sahip lifler kullanılarak özgül yüzey alanı arttırılmaktadır [5]. Klasik araç kabin filtreleri incelendiğinde genellikle Spunbond dokusuz yüzey tekniği ile elde edilmiş pilelenmiş yüzeyler karşımıza çıkmaktadır. Spunbond üretim tekniği ile elde edilen yüzeylerin ortalama lif çapları 15-40 µm aralığındadır. Dokusuz yüzeylerde bulunan lif çaplarının daha da küçülmesi isteniyorsa meltblown dokusuz yüzey üretim tekniği kullanılarak ortalama lif çapları 2-10 µm aralığına çekilebilmektedir. Ancak filtrasyon özelliğiyle birlikte özgül yüzey alanını arttırmak için endüstride sıklıkla kullanılmayan elektro eğirme yöntemi ile 0,04-2 µm aralığında lif çaplarına sahip yüzeyler elde edilebilmektedir [7].

Yüksek filtrasyona sahip yüzeylerin elde edilmesinde kullanılacak bir başka dokusuz yüzey üretim tekniği ise çözelti üfleme eğirme tekniği olup burada elde edilen yüzeylerde elektro eğirme yöntemi ile elde edilen ortalama lif çaplarına sahip olup üretim tekniği elektro eğirme ile meltblown eğirme yönteminden esinlenerek ortaya çıkmıştır. Bu yöntem ile elde edilen yüzeyler elektro eğirme ile elde edilen yüzeylere göre daha yüksek üretim hızlarına sahip olup lif çekiminde elektrik alan veya polimerin iletkenliği önemli değildir. İç içe geçmiş iki düzeden oluşan sistemde dış düzeden yüksek basınçlı hava iç düzeden ise polimer çözeltisi beslenerek lif çekimi meydana gelmektedir [8]. Çözelti üfleme tekniği ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde nano lif çekimi üzerine birçok çalışma bulunurken, hava ve sıvı filtrasyonu üzerinde birkaç çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar kısaca incelendiğinde, Tan ve ark., 2019, 2 polipropilen dokusuz yüzey arasına 1, 2 ve 3 katman olmak üzere SBS ile elde edilen lifleri aktarmış ve daha sonra elde edilen bu yüzeylerin hava filtre maskesi olarak kullanımını incelemiştir. Sinha-Ray ve ark., 2015, yaptıkları çalışmada, 20-50 nm boyutunda SBS lifleri, elektro eğirme yöntemi ile elde edilen nanolifleri ve bu her ikisinin kombinasyonunu ticari olarak kullanılan filtrelerin üzerine aktarmışlardır. Daha sonra süspansiyon olarak nano partiküller halinde bulunan bakır nano partikülleri süspansiyon içinde modifiye edilmiş filtre kullanarak filtrasyon özelliklerini incelemiştir. Zhuang ve ark., 2012, yaptıkları çalışmada 12 g/m² polipropilen spunbond dokusuz yüzeyi toplayıcı olarak kullanarak farklı konsantrasyonlara sahip PA 6 çözeltilerini bu dokusuz yüzeyin üzerine aktarmışlar ve filtrasyon özelliklerini incelemiştir. Elde edilen verilere göre %93,45 oranından filtrasyon verimliliği elde ederken 15,37 Pa basınç düşüşü elde etmişlerdir [9-11].

Çözelti üfleme sistemi ile filtrasyon üzerine yapılan çalışmalarda araç kabin filtrelerinin filtreleme performansını arttırmaya yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmaması bu çalışmanın yenilikçi ve özgün yönünü ortaya koyarken, çözelti üfleme sistemi ile poliamid 6.6 lif çekimi de literatürde ilk olacaktır. Çalışma kapsamında, iki farklı yaklaşım üzerine inceleme gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımlardan ilki ticari kabin hava filtrelerinde kullanılan Polyester Spunbond dokusuz yüzeylere alternatif olabilecek farklı gramaj ve dokusuz yüzey teknikleri ile elde edilen yüzeylerin hava geçirgenlik ve gözenek çaplarındaki değişimin incelenmesidir. Diğer yaklaşım ise, yüksek performanslı kabin hava filtrelerinin geliştirilmesi için farklı dokusuz yüzeyler üzerine çözelti üfleme tekniği kullanılarak poliamid 6.6 nano liflerinin aktarılması ve elde edilen yeni yüzeylerin hava geçirgenlik ve gözeneklilik değerlerinin incelenmesidir. Bu doğrultuda yürütülen çalışma kapsamında, filtrasyon verimliliği daha yüksek olabilecek alternatif filtre yüzeylerinin geliştirilmesi ve araç kabin filtrelerinde kullanım olanakları araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında, ticari olarak kullanımda olan 100 g/m² polyester (PES) spunbond filtre yüzeyi ile bu yüzeye alternatif olabilecek farklı gramajlar ve üretim teknikleri ile elde edilen dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. Ayrıca bu yüzeylere çözelti üfleme tekniği kullanılarak poliamid 6.6 polimeri (Sigma Aldrich, Almanya, CAS No: 32131-17-2) aktarılmış ve böylece kompozit katmanlı filtre yüzeyi elde edilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan bu yüzeylere ait veriler Tablo 1’de verilmektedir.

2.2. Metot

Çalışma kapsamında alternatif filtre yüzeyi olabileceği düşünülen dokusuz yüzeylerin üzerine çözelti üfleme tekniği kullanılarak poliamid 6.6 polimerleri nanolif olarak aktarılmıştır. Çözelti üfleme eğirme cihazına ait resim ve şematik çizim Şekil 1’de gösterilmektedir. Çözelti üfleme sistemi hem elektrospinning hem de meltblown elementlerinin kullanımıyla mikro ve nano

boyutta dokusuz yüzey tülbent elde etmek için elektro eğirme yöntemine alternatif bir yöntem olarak geliştirilmiştir [8]. Sistem eş merkezli iç içe geçmiş düze, lif çekimi yapılacak polimerin sisteme beslenmesi için şırınga pompası, lif çekiminin gerçekleşmesi için yüksek basınçlı kompresör ve oluşan yüzey toplamak için bir levha veya döner tamburdan oluşmaktadır. Bu sistem ile lif oluşumu ise şu şekilde olmaktadır; polimer çözeltisi bir şırınga pompasıyla sabit şekilde eş merkezli düzelerden iç düzeye pompalanırken aynı zamanda yüksek hıza sahip gaz akışı ise dış düzeye beslenmektedir. Ortaya çıkan basınç farkı ve gaz/çözelti ara yüzeyinde meydana gelen kesme ile polimer çözeltisinden meydana gelen lifler toplayıcıya doğru fırlatılmaktadır. Havada süzülen polimer çözeltisi içerisinde çözücü hızlı bir şekilde buharlaşarak mikro ve nano boyutlara sahip bir ağ oluşumu sağlamaktadır. Böylece nano boyutta lifler elde edilmiş olmaktadır.

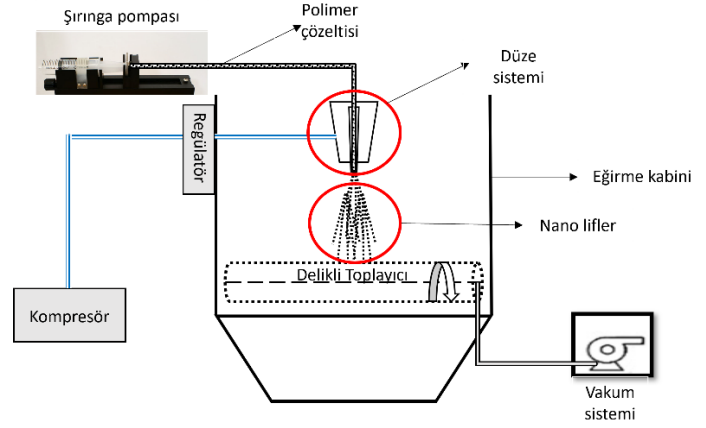
Poliamid 6.6 polimer çözeltisinin hazırlanması ve nanolif çekim parametrelerine ait bilgiler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 1. Çalışmada kapsamında kullanılan dokusuz yüzeyler ve poliamid 6.6 esaslı yüzeylere ait bilgiler

Zeminde Kullanılan Alternatif Dokusuz Yüzeyler				Poliamid 6.6 Aktarılan Yüzeyler
Numune Adı	Dokusuz Yüzey Tekniği	Kullanılan Polimer	g/m ²	Numune Adı
PES ₁₅	Spunbond	PES	15	PES ₁₅ /Poliamid 6.6
PP ₁₅	Spunbond	PP	15	PP ₁₅ /Poliamid 6.6
PP ₂₅	Spunbond	PP	25	PP ₂₅ /Poliamid 6.6
PES ₃₄	Spunbond	PES	34	PES ₃₄ /Poliamid 6.6
PP ₅₀	Spunbond	PP	50	PP ₅₀ /Poliamid 6.6
PP ₁₀₀	Spunbond	PP	100	PP ₁₀₀ /Poliamid 6.6
Referans	<i>Spunbond</i>	<i>PES</i>	<i>100</i>	PES ₁₀₀ /Poliamid 6.6
PP ₂₀	Meltblown	PP	20	PP ₂₀ /Poliamid 6.6
PP ₃₀	Meltblown	PP	30	PP ₃₀ /Poliamid 6.6
PP ₄₀	Meltblown	PP	40	PP ₄₀ /Poliamid 6.6
OH ₇₀	Airlaid	Odun hamuru	70	OH ₇₀ /Poliamid 6.6
OH ₁₀₀	Airlaid	Odun hamuru	100	OH ₁₀₀ /Poliamid 6.6



a



b

Şekil 1. a) Çözelti üfleme cihazına ait görsel, b) şematik çizim

Tablo 2. Polimer çözeltisinin hazırlanması ve lif çekim parametreleri

Çözelti Hazırlanması				Lif Çekim Parametreleri					
Çözelti Kons. (%)	Çözücü	Çözücü Sıcaklığı (°C)	Çözeltinin karışma süresi (saat)	Çözelti Viskozitesi P(Poise)	Kullanılan düze çapı (mm)	Besleme Hızı (ml/sa.)	Hava basıncı (bar)	Çalışma Süresi (dk.)	Tambur Dönüş hızı (t/dk)
10	Formik asit	60	2	1,60	0,8	10	2	30	90

2.3. Test ve Analizler

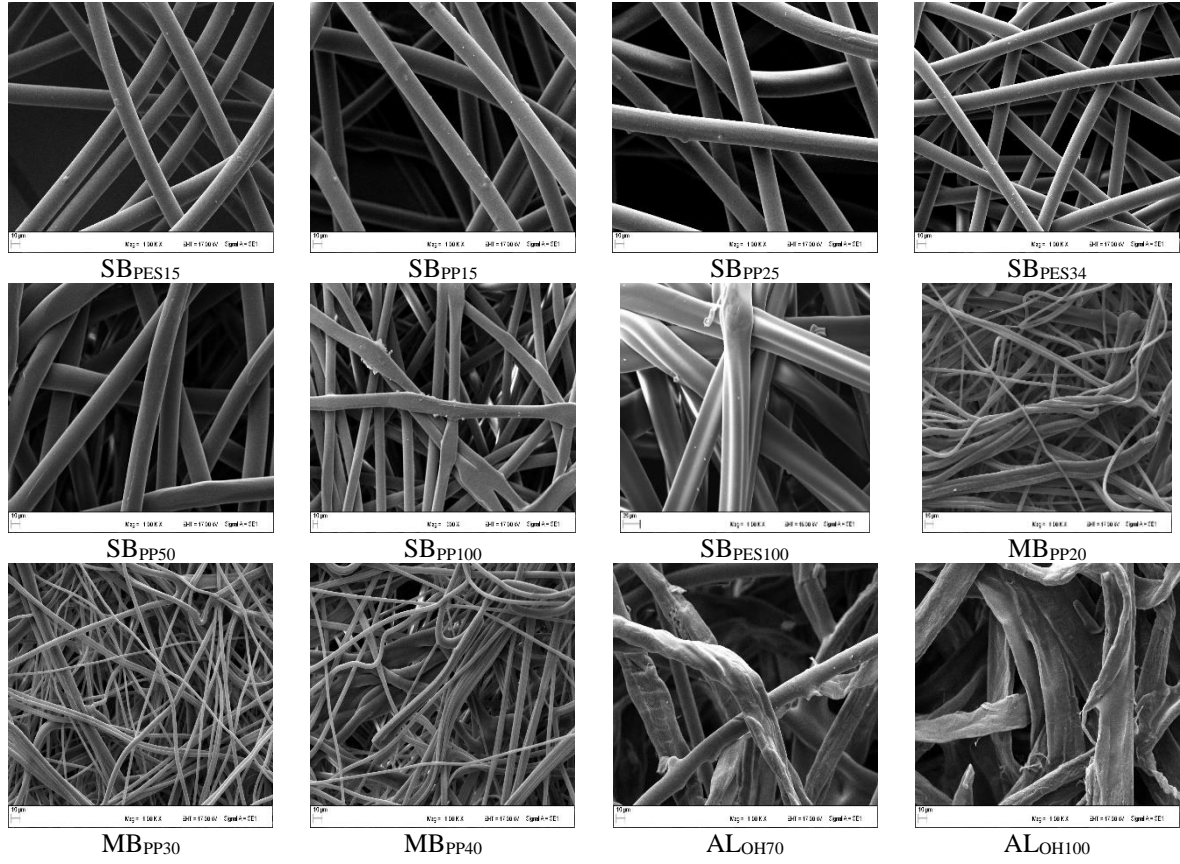
Çalışma kapsamında farklı dokusuz yüzeyler üzerine aktarılan poliamid 6.6 nano liflerinin morfolojik yapısını incelemek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Nano liflere ait görüntüler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Üniversite- Sanayi- Kamu İşbirliği Geliştirme, Uygulama ve Araştırma Merkezi (ÜSKİM)'nde bulunan Carl Zeiss EVO LS 10 taramalı elektron mikroskobu kullanılarak elde edilmiştir. SEM analizinde alınan görüntüler 1.000x büyütme ile elde edilmiştir. Farklı dokusuz yüzeyler ile poliamid 6.6 aktarılan yüzeylerden en az 6 adet lif çapı alınarak yüzeyler üzerindeki ortalama lif çapları imajeJ programı kullanılarak belirlenmiştir.

Ayrıca alternatif filtre yüzeyi olarak düşünülen yüzeyler ve poliamid 6.6/alternatif filtre yüzeyi karışımlarının fiziksel performanslarını incelemek amacıyla, hava geçirgenliği (Union Tech, Air Permeability Tester, Model: UAP-300) (Gurley Metodu) ve gözenek çapı tayini (Union Tech, Pore Size Tester, Model: UPS-100) testleri Şampiyon Filtre Pazarlama Sanayi ve Ticaret A.Ş Ar-Ge Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları üçer deneme sonunda elde edilmiş olup ortalamaları alınmıştır. 200 m³/sa' lik hava akışı altında gerçekleştirilen testte havanın akış yönü poliamid 6.6 aktarılan yüzeylerde poliamid 6.6 kaplanmış yüzeyden girecek şekilde uygulanmıştır.

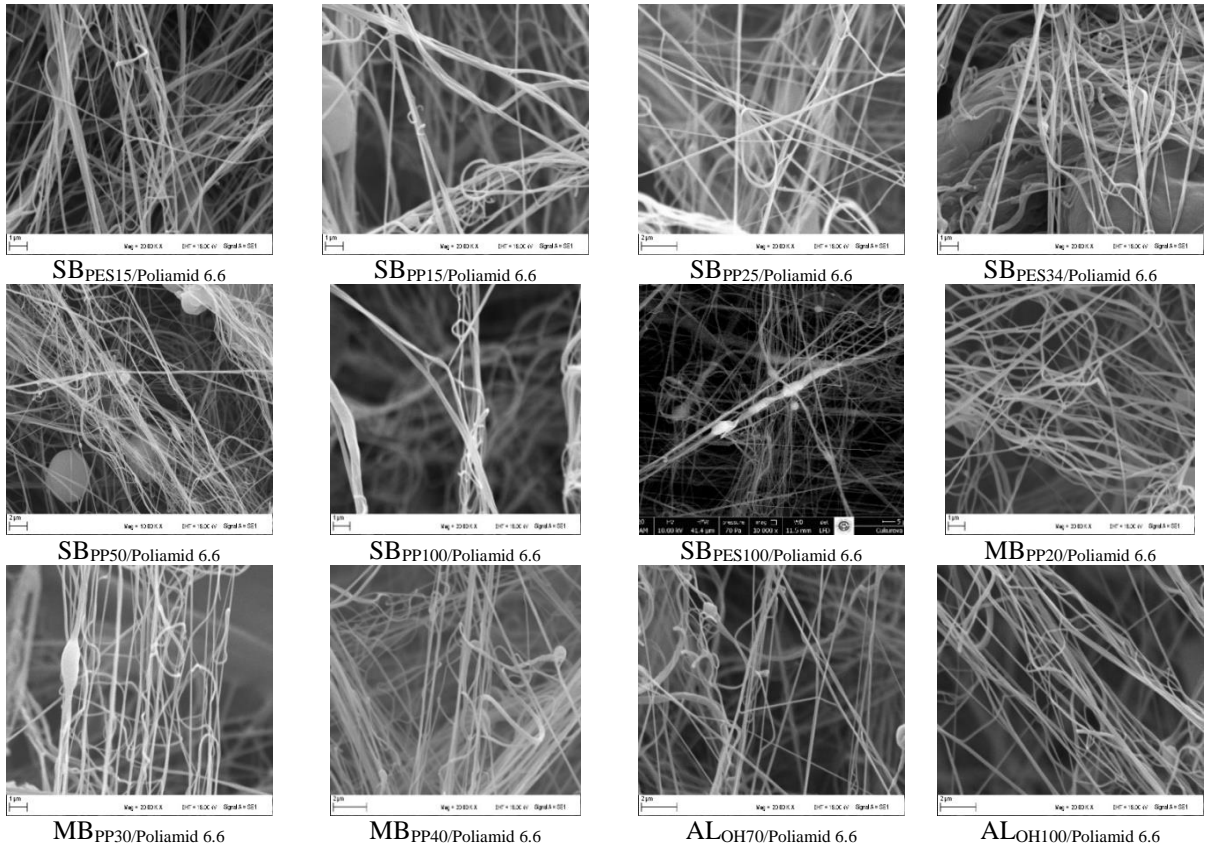
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında farklı dokusuz yüzey olarak seçilen yüzeylere ait SEM görüntüleri Şekil 2'de verilmektedir. Elde edilen SEM görüntüleri incelendiğinde, dokusuz yüzey üretim tekniklerine göre elde edilen yüzeylerde bulunan liflerin boyutlarında ve morfolojilerinde farklılıklar olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Spunbond ve Meltblown yüzey üretim tekniği kullanılarak elde edilen farklı gramajlara sahip dokusuz yüzeylerde bulunan liflerin µm mertebesinde olduğu görülürken, aynı zaman da elde edilen liflerin homojeniteye de sahip olduğu tespit edilmiştir. Hammadde olarak odun hamurunun kullanıldığı airlaid dokusuz yüzey teknolojisi ile elde edilen yüzeylere ait lifler incelendiğinde ise, liflerin µm mertebesinde olduğu görülmüştür [12–14].

Zemin üzerine aktarılan poliamid 6.6 liflerinin SEM görüntüleri Şekil 3'te verilmektedir. Dokusuz yüzeylerin üzerine aktarılan poliamid 6.6 liflerinden sonra elde edilen katmanlı yüzeylerin SEM görüntüleri incelendiğinde, nano boyutta olan poliamid 6.6 liflerinin kullanılan dokusuz yüzeylere başarılı bir şekilde aktarıldığı görülmektedir.



Şekil 2. Alternatif dokusuz yüzeylere ait SEM görüntüleri

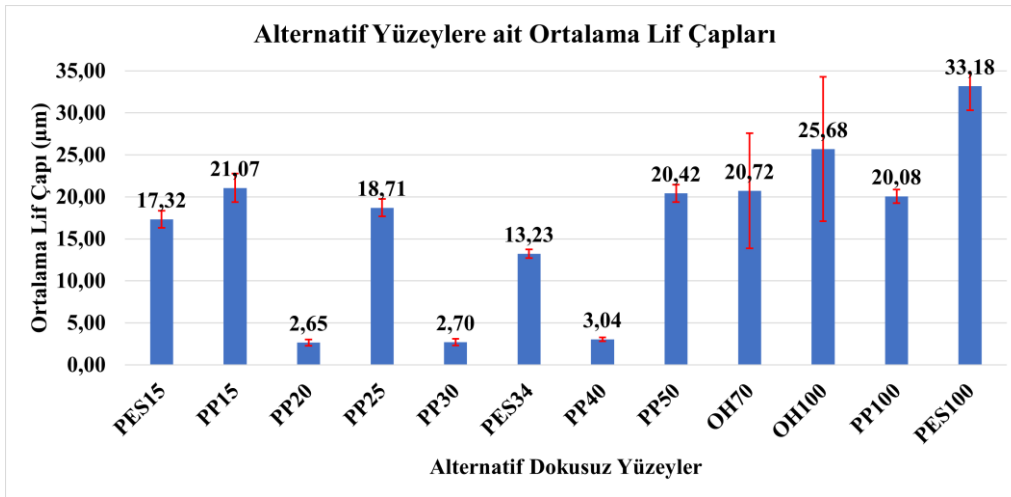


Şekil 3. Poliamid 6.6 aktarılmış yüzeylere ait SEM görüntüleri

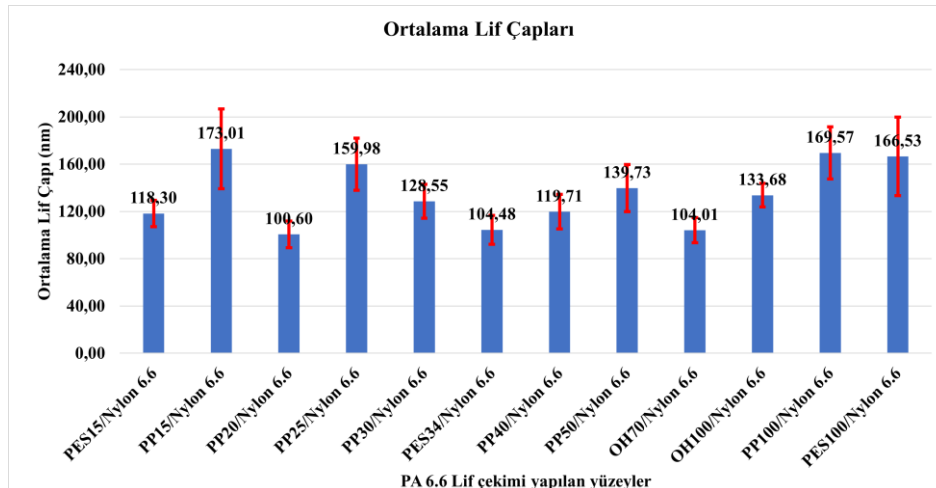
Farklı dokusuz yüzeyler üzerinde bulunan lifler ile poliamid 6.6 nanolif aktarılan yüzeyler üzerindeki ortalama lif çaplarının tespiti için imajeJ programı kullanılarak yüzey üzerinde bulunan en az 6 adet lifin çapları ölçülmüş ve ortalama lif çapları tespit edilmiştir. Yüzeyler üzerinde bulunan liflerden alınan ortalama lif çaplarına ait grafik Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmektedir.

Şekil 4'te farklı zemin yüzeylerden elde edilen lif çapları incelendiğinde, dokusuz yüzey üretim tekniklerinin ortalama lif çaplarını etkilediği görülmektedir. Meltblown yöntemi ile elde edilen yüzeylerde bulunan ortalama lif çapları 2,65-3,05 µm arasında olduğu görülürken, Spunbond yüzeylerde ortalama lif çaplarının 13,23-33,18 µm arasında ve airlaid yöntemi ile elde edilen yüzeylere bulunan ortalama lif çaplarının ise 20,72-25,68 µm arasında olduğu görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda farklı dokusuz yüzey üretim teknikleri ile elde edilen ortalama lif çaplarını desteklediği görülmüştür [12–14]. Grafik üzerindeki hata çubukları incelendiğinde dokusuz yüzey üretim tekniğine göre ortalama lif çaplarının standart sapmasının artabileceği görülmüştür.

Şekil 5'te farklı zemin yüzeyler üzerine aktarılmış poliamid 6.6 nano lifleri içeren katmanlı yüzeyler üzerinden elde edilen ortalama lif çapları incelendiğinde, farklı dokusuz yüzeylerine aynı şartlarda aktarılan poliamid 6.6 liflerinin nanometre mertebesinde olduğu görülmektedir. Aynı zamanda yüzeyler üzerinden elde edilen ortalama nanolif çaplarının 100,60-173,01 nm arasında değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Grafik üzerindeki hata çubukları incelendiğinde, zemin yüzey üzerine çözeltili üfleme tekniği ile aktarılan nanoliflerin ortalama çaplarının standart sapma ve standart hata değerlerinin genel olarak birbirine benzer olduğu görülmüştür. PP15/Poliamid 6.6, PP100/Poliamid 6.6 ve PES100/Poliamid 6.6 yüzeylerinde bulunan nanoliflerin ortalama çaplarının standart sapmasının diğer numunelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortaya çıkan bu durumun lif çekim sırasında meydana gelen anlık nem ve sıcaklık değişimlerinden meydana gelebileceği düşünülmüştür. 120 adet lif üzerinden elde edilen ortalama poliamid 6.6 lif çapının ise 136,96 nm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4. Alternatif yüzeylere ait ortalama lif çapları



Şekil 5. Poliamid 6.6 aktarılmış yüzeylere ait ortalama lif çapları

Alternatif filtre yüzeyi olarak düşünülen dokusuz yüzeyler ile poliamid 6.6 aktarılan katmanlı yüzeylerin hava geçirgenlik test sonuçlarına ait veriler Tablo 3' te verilmektedir.

Hava geçirgenliğinin, dokusuz yüzeylerin yapısal karakteristik özellikleri (kumaş ağırlığı, lif çapı, kalınlık ve yoğunluk) ile arasında bir ilişki vardır. Dokusuz yüzeylerde hava geçirgenliğini etkileyen en önemli parametreler ise kumaş ağırlığı ve kumaş yoğunluğudur [15]. Ayrıca gözeneklilikte dokusuz yüzeylerin hava geçirgenliği üzerinde etkilidir. Dokusuz yüzeylerdeki hava akışının sağlanmasında önemli parametreler dolambaçlılık faktörü, etkili veya dolambaçlı kanalın oranı, uzunluk ve numune kalınlığıdır [16].

Alternatif dokusuz yüzeylerden elde edilen hava geçirgenlik değerleri incelendiğinde, en yüksek hava geçirgenliği değerleri 15 g/m² Spunbond üretim tekniği ile elde edilmiş yüzeylerde olduğu görülürken (4271, 4095 lt/m²sn) gramaj artıkça hava geçirgenlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. Öte yandan meltblown ile elde edilen yüzeylerin ise en düşük hava geçirgenlik değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Air-laid ile elde edilen yüzeylerin hava geçirgenliklerinin ise Spunbond ve meltblown yüzeylerin hava geçirgenlik değerlerinin arasında olduğu tespit edilmiştir. Meltblown yöntemi ile elde edilen liflerin çapları Spunbond ve air-laid ile elde edilen yüzeylerden daha küçük olmakla birlikte bu durum meltblown yüzeylerin daha fazla özgül yüzey alanına sahip olmasını sağlamakta ve böylece hava geçirgenliği diğer yöntemlere göre daha düşük olmaktadır [17–20].

Poliamid 6.6 aktarılmış katmanlı yüzeylerin hava geçirgenlik değerleri incelendiğinde, hava geçirgenlik değerlerinin 4271 lt/m²sn den 114 lt/m²sn ye kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Burada kullanılan dokusuz yüzey teknikleri ile gramajların hava geçirgenlik değerleri üzerinde önemli derecede bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bunun nedeni ise ortalama 104-173 nm lif çaplarına sahip yüzeylerin alanının klasik dokusuz yüzeylere göre çok fazla artması ve böylece birim alanda çok fazla miktarda nano lif bulunmasıdır. Ayrıca elde edilen yüzeyler üzerinde bulunan nano liflerin çekimi sırasında kontrollü bir oryantasyon olmadığından havanın geçiş yolu sürekli değişmiş ve böylece hava geçirgenlik değerleri azalmıştır.

Alternatif filtre kağıdı olarak düşünülen dokusuz yüzeyler ile poliamid 6.6 aktarılan kompozit yüzeylerin gözenek çapı tayinine ait veriler Tablo 4' te verilmektedir.

Gözenek çaplarına ait veriler incelendiğinde gözenek çapı, maksimum gözenek çapı ve çoklu gözenek çapı terimlerinin olduğu görülmektedir. Bu terimler incelendiğinde minimum gözenek çapı test alanındaki en küçük gözenek çapını, çoklu

gözenek çapı ortalama gözenek çapını ve maksimum gözenek çapı ise en büyük gözenek çapını ifade etmektedir. Farklı dokusuz yüzey üretim teknikleri ile elde edilen yüzeylerin farklı gözenek çaplarına sahip olduğu ve bu gözenek çaplarının 7-213 µm arasında değiştiği görülmektedir. Dokusuz yüzey üzerinde bulunan gözenek çapları ortalama lif çapı ile ilişkilidir [17–21]. Lif çapı ne kadar düşerse gözeneklilik değerleri de paralel olarak düşüş gösterecektir. Bu nedenle meltblown ile elde edilen yüzeylerde bulunan gözenek çaplarının Spunbond ve airlaid yüzeylere göre daha düşük olduğunu söylemek mümkündür.

Tablo 3. Numunelere ait hava geçirgenliğine ait test sonuçları

Numune Adı	Hava Geçirgenliği (lt/m ² sn)	Numune Adı	Hava Geçirgenliği (lt/m ² sn)
SBPES15	4271	SBPES15/Poliamid 6.6	156
SBPP15	4095	SBPP15/Poliamid 6.6	187
SBPP25	3510	SBPP25/Poliamid 6.6	177
SBPES34	2252	SBPES34/Poliamid 6.6	163
SBPP50	1878	SBPP50/Poliamid 6.6	187
SBPP100	809	SBPP100/Poliamid 6.6	205
SBPES100	2146	SBPES100/Poliamid 6.6	205
MBPP20	1184	MBPP20/Poliamid 6.6	114
MBPP30	683	MBPP30/Poliamid 6.6	115
MBPP40	603	MBPP40/Poliamid 6.6	116
ALOH70	1766	ALOH70/Poliamid 6.6	117
ALOH100	1121	ALOH100/Poliamid 6.6	118

Poliamid 6.6 aktarılan alternatif yüzeylere ait gözeneklilik değerleri incelendiğinde ise, dokusuz yüzey üretim tekniklerine bakılmaksızın dokusuz yüzeylerin üzerinde bulunan lifler nano boyutta poliamid 6.6 lif aktarımı ile birlikte gözenek çaplarının küçüldüğü görülmüştür. Burada yüzey üzerinde bulunan lif çaplarının küçülmesi ile gözeneklilik değerlerinin düşebileceği bilinmektedir. Poliamid 6.6 nanolif bulunan yüzeylerin gözenek çapları her ne kadar lif çaplarının küçülmesi ile düşmüş olsa da gözeneklilik değerlerinin 5-95 µm aralığında geniş bir yelpazede olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan bu durumun ise yüzey üzerinde bulunan liflerin oryantasyonunun gözeneklilik üzerinde doğrudan etkisi olmasından kaynaklanmaktadır. Liflerin yüzey üzerindeki yerleşimi ne kadar düzgün olursa, yüzeylerin filtrasyon ve gözeneklilik değerleri o kadar stabil olacaktır. Ancak nano liflerin kontrolsüz bir şekilde rastgele yüzey üzerine aktarılmasından dolayı elde edilen yüzeylerdeki gözeneklilik değerlerinde bu gibi dalgalanmaların olması muhtemeldir [22,23].

Tablo 4. Poliamid 6.6 aktarılan kompozit yüzeylerin gözenek çapı tayinine ait test sonuçları

Numune Adı	Minimum Gözenek Çapı (µm)	Maximum Gözenek Çapı (µm)	Çoklu Gözenek Çapı (µm)	Numune Adı	Minimum Gözenek Çapı (µm)	Maximum Gözenek Çapı (µm)	Çoklu Gözenek Çapı (µm)
SBPES15	186	207	190	SBPES15/Poliamid 6.6	95	152	142
SBPP15	186	207	190	SBPP15/Poliamid 6.6	5	34	32
SBPP25	186	207	190	SBPP25/Poliamid 6.6	5	34	32
SBPES34	129	175	157	SBPES34/Poliamid 6.6	95	152	108
SBPP50	83	142	126	SBPP50/Poliamid 6.6	95	152	142
SBPP100	29	84	76	SBPP100/Poliamid 6.6	65	126	117
SBPES100	129	175	163	SBPES100/Poliamid 6.6	52	114	108
MBPP20	10	46	43	MBPP20/Poliamid 6.6	-	-	-
MBPP30	8	42	40	MBPP30/Poliamid 6.6	5	33	28
MBPP40	7	38	34	MBPP40/Poliamid 6.6	5	32	26
ALOH70	83	142	134	ALOH70/Poliamid 6.6	65	126	120
ALOH100	83	142	120	ALOH100/Poliamid 6.6	29	84	71
“-“: Gözenek çapı deneyinde süzücü üzerindeki kaplama kağıt üzerinden kolayca ayrıldığı için değer alınamamıştır.							

Poliamid 6.6 kaplı numunelerin hava geçirgenlik değerleri ve gözeneklilik değerleri birlikte incelendiğinde, gözenek çaplarında farklılıklar olmasına rağmen bu farklılıkların belirgin bir şekilde hava geçirgenliği test sonuçlarında görülmediği tespit edilmiştir. Gözenekli yapıların içinden akış söz konusu olduğunda malzeme, şekil, oryantasyon ve boşluklardaki boyut dağılımı son derece önemlidir. Ancak akışın sağlandığı kanallardaki kıvrımlılık, şekil ve genişlik akış oranı üzerinde önemli derece etkili olduğundan dolayı geçirgenlik ile gözeneklilik arasında basit bir korelasyon yoktur. Bu nedenle nanolif içeren yüzeylerde gözeneklilik ile hava geçirgenliği sonuçları arasında doğrudan bir ilişki kurmak mümkün değildir [24]. Araç kabin filtrelerinde istenilen en önemli özellik havalandırma sistemi aracılığıyla kabine giren hava akımındaki partikülleri etkin bir filtreleme sistemi ile ortadan kaldırmaktır [4]. Buna göre araç kabin filtrelerinin performansı DIN 71460, ISO/TS 11155 ve SPS-KACA014-0144 gibi test standartlarına göre değerlendirilmektedir ve bu test standartlarında 0,3µm-0,5µm aralığındaki partiküllerin minimum olarak %50 oranında tutması önerilmektedir [3,5,25,26]. Yukarıda belirtilen verilere göre hava filtresi test santralinde 0,3µm boyutundaki toz NaCl partiküller filtre yüzeyine dakikada 95 l havanın geçeceği şekilde aktarılmış ve daha sonra filtrelerin 0,3µm boyutundaki partikülleri tutma verimliliği ölçülmüştür. ticari olarak kullanılan SBPES100 filtre yüzeyinin partikül tutma etkinliğinin %9,025 olduğu tespit edilirken SBPES100/Poliamid 6.6 filtre yüzeyinin ise %89,237 oranında 0,3µm boyutundaki partikülleri tutabildiği tespit edilmiştir. Filtreleme verimliliği bakımından nanolif içeren filtre yüzeylerinin standartların önerdiği partikül tutma kapasitesine ulaşabileceği ve böylece araç kabin filtrelerinde kullanılabilmesi görülmüştür. Öte yandan filtreleme esnasında ortaya çıkan basınç farkı verileri incelendiğinde, ticari filtrede oluşan basınç farkının 9 Pa olduğu görülürken, Poliamid 6.6 da ise basınç farkının 211 Pa

olduğu tespit edilmiştir. Ortaya çıkan bu durumun Poliamid 6.6 nanolifleri içeren yüzeyin yüksek derece filtreleme performansına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü yüksek filtreleme performansı ile birlikte yüzeydeki gözeneklerde tıkanmaya neden olmakta ve havanın geçiş yollarını kapatmaktadır. Böylece kabin içini soğutmak için ekstra enerji tüketimi gerekmektedir. Ancak elde edilen basınç farkı verileri literatürde bulunan yüksek filtreleme performansına sahip filtreler ile karşılaştırıldığında uygun seviyelerde olduğu görülmektedir [27].

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında ulaşılmak istenen hedefler için öncelikle araç kabin hava filtrelerinde yüzey olarak kullanılan 100 g/m² Polyester Spunbond yüzeyin yerine geçebilecek dokusuz yüzeylerin performans değerleri incelenirken, sonrasında araç kabin filtrelerinin filtrasyon performansını arttırmak amacıyla farklı dokusuz yüzeyler üzerine çözelti üfleme lif çekim sistemi kullanılarak poliamid 6.6 polimerleri nano lif olarak aktarılmıştır. Aynı zamanda Poliamid 6.6 polimeri çözelti üfleme tekniği ile de farklı dokusuz zemin yüzeylere ilk defa aktarılmıştır. Tüm yüzeylere hava geçirgenliği, ortalama lif çapı ve gözeneklilik çaplarının belirlenmesi için test ve analizler uygulanmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde, farklı dokusuz yüzey üretim tekniklerini ve gramajlarda elde edilen dokusuz yüzeylerin hem lif çaplarında hem hava geçirgenliği hem de gözenek çaplarında değişiklikler olabileceği görülmüştür. Öte yandan çözelti üfleme tekniği ile poliamid 6.6 nanolif çekiminin yapılabileceği görülmüştür. Ayrıca bu yüzeylerinde araç kabin filtrelerindeki filtreleme performansını arttırmak için kullanılabilmesi hava filtresi test santralinde yapılan 0,3µm partikül tutma verimlilik testinde kanıtlanmıştır. Ancak nanolif içeren yüzeyler ile filtrasyon sırasında basınç farkında yüksek derecede artış meydana geldiği görülmüştür. Çalışma sonucunda düşük gözenek çapları ile araç

kabin filtrelerinin daha iyi ve daha küçük parçacıkları filtreleyebileceği düşünülürken, ortaya çıkan yüksek basınç farkı değerlerinin yapılacak daha sonra çalışmalar ile daha düşük düşük değerler elde edilmesi planlanmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında zemin olarak kullanılan dokusuz yüzeylerin gramajı düşmesi ile filtre maliyetlerinin düşmesinin yanı sıra nanolif içeren yeni yüzeyler klasik filtrelere göre daha küçük partiküllerin filtrasyonunu sağlayabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenmiştir. Proje No: 3191065.

KAYNAKLAR

1. Alan, G., Tercan, M., (2013), *Efficiencies and Dust Holding Capacities of Textiles Used For Air Filter Applications*, Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 19:179–186.
2. Aslan, S., Kaplan, S., (2010), *Filtrasyon Tekstilleri: Kullanılan Hammaddeler, Üretim Yöntemleri ve Kullanım Alanları*, The Journal of Textiles and Engineer, 17:24–37.
3. Heo, K.J., Noh, J.W., Lee, B.U., et al., (2019), *Comparison of filtration performance of commercially available automotive cabin air filters against various airborne pollutants*, Building and Environment, 161:106272.
4. Qi, C., Stanley, N., Pui, D.Y.H., et al., (2008), *Laboratory and on-road evaluations of cabin air filters using number and surface area concentration monitors*, Environmental Science and Technology, 42:4128–4132.
5. Lee, E.S., Zhu, Y., (2014), *Application of a high-efficiency cabin air filter for simultaneous mitigation of ultrafine particle and carbon dioxide exposures inside passenger vehicles*, Environmental Science and Technology, 48:2328–2335.
6. Yu, N., Shu, S., Lin, Y., et al., (2017), *High efficiency cabin air filter in vehicles reduces drivers' roadway particulate matter exposures and associated lipid peroxidation*, PLoS ONE, 12:1–13.
7. Süpüren, G., Kanat, Z.E., Çay, A., Kırıcı, T., Gülümser, T. Tl., (2007), *Nano lifler (bölüm 2)*, Tekstil ve Konfeksiyon, 17:83–89.
8. Medeiros, E.S., Glenn, G.M., Klamczynski, A.P., et al., (2009), *Solution blow spinning: A new method to produce micro- and nanofibers from polymer solutions*, Journal of Applied Polymer Science, 113:2322–2330.
9. Tan, N.P.B., Paclijan, S.S., Ali, H.N.M., et al., (2019), *Solution Blow Spinning (SBS) Nanofibers for Composite Air Filter Masks*, ACS Applied Nano Materials, 2:2475–2483.
10. Sinha-Ray, S., Sinha-Ray, S., Yarin, A.L., et al., (2015), *Application of solution-blown 20-50nm nanofibers in filtration of nanoparticles: The efficient van der Waals collectors*, Journal of Membrane Science, 485:132–150.
11. Zhuang, X., Yang, X., Shi, L., et al., (2012), *Solution blowing of submicron-scale cellulose fibers*, Carbohydrate Polymers, 90:982–987.
12. Chen, K., Ghosal, A., Yarin, A.L., et al., (2020), *Modeling of spunbond formation process of polymer nonwovens*, Polymer, 187:121902.
13. Midha, V.K., Dakuri, A., (2017), *Spun bonding Technology and Fabric Properties: a Review*, Journal of Textile Engineering & Fashion Technology, 1:126–133.
14. Lindberg, E., (2015), *Investigation of making nonwoven textiles with wood fibres and papermaking technique*, Kth Royal Institute of Technology Department of Fibre and Polymer Technology, 46.
15. Berkalp, O.B., (2006), *Air permeability & porosity in spun-laced fabrics*, Fibres and Textiles in Eastern Europe, 14:81–85.
16. Zhu, G., Kremenkova, D., Wang, Y., et al., (2015), *Air permeability of polyester nonwoven fabrics*, Autex Research Journal, 15:8–12.
17. Ozturk, M.K., Nergis, B., Candan, C., (2016), *A comparative study on air permeability properties of multilayered nonwoven structures*, International Journal of Materials and Metallurgical Engineering, 10:1510–1513.
18. Duran, K., Duran, D., Oymak, G., et al., (2013), *Investigation of the physical properties of meltblown nonwovens for air filtration*, Tekstil ve Konfeksiyon, 23:136–142.
19. Hassan, M.A., Yeom, B.Y., Wilkie, A., et al., (2013), *Fabrication of nanofiber meltblown membranes and their filtration properties*, Journal of Membrane Science, 427:336–344.
20. Yesil, Y., Bhat, G.S., (2017), *Porosity and barrier properties of polyethylene meltblown nonwovens*, Journal of the Textile Institute, 108:1035–1040.
21. Hekmati, A. H., Khenoussi, N., Nouali, H., et al., (2014), *Effect of nanofiber diameter on water absorption properties and pore size of polyamide-6 electrospun nanoweb*, Textile Research Journal, 84:2045–2055.
22. Gültekin, E., Çelik, H.İ., Nohut, S., et al., (2020), *Predicting air permeability and porosity of nonwovens with image processing and artificial intelligence methods*, Journal of the Textile Institute, 5000:
23. Akampumuza, O., Xu, H., Xiong, J., et al., (2020), *Analyzing the effect of nanofiber orientation on membrane filtration properties with the progressive increase in its thickness: a numerical and experimental approach*, Textile Research Journal, 90:24–36.
24. Maity S, Singha K., (2013), *Structure-Property Relationships of Needle-Punched Nonwoven Fabric*, Frontiers in Science, 2:226–234.
25. Xu B, Liu S, Liu J, et al., *Effects of vehicle cabin filter efficiency on ultrafine particle concentration ratios measured in-cabin and on-roadway*, Aerosol Science and Technology, (2011), 45:234–243.
26. Heo KJ, Noh JW, Kim Y, et al., *Comparison of the service life of an automotive cabin air filter under dust loading conditions of the laboratory environment and on-road driving*, Journal of Aerosol Science, (2022), 162:105972.
27. Chang DQ, Tien CY, Peng CY, et al., *Development of composite filters with high efficiency, low pressure drop, and high holding capacity PM2.5 filtration*, Separation and Purification Technology, (2019), 212:699–708.