

**ARGEPAK BİNASINDA OFİS/LABORATUVAR ALANI TAHSİSİ GERÇEKLEŞTİRİLEN
ARAŞTIRMA GRUPLARI FAALİYET RAPORU (2025)**

Araştırma Grubu	TekTeks
Proje Yürütücüsü / Grup Lideri	Doç. Dr. Sümeyye ÜSTÜNTAĞ
Sanayi Kuruluşu (İş Birliği varsa)	-
Proje Türü / Destek Programı	TÜBİTAK 1001
Projenin Başlığı	Tavuk Tüylerinden Hava Filtresi Malzemelerinin Geliştirilmesi
Tahsise Konu Olacak Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihi	-
Araştırmacı(lar)	Sümeyye Üstüntağ, Mehmet Doğan, Leyla Paşayeva
Proje Grubu	☒ (x) Fen ve Mühendislik Bilimleri ☐ () Tıp ve Sağlık Bilimleri ☐ () Sosyal Bilimler ☐ () Üniversite-Sanayi İş Birliği
<i>Bu alan, ofis/laboratuvar alanı tahsisi sırasında sunulan bilgilerle doldurulmuştur.</i>	

1. DÖNEM İÇİNDE GERÇEKLEŞTİRİLEN FAALİYETLER VE ELDE EDİLEN BULGULAR/SONUÇLAR

Tahsis kapsamında yürütülen projenin iş-zaman çizelgesi dikkate alınarak dönem içinde proje kapsamında gerçekleştirilen faaliyetler ve elde edilen sonuçlar sunulmalıdır.

Dönem İçinde Gerçekleştirilen Faaliyetler ve Elde Edilen Bulgular/Sonuçlar

Proje ara raporu, projenin 30-36 aylarını kapsamakta olup, ek süre geliştireme raporunda belirtilen 1. ve 2. İş paketi kapsamındaki işleri içermektedir. Ayrıca bu dönem kapsamında, proje kapsamında planlanan yüksek lisans öğrencilerinden biri mezun edilmiştir.

a) 1. İP Kapsamında Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Bulgular

Bir önceki gelişme raporunda 10 ml'lik çözeltiler ile lif keratin/PLA karışımından numuneler üretilmiş filtrasyon özellikleri incelenmiştir. Bu dönemde aynı çözelti miktarında 10/90, 30/70, 50/50, 70/30 ve 90/10 sap keratin/PLA karışımından nanolifler PET spunbond dokusuz yüzeyler üzerine biriktirilmiş ve bu numunelerin filtrasyon özellikleri incelenmiştir.

İncelemeler, 70/30, 30/70 ve 10/90 lif keratin/PLA karışım oranlarında üretilen nanolifli yüzeylerin yüksek ve birbirine yakın filtrasyon verimliliğine sahip olduğunu göstermiştir. Ancak keratin oranı %50'nin altına düştüğünde basınç düşümü çok yüksek çıkmıştır; bunun nedeni olarak PLA oranının artmasıyla lif çaplarının büyümesi gösterilmiştir. En düşük filtrasyon verimi ve basınç düşümü 90/10 keratin/lif karışımında (%59,72 ve 156 Pa) görülmüştür. SEM görüntüleri, bu oranlardaki nanoliflerin ağsı formda ve yüzeylerin homojen olmadığını ortaya koymuştur. Filtre kalite faktörü (Qf) analizinde en yüksek değer (0,00619 l/Pa) 70/30 lif keratin/PLA karışımında elde edilmiş, bu oran yüksek verimlilik (%99,57) ve kabul edilebilir basınç düşümü (879 Pa) sağlamıştır. Ancak, enerji maliyeti açısından basınç düşümünün 300 Pa'nın altında olması gerektiğinden, 70/30 keratin/PLA karışımında çözelti miktarının azaltılması yönünde karar verilmiştir.

Sap keratin/PLA karışımlarında da benzer analizler yapılmış, 70/30, 50/50, 30/70 ve 10/90 oranlarında yüksek ve birbirine yakın parçacık tutuş verimleri gözlenmiştir. Keratin oranı azaldıkça basınç düşümü artmış, 90/10 oranında en düşük filtrasyon verimi (%21,34) ve basınç düşümü (13 Pa) kaydedilmiştir. Morfolojik analizler, bu oranlarda nanoliflerin lif keratinine göre daha ince ve bazı bölgelerde kümelenmeler gösterdiğini, bunun filtrasyon verimliliğini olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur. Lif keratinine kıyasla sap keratini içeren nanoliflerin genel olarak daha yüksek filtrasyon verimliliği sergilediği, ancak 50/50, 30/70 ve 10/90 oranlarında basınç düşümünün daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun, 10 ml çözelti ile üretilen daha ince liflerin örtücülüğünün artmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Sap keratini/PLA karışımlarında en yüksek filtre kalite faktörü 90/10 oranında görülmüş olsa da, bu karışım 0,3 µm partiküllerde yetersiz kalmıştır. Bu nedenle ideal filtre malzemesi olarak, lif keratininde olduğu gibi, 70/30 sap keratin/PLA karışım oranı tercih edilmiş ve bu oranla üretilen nanolifli yüzeylerin %98,96 filtrasyon verimi ve 863 Pa basınç düşümü değerleri elde edilmiştir.

Lif ve sap keratini içeren nanoliflerde 10 ml çözelti ile üretilen 70/30 karışımlar, yüksek filtrasyon verimi sağlamalarına rağmen oldukça yüksek basınç düşümü nedeniyle enerji maliyetini artırmıştır. Bu sebeple çözelti miktarları azaltılarak (1 ml, 2 ml, 3 ml, 5 ml ve 7 ml) yeni üretimler gerçekleştirilmiş ve filtreleme performansları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Lif keratini içeren nanoliflerde çözelti miktarının azaltılması, filtrasyon veriminde sınırlı bir düşüşe neden olmuş; örneğin 10 ml çözeltiye kıyasla %99 seviyelerinden %93 civarına gerilemiştir. Buna karşın basınç düşümünde belirgin bir azalma sağlanmış ve bu durum kalite faktörünü iyileştirmiştir. Özellikle 3 ml çözelti ile üretilen nanolifli yüzeylerde %93,30 filtrasyon verimi ve 193 Pa basınç

düşümü elde edilmiştir. Bu değerler, hem yüksek partikül tutma kapasitesini hem de kabul edilebilir basınç düşüşünü bir arada sunarak lif keratini esaslı nanolifli yüzeylerin HEPA filtre standartlarına yakın performans gösterebildiğini ortaya koymuştur.

Sap keratini/PLA karışımlarında ise çözelti miktarındaki azalma filtrasyon veriminde kayda değer bir değişikliğe yol açmamış, ancak basınç düşümünü 10 ml çözelti ile üretilen nanoliflere kıyasla önemli ölçüde azaltmıştır. Sap keratini esaslı nanoliflerde 3 ml çözelti ile %98,24 filtrasyon verimi ve 246 Pa basınç düşümü elde edilmiştir. Bu sonuç, sap keratini/PLA nanoliflerinin yüksek verimlilikle çalışabileceğini, aynı zamanda enerji maliyetini sınırlayacak basınç düşüşü seviyelerine ulaşabileceğini göstermektedir. Ayrıca sap keratini ile üretilen nanoliflerin lif keratini ile üretilenlere göre daha ince çaplara sahip olması, yüzey örtücülüğünü artırmış ve partikül tutma verimliliğinin daha yüksek olmasına katkı sağlamıştır.

Korona deşarj uygulaması sonrasında her iki grupta da partikül tutma veriminin arttığı, bu etkinin özellikle düşük ve orta çözelti miktarlarında daha belirgin olduğu görülmüştür. Lif keratini içeren nanoliflerde 3 ml çözelti ile %93,30 olan verim, korona deşarj sonrasında %97,28'e yükselmiş, kalite faktörü de anlamlı şekilde artmıştır. Benzer şekilde sap keratini içeren nanoliflerde de korona sonrası %98,24 olan verim %99,27'ye çıkmış, basınç düşümünde sınırlı bir artış olmasına rağmen filtre performansında genel bir iyileşme sağlanmıştır. Bu bulgular, elektrostatik yüklemenin nanolifli yüzeylerin partikül tutma kapasitesini güçlendirdiğini ve özellikle düşük çözelti miktarlarında filtre malzemelerinin etkinliğini artırmada kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

b) İP Sonuçlarının İlgili İP'nin Başarı Ölçütleri Göz Önüne Alınarak Gerçekleşme Durumu

İP No	1
İP Adı	Keratin Esaslı Nanolif Yüzeylerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi İş Paketi
İP Tamamlanma Durumu (Yüzde Belirtilmelidir)	%100
Yapılması planlanan çalışmalar	1. Filtrasyon kalite faktörü açısından ideal PLA/keratin karışım oranlarının belirlenmesi 2. Filtrasyon kalite faktörü açısından ideal karışım oranı için ideal nanolif miktarının tespit edilmesi 3. Belirlenen filtrasyon verimliliği hedefine ulaşılabilmesi için Corona deşarjı yönteminin uygulanması 4. Taşıyıcı malzeme ile nanolif yüzey özelliklerinin test edilmesi

Bu iş paketi tam olarak tamamlanmıştır ve planlanan hedeflere ulaşılmıştır.

c) 2 İP Kapsamında Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Bulgular

2. iş paketinin %90 olarak tamamlanmıştır. 2. iş paketi kapsamında tavuk tüyü lifli dokusuz yüzeyler ile nanolifli yüzeyden kompozit yapılar üretilmiştir. Tavuk tüyü lifi dokuzu yüzey ön filtreleme amacıyla yapıya dahil edilmiştir. Nanolifli yüzey ise ince filtreleme amacıyla kullanılmıştır. Ön filtrasyon için 12 gr tavuk tüyü lifi ve 18 gr rPET (K10) kullanılarak üretilen dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. İnce filtrasyon için yüksek filtrasyon verimliliği ve düşük basınç düşümü açısından 1 ml ve 2 ml çözeltilerinden 70/30 lif keratin/PLA karışımından üretilen nanolifli yüzeyler kullanılmıştır. Bazı katmanlı yapılar için 180 g/m² spunbond PET dokusuz yüzeyden kese yapılarak koruyucu tabaka olarak kullanılmıştır. En ideal kompozit yapı kese içerisine konulmuş tavuk tüyü lifli dokuzu yüzey ile 2 ml çözeltilerden üretilen nanolifli yüzeyin kombinasyonundan elde edilmiştir.

Bu kompozit yapı %98,89 filtrasyon verimliliğine ve 186 Pa basınç düşümüne sahiptir. İlgili numunenin maliyeti tüm katmanlar ve üretim şartları göz önünde bulundurularak hesaplanmış ve toplam maliyeti 23,06 TRY olarak bulunmuştur.

Bu iş paketi kapsamında hava geçirgenliğinin ölçülmesi planlanmıştır. Ancak numuneler İstanbul'a gönderildiğinden ölçüm yapılamamıştır. Bir sonraki dönemde yapılacaktır. Ayrıca bu iş paketinde mekanik ölçümlerin yapılması planlanmıştır. Ancak filtre malzemeleri kullanım esnasında yüksek mekanik kuvvetlere maruz kalmadığı için gerekli görülmemiştir.

d) 2 İP Sonuçlarının İlgili İP'nin Başarı Ölçütleri Göz Önüne Alınarak Gerçekleşme Durumu

İP No	2
İP Adı	Hava Filtre Malzemesi için Kompozit Yapıların Oluşturulması ve Özelliklerinin Belirlenmesi İş Paketi
İP Tamamlanma Durumu (Yüzde Belirtilmelidir)	%90
Yapılması planlanan çalışmalar	1. Proje kapsamında geliştirilmiş dokusuz yüzeylerin, nanolif yüzeylerin, meltblown ve spunbond yüzeylerin, uygun şartlarda bir araya getirilmesi ile kompozit yapıların oluşturulması 2. Geliştirilen kompozit yapıların yapısal, mekanik, geçirgenlik ve filtrasyon özelliklerinin test edilmesi 3. Geliştirilen kompozit yapılar için maliyet hesaplarının yapılması 4. Geliştirilen kompozit yapıların filtrasyon verimliliği ve maliyet açısından optimal yapısının belirlenmesi

Farklı dizilim, kalınlık ve katmanlarda oluşturulan, 2,5 µm ve daha küçük boyutlardaki parçacıkları yakalayabilecek, 0,03 m/sn civarında hava akış hızı, 250 Pa basınç düşüşü şartlarında en az %95 filtrasyon verimliliği göstererek antimikrobiyal özelliklere sahip olacak kompozit filtre malzemelerinin eldesi bu iş paketinin başarı ölçütüdür. Bu hedefi karşılayan birçok kompozit yapı elde edilmiştir. Bu iş paketi hava geçirgenliği testi hariç %90 oranında tamamlanmıştır.

e) 3 İP Kapsamında Yapılan Çalışmalar ve Elde Edilen Bulgular

Bir önceki iş paketinde, kese içerisine konulmuş tavuk tüyü lifli dokusuz yüzey ile 2 ml çözeltiden üretilen nanolifli yüzeyin kombinasyonu en ideal kompozit yapı olarak belirlenmiştir. Bu yapıya ve katmanlarına antibakteriyellik özellik kazandırılması planlanmıştır. Bu amaç için bu dönemde antibakteriyel özellik kazandırmak amacıyla kullanılacak kaplama çözeltilerin hazırlanması ile ilgili çalışmalar yürütülmüştür.

Hazırlık sürecinde, %10 poliakrilonitril (PAN) ve %5 oranında yağ karışımı (1:1 kekik yağı: çay ağacı yağı), çözücü olarak dimetil formamid (DMF) içerisinde çözündürülmüştür. Çözeltinin homojen bir yapıya kavuşması için manyetik karıştırıcı altında 8 saat boyunca karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu aşama sonunda kaplama çözeltisi elde edilmiş olup, sonraki uygulama adımlarında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

f) 3 İP Sonuçlarının İlgili İP'nin Başarı Ölçütleri Göz Önüne Alınarak Gerçekleşme Durumu

İP No	3
İP Adı	Belirlenen numunelere antimikrobiyal özelliklerin kazandırılması İş Paketi
İP Tamamlanma Durumu (Yüzde Belirtilmelidir)	%10
Yapılması planlanan çalışmalar	1. Filtrasyon verimliliği açısından seçilen dokusuz yüzeylere antimikrobiyal özelliklerin kazandırılması ve test edilmesi 2. Filtrasyon verimliliği açısından seçilen keratin/PLA içerikli nanolifli yüzeylere antibakteriyel özelliklerin kazandırılması ve test edilmesi 3. Nihai kompozit yapıların antimikrobiyal özelliklerinin test ve analiz sonuçları

Bu iş paketi ile ilgili çalışmalara yeni başlanmıştır. Antibakteriyellik kazandırılacak yüzeyler üretilmiştir. Ayrıca antibakteriyellik maddesi olarak kullanılacak kaplama malzemesi hazırlanmış ve denemeler yapılmaya başlanmıştır.

BÖLÜM 1

Keratin Esaslı Nanolif Yüzeylerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi

1.1. GİRİŞ

Proje sürecinde yaşanan aksiliklerden dolayı ek süre talebinde bulunulmuş ve kabul edilmiştir. Ek süre için 4 farklı iş paketi tanımlanmış olup bu dönem içerisinde 1. iş paketi (Keratin Esaslı Nanolif Yüzeylerin Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi) %100 olarak tamamlanmış, 2. iş paketi ise büyük oranda (%90) tamamlanmıştır. Ayrıca 3. İş paketi ile ilgili çalışmalar başlamıştır.

İlk aşamada tavuk tüyü lifinden ve sapından elde edilen keratin ile PLA'nın 90/10, 70/30, 50/50, 30/70 ve 10/90 karışım oranlarında 10 ml'lik çözeltilerden üretilen nanolifler PET spunbond dokusuz yüzeyler üzerine biriktirilmiştir. Üretilen nanolifli yüzeylerin filtrasyon verimlilikleri ölçülmüştür. 10 m'lik çözeltiler ile üretilen numunelerin filtrasyon verimliliği HEPA filtre seviyelerine olmasına karşın basınç düşümleri oldukça yüksek bulunmuştur. İdeal enerji maliyeti açısından basınç düşümünün 250 Pa'dan daha düşük olması gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle proje kapsamında 70/30 keratin/PLA karışımında çözelti miktarı azaltılarak (1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml) ideal filtre malzemesinin geliştirilmesine karar verilmiştir. 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile 70/30 lif ve sap keratin ile PLA karışımından üretilen nanolifli yüzeylerin filtrasyon performansı incelenmiştir. İncelemeler sonucunda lif keratin/PLA karışımından 2 ml ve 3 ml çözeltileri ile üretilen yüzeylerin proje hedefi kapsamında olduğu görülmüştür. Sap keratini/PLA karışımı için ise 3 ml'lik çözeltiden üretilen yüzeylerin ideal filtrasyon performansa sahip olduğu tespit edilmiştir.

Koronadeşarj yöntemi, lifli filtrelerin performansını artırmak için liflere doğrudan elektrostatik yük kazandırır. Bu işlem sonucunda liflerin yüzeyinde kalabilen elektriksel yükler oluşur. Yüklü lifler, havadan geçen nötr veya çok küçük boyutlu partikülleri elektrostatik çekim kuvveti ile kendine doğru çeker ve mekanik filtrasyonun ötesinde ek bir tutma mekanizması sağlar. Böylece lifli filtreler, düşük basınç kaybıyla daha yüksek verimlilik elde eder; özellikle ince tozlar, polen, bakteri ve virüs gibi mikron altı kirleticilerin yakalanmasında çok daha etkili hale gelir. Bu nedenlerle, 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile üretilen nanolifli yüzeyler, koronadeşarj tekniği ile elektret filtrelerle dönüştürülerek, filtrasyon etkinliğindeki değişim izlenmiştir. Koronadeşarj sonrası, tüm çözelti miktarlarında partikül tutma veriminin arttığı ve bu etkinin özellikle orta çözelti miktarlarında daha belirgin olduğu görülmüştür.

1. 2. MATERYAL VE METOT

1. 2. 1. Materyal

Poly (lactic acid), Nature Works firmasından Ingeo™ Biopolymer 3001D ticari adıyla temin edilmiştir. Erime akış indeksi ve yoğunluğu sırasıyla 22 g/10 dk (210°C, 2,16 kg) ve 1,24 g/cm³'tür. Tavuk tüyü, Erpiliç A.Ş. (Bolu, Türkiye) firmasından temin edilmiştir. Hekzafluor-2-propanol (%99 CHEMSOLUTE), Nanotek A.Ş. (Kayseri, Türkiye) firmasından satın alınmıştır. Polietilen tereftalat (PET) spunbond ve Polipropilen (PP) meltblown dokusuz yüzey kumaşlar, Mogul Nonwoven (Gaziantep, Türkiye) firması tarafından temin edilmiştir.

1. 2. 2. Yöntem

Tavuk tüyü lifinden elde edilen ağırlıkça 70/30 keratin/PLA karışımından 1, 2, 3, 5, 7 ve 10 ml'lik çözeltiler hazırlanmış ve bu çözeltilerden çekilen nanolifli yüzeyler kare metal kayar plaka (25×25 cm) kolektör üzerinde kaplanmış PET dokusuz yüzey kumaşların (17 g/m²) üzerine biriktirilmiştir. Çözeltilerin hazırlanması için, keratin (%10 ağırlıkça) ve PLA (%10 ağırlıkça) ayrı ayrı hekzafluor-2-propanolde oda sıcaklığında 4 saat boyunca çözdürülmüştür. Çözünme işlemi tamamlandıktan sonra, her iki çözelti 24 saat boyunca karıştırılmıştır. Nanoliflerin hazırlanması için, karışım çözeltileri 10 mL'lik plastik enjektörlere yüklenmiştir. Nanolifli yüzeyler iki metal enjektör (0.6 mm) ve bir enjektör pompası (Newera Ne-300) ile donatılmış NANO-SO130 elektrospinning cihazı kullanılarak üretilmiştir. Çözücünün tamamen buharlaşmasını sağlamak için kolektör, enjektör ucuna 15 cm mesafede sabitlenmiştir. Elektrospinning işlemi, 0,01 mL/saat bir akış hızı ve 12 kV voltaj ile gerçekleştirilmiştir.

1, 2, 3, 5 ve 7 ml çözeltilerden üretilen nanolifli yüzeylere koronadeşarj işlemi uygulanarak filtrasyon etkinliğindeki değişim izlenmiştir. Koronadeşarj işlemi, negatif koronadeşarj cihazı (Chargemaster 5, Simco Ion) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Koronadeşarjı için cihazın elektrodu dönen bir tamburun yaklaşık 4 cm yukarısına yerleştirilmiştir. Nanolif numuneleri 23 devir/dakika hızla dönen tambur üzerine yerleştirilmiş ve 20 kV şarj voltajı altında 5 dakika süreyle şarj edilmiştir.

1. 2. 3. Karakterizasyon Yöntemleri

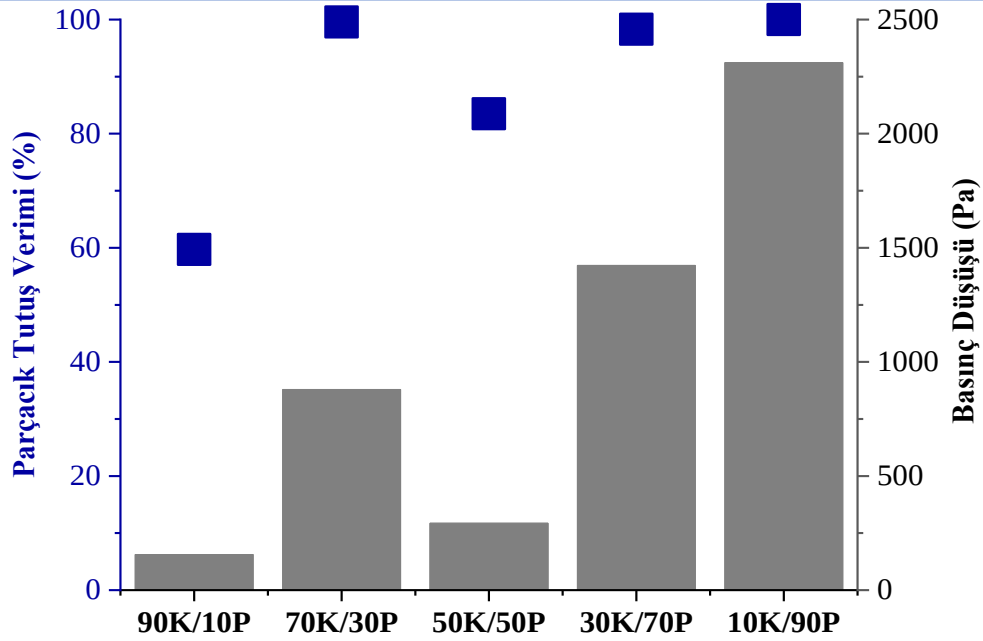
Proje kapsamında nanolifli dokusuz yüzeylerin hava filtrasyon verimlilikleri ve basınç düşüş değerleri Otomatik Filtre Test Cihazı (TSI 8130A) ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler İstanbul Teknik Üniversitesi TEMAG (Textile Materials & Machinery Research Group) Laboratuvarı bünyesinde yapılmıştır. Test sırasında aerosol olarak ortalama 0,3 µm parçacık boyutuna sahip NaCl kullanılmıştır. Hava akışı 95 l/dk, hava yüzey hızı ise 15,8 cm/s'dir.

1. 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

1.3.1. 10 ml'lik Keratin/PLA Karışımlarından Üretilen Nanolifli Yüzeylerin Hava Filtrasyonu Analizleri

Projenin bu döneminde tavuk tüyü lifinden ve sapından elde edilen keratin ile PLA'nın 90/10, 70/30, 50/50, 30/70 ve 10/90 karışım oranlarında 10 ml'lik çözeltilerden üretilen nanolifler PET spunbond dokusuz yüzeyler üzerine biriktirilmiştir. 17 g/m² PET dokusuz yüzeyin filtrasyon verimliliği ölçülmüş olup gramajı düşük olduğundan dolayı ölçüm sonucu alınamamıştır. Filtrasyon etkinliği olmadığından dolayı sadece taşıyıcı malzeme olarak kullanılmıştır.

Şekil 3.1 lif keratin/PLA karışımlarından 10 ml'lik çözelti miktarında üretilen nanoliflerin parçacık tutuş verimi ve basınç düşüşü değerleri simüle edilmiştir. Tablo 3.'de PTV, ΔP, Q_f ve hava geçirgenliği değerleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Lif keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin PTV ve ΔP değerlerinin grafiksel gösterimi

Tablo 3.1. Lif keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin PTV, ΔP ve Q_f değerleri

	PTV (%)	ΔP (Pa)	Q_f (1/Pa)	Hava geçirgenliği (mm/s)
90K/10P	59,72	156	0,00583	208
70K/30P	99,57	879	0,00619	27
50K/50P	83,50	293	0,00615	27
30K/70P	98,30	1423	0,00286	26
10K/90P	99,99	2311	0,00386	27

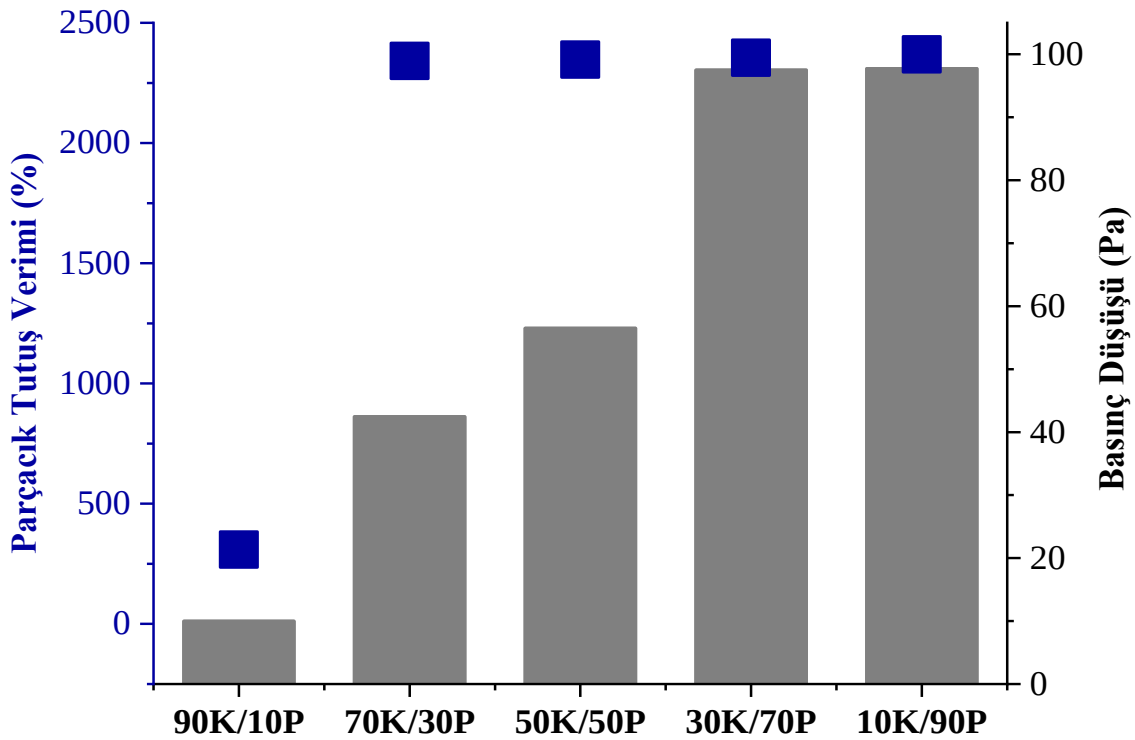
Veriler incelendiğinde filtrasyon verimliliği açısından 70/30, 30/70 ve 10/90 lif keratin/PLA karışım oranları ile üretilen nanolifli yüzeylerin parçacık tutuş verimlerinin oldukça yüksek ve birbirine yakın olduğu görülmüştür. Ancak %50'nin altında keratin kullanıldığı durumda basınç düşüş değeri çok yüksek çıkmıştır. Bu sonucun PLA oranı arttıkça artan lif kalınlığı ile alakalı olduğu kanaatine varılmıştır. En düşük filtrasyon verimi (%59,72) ve basınç düşüşü (156 Pa) 90/10 lif keratin/PLA karışımından üretilen nanolifli yüzeylerde görülmüştür. SEM görüntüleri incelendiğinde, bu oranda üretilen nanoliflerin ağısı formda olduğu ve yüzeylerin ise homojen olmadığı görülmüştür. Filtrasyon verimliliğindeki düşüş bu duruma bağlanmıştır.

Filtre kalite faktörü (Q_f), bir filtrenin verimliliği ile enerji tüketimi arasındaki dengenin belirlenmesi için hesaplanmıştır. Yüksek Q_f değeri, düşük enerji ile yüksek verimlilik sağlandığını ifade etmektedir. Bu nedenle, ideal karışım oranlarının belirlenmesinde Q_f değeri göz önünde bulundurulmuştur. En yüksek Q_f değeri (0,00619 1/Pa) 70/30 lif keratin/PLA karışım oranında görülmüştür. Bu karışım oranı ile elde edilen nanolifli yüzeylerin filtrasyon verimliliği %99,57, basınç düşüşü ise 879 Pa olarak bulunmuştur. Filtrasyon verimliliği HEPA filtre seviyelerine olmasına karşın basınç düşüşleri oldukça yüksektir. İdeal enerji maliyeti açısından basınç düşüşünün 300 Pa'dan daha düşük olması gerektiği bilinmektedir. Bu nedenle proje kapsamında 70/30 lif keratin/PLA karışımında çözelti miktarı azaltılarak (1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml)'n ideal filtre malzemesinin geliştirilmesine karar verilmiştir.

Tablo 3.1'de göre 90K/10P hariç diğer numunelerin hava geçirgenliği değerlerinin oldukça birbirine yakın olduğu görülmüştür. En düşük filtrasyon ve basınç düşüşü değerlerine sahip olan %90 keratin ve %10 PLA

İçerikli nano yüzeylerin en yüksek hava geçirgenliği değerine sahip olması beklenen bir durumdur. Diğer numuneler arasında fark çıkmaması ölçüm cihazının hassasiyetinin yetersiz olması ile ilişkilendirilmiştir.

Şekil 3.2’de sap keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin parçacık tutuş verimi ve basınç düşümü değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Tablo 3.2’de ise bu değerler filtre kalite faktörü ve hava geçirgenliği ile verilmiştir.



Şekil 3.2. Sap keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin PTV ve ΔP değerlerinin grafiksel gösterimi

Tablo 3.2. Sap keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin PTV, ΔP ve Q_f değerleri

	PTV (%)	ΔP (Pa)	Q_f (1/Pa)	Hava geçirgenliği (mm/s)
90K/10P	21,34	13	0,01849	301
70K/30P	98,96	863	0,00529	29
50K/50P	99,16	1231	0,00388	30
30K/70P	99,44	2305	0,00225	27
10K/90P	99,98	2311	0,00382	27

Şekil 3.2 ve Tablo 3.2’de görüldüğü üzere 70/30, 50/50, 30/70 ve 10/90 sap keratin/PLA karışım oranlarında üretilen nanoliflerin parçacık tutuş verimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Keratin oranı azaldıkça basınç düşümü artmıştır. Lif keratinin de olduğu gibi 90/10 sap keratini/PLA karışım oranı en düşük filtrasyon verimliliğine (%21,34) ve basınç düşüşüne (13 Pa) sahiptir. Morfolojik analiz sonuçlarına göre 90 sap keratini ve 10 PLA ile üretilen nanoliflerin çaplarının lifinkine göre daha incedir. Ağsı yapıdan dolayı bazı bölgelerde kümelenmeler gözükmemektedir. Bu kümelenmeler homojenliği bozmaktadır. Bu sebeplerden dolayı filtrasyon verimliliğinin düşük olduğu kanaatine varılmıştır.

Lif keratinine kıyasla 70/30, 50/50, 30/70 ve 10/90 sap keratin/PLA karışım oranlarının PTV değerlerinin daha yüksek bir eğilime sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, sap keratini ile daha ince liflerin eğrilebilmesine

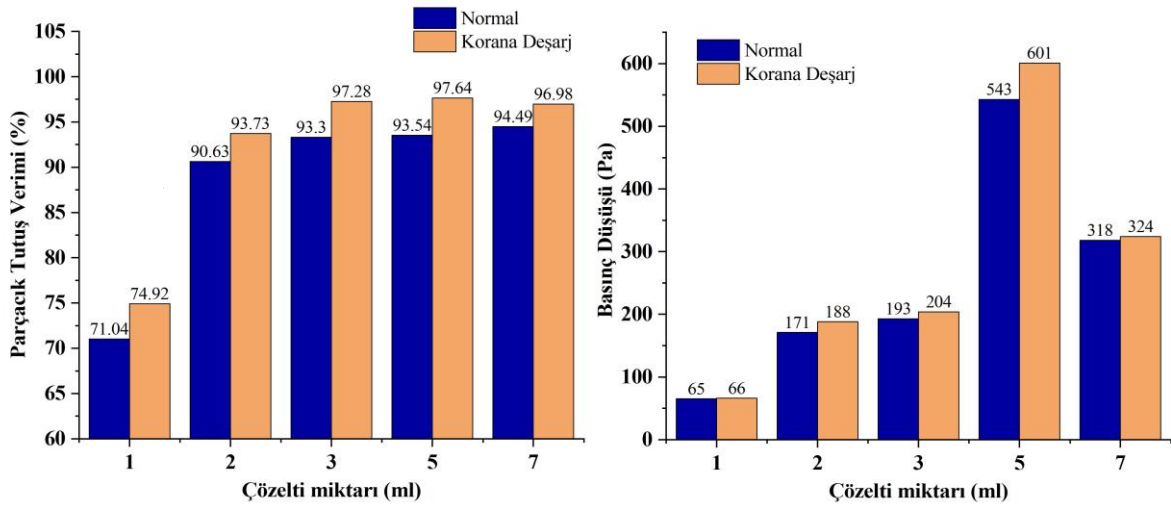
bağlanmışır. Özellikle 50/50, 30/70 ve 10/90 sap keratin/PLA karışım oranlarında life kıyasla daha yüksek basınç düşüşü görülmüştür. Bu duruma 10 ml'lik çözeltiler ile üretilen daha ince liflerin örtücülüğü arttırması neden olmuş olabilir.

En yüksek filtre kalite faktörü 90/10 sap keratini/PLA karışım oranında görülmüştür. Ancak filtrasyon verimliliği değeri açısından bakıldığında bu karışım oranı 0,3 µm partikülleri yakalamada oldukça yetersizdir. Bu nedenle ideal filtre malzemesi olarak lif keratininde olduğu gibi 0,00529 kalite faktörüne sahip olan ve 70/10 sap keratin/PLA karışım oranı ile üretilen nanolifli yüzeyler seçilmiştir. Seçilen nanolifli yüzeyin filtrasyon verimliliği %98,96, basınç düşümü ise 863 Pa olarak bulunmuştur. Lif keratinine olduğu gibi 10 ml'lik çözelti ile üretilen 70/10 sap keratin/PLA nanoliflerin basınç düşümü enerji maliyeti açısından oldukça yüksektir. Bu nedenle 70/30 sap keratini/PLA karışım oranlarında 3ml, 5ml ve 7 ml'lik üretimler yapılarak filtrasyon verimlilikleri incelenmiştir.

Lif keratini içeren numunelerde olduğu gibi %90 sap keratini ve %10 PLA içeren numunelerin hava geçirgenliği değerleri diğerlerine kıyasla oldukça yüksek çıkmıştır. Diğer numuneler arasında anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir. 90 lif keratini/10PLA içeren numunelere kıyasla PTV ve ΔP değerlerindeki düşüklüğe paralel olarak 90 sap keratini/10PLA içeren numunelerin hava geçirgenliği yüksek çıkmıştır.

1.3.2. 1, 2, 3, 5 ve 7 ml'lik Keratin/PLA Karışımlarından Üretilen Nanolifli Yüzeylerin Hava Filtrasyonu Analizleri

Şekil 3.3'te 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile üretilen 70/30 lif keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin filtrasyon verimliliği ve basınç düşümü değerlerinin grafiksel gösterimi, Tablo 3.3'de ise bu değerlerin sayısal değerleri ve filtre kalite faktörleri verilmiştir. 10 ml çözeltilerin basınç düşümleri enerji maliyeti açısından yüksek olduğundan dolayı 1, 2, 3, 5 ve 7 ml çözeltiler ile 70/30 keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeyler üretilerek filtrasyon özellikleri değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, çözelti miktarının artışıyla birlikte partikül tutma veriminin yükseldiğini ancak bu durumun basınç düşüşünde de önemli artışlara yol açarak kalite faktörünü sınırladığını göstermektedir. Normal filtrasyon koşullarında 1 ml çözelti miktarında %71,04'lük verim ve 65 Pa'lık düşük basınç düşüşü nispeten yüksek bir kalite faktörü (0,0191 1/Pa) sağlamıştır. Çözelti miktarı 2 ve 3 ml'ye çıkarıldığında verim %90'ın üzerine çıkmış, ancak basınç kaybının da artmasıyla kalite faktörü kısmen gerilemiştir. 5 ml'de %93,54 verime karşılık ΔP'nin 543 Pa'ya ulaşması, kalite faktörünü 0,0051'e düşürmüş ve yüksek çözelti miktarlarında basınç kaybının filtre performansını sınırlayan temel faktör olduğunu ortaya koymuştur. 7 ml'de ise benzer şekilde yüksek verim elde edilmiş, ancak 318 Pa'lık basınç düşüşü nedeniyle kalite faktörü düşük seviyede kalmıştır.



Şekil

3.3. 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile üretilen 70/30 lif keratin/PLA karışımı nanolifli yüzeylerin PTV ve ΔP değerlerinin grafiksel gösterimi

Tablo 3.3. 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile üretilen lif keratin/PLA karışımı nanolifli çok katmanlı yüzeylerin işlemsiz ve korona deşarj sonrası PTV, ΔP ve Qf değerleri

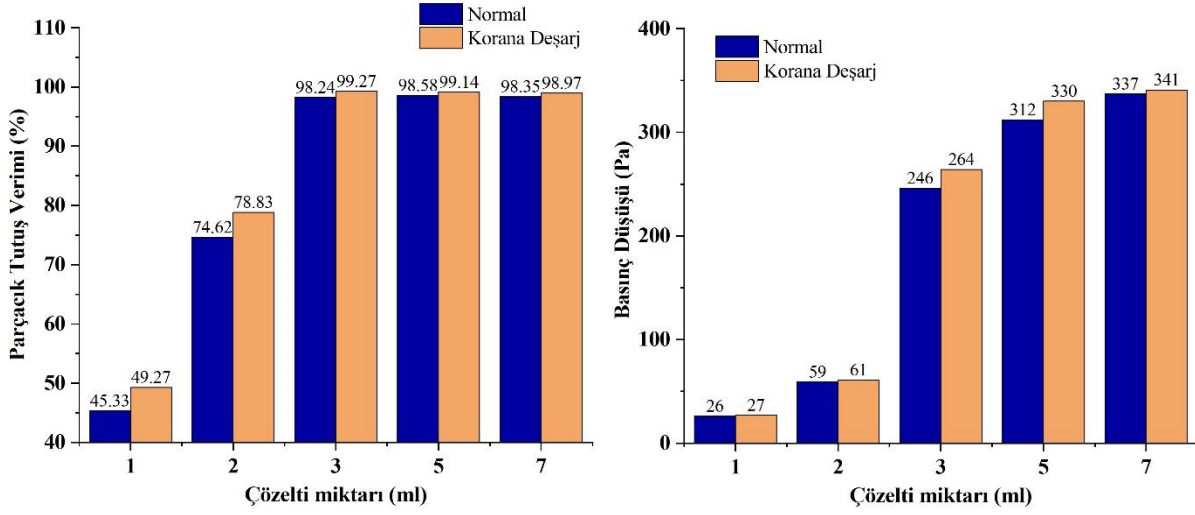
	Normal			Korana deşarjı		
	PTV (%)	ΔP (Pa)	Qf (1/Pa)	PTV (%)	ΔP (Pa)	Qf (1/Pa)
1 ml	71,04	65	0,0191	74,92	66	0,0209
2 ml	90,63	171	0,0138	93,73	188	0,0147
3 ml	93,30	193	0,0140	97,28	204	0,0192
5 ml	93,54	543	0,0051	97,64	601	0,0064
7 ml	94,49	318	0,0091	96,98	324	0,0107

Korona deşarj sonrası değerlendirildiğinde, tüm çözelti miktarlarında partikül tutma veriminin arttığı ve bu etkinin özellikle orta çözelti miktarlarında daha belirgin olduğu görülmektedir. 1 ml çözelti miktarında normal numunenin %71,04 olan verimi, korona deşarj sonrasında %74,92'ye yükselmiş ve bu durum, düşük miktarlarda dahi elektrostatik yüklemenin filtre performansını iyileştirdiğini ortaya koymuştur. Çözelti miktarı arttıkça verim değerleri daha da yükselmiş, özellikle 5 ml'de %93,54'ten %97,64'e ulaşarak en belirgin artış kaydedilmiştir. 3 ml ve 7 ml çözelti miktarlarında da %97'nin üzerinde oldukça yüksek tutma verimlerine erişilmesi, korona deşarjın filtreleme kapasitesi üzerinde güçlü bir etki yarattığını göstermektedir.

Basınç düşüşü açısından değerlendirildiğinde, korona deşarj işlemi sonrasında tüm çözelti miktarlarında bir artış gözlenmiştir. Özellikle 5 ml çözelti miktarında basınç düşüşünün 543 Pa'dan 601 Pa'ya yükselmesi dikkat çekicidir. Bu artış, liflerin elektrostatik yüklenme ile daha fazla partikül tutması sonucu gözeneklerin kısmen tıkanması ve hava geçişine karşı direncin artması ile açıklanabilir. Bununla birlikte, 1, 2 ve 7 ml çözelti miktarlarında basınç düşüşündeki artışlar sınırlı kalmış, bu da korona deşarjın düşük ve yüksek çözelti miktarlarında filtreleme verimini artırırken hava akışına olan olumsuz etkisinin daha düşük seviyede olduğunu göstermektedir.

Şekil 3.4'te 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile üretilen 70/30 sap keratin/PLA karışımı nanolifli yüzeylerin filtrasyon verimliliği ve basınç düşümü değerlerinin grafiksel gösterimi, Tablo 3.4'te ise bu değerlerin sayısal değerleri ve filtre kalite faktörleri verilmiştir. Normal filtrasyon sonuçları incelendiğinde, çözelti miktarının artışıyla birlikte filtrasyon verimliliğinin belirgin şekilde yükseldiği, ancak bu artışın basınç düşüşünde de kayda değer bir yükselmeye yol açtığı görülmektedir. 1 ml çözelti miktarında elde edilen

%45,33'lük verim, 26 Pa gibi düşük bir basınç düşüşü ile gerçekleşmiş ve bu durum kalite faktörünün ($Q_f = 0,0232 \text{ 1/Pa}$) diğer miktarlara kıyasla daha yüksek olmasını sağlamıştır. Çözelti miktarının 2 ml'ye çıkarılmasıyla verim %74,62'ye ulaşmış, basınç düşüşü ise 59 Pa'ya yükselmiştir. Daha yüksek çözelti miktarlarında (3, 5 ve 7 ml) ise verim %98'in üzerine çıkarak oldukça yüksek değerlere ulaşmıştır. Ancak buna paralel olarak basınç düşüşü 246–337 Pa aralığında önemli ölçüde artmış, bu da kalite faktöründe düşüşe neden olmuştur. Dolayısıyla normal koşullarda çözelti miktarının artışı verimi iyileştirse de, basınç kaybı ile kalite faktöründe azalma ortaya çıkmaktadır.



Şekil

3.4. 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile üretilen 70/30 sap keratin/PLA karışımli nanolifli yüzeylerin PTV ve ΔP değerlerinin grafiksel gösterimi

Tablo 3.4. 1 ml, 2 ml, 3 ml, 5ml ve 7 ml çözeltiler ile sap keratin/PLA karışımli nanolifli çok katmanlı yüzeylerin işlemsiz ve korona deşarj sonrası PTV, ΔP ve Q_f değerleri

	Normal			Korana deşarjı		
	PTV (%)	ΔP (Pa)	Q_f (1/Pa)	PTV (%)	ΔP (Pa)	Q_f (1/Pa)
1 ml	45,33	26	0,0232	49,27	27	0,0251
2 ml	74,62	59	0,0220	78,83	61	0,0232
3 ml	98,24	246	0,0164	99,27	264	0,0210
5 ml	98,58	312	0,0134	99,14	330	0,0143
7 ml	98,35	337	0,0120	98,97	341	0,0126

Korona deşarj işlemi sonrasında ise tüm çözelti miktarlarında partikül tutma veriminin arttığı gözlenmiştir. Bu artış özellikle düşük çözelti miktarlarında daha belirgin olmuş; örneğin 1 ml'de verim %45,33'ten %49,27'ye, 2 ml'de ise %74,62'den %78,83'e yükselmiştir. Yüksek çözelti miktarlarında da verim artışı devam etmekle birlikte, bu iyileşme daha sınırlı kalmıştır. Basınç düşüşü açısından bakıldığında, korona deşarj sonrasında tüm çözelti miktarlarında küçük artışlar meydana gelmiştir. Bununla birlikte, kalite faktörü özellikle düşük ve orta çözelti miktarlarında belirgin şekilde yükselmiştir. (örneğin 3 ml'de 0,0164'ten 0,0210'a). Bu durum, elektrostatik yüklemenin partikül tutma veriminde sağladığı iyileşmenin basınç düşüşündeki artıştan daha baskın olduğunu göstermektedir.

1 ml ve 2 ml çözeltiler için sap keratin/PLA karışımında elde edilen verim ve basınç düşümü değerlerinin lif keratin/PLA karışımına kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Lif-keratin/PLA karışımı, orta ve yüksek çözelti miktarlarında %93'ün üzerinde partikül tutma verimi sağlasa da, bu verim sap/keratin karışımına kıyasla daha düşüktür. 1 ml ve 2 ml çözelti miktarlarında sap keratini ile daha düşük partikül yakalama verimliliği

nanoliflerin lif keratininkini kıyasla daha ince olmasına bağlanabilir. 1 ml ve 2 ml çözelti miktarlarında, sap keratini ile oluşturulan yüzeyler, lif-keratin yüzeylere kıyasla daha ince nanoliflerden oluştuğu için daha düşük partikül yakalama verimliliği göstermiştir. 3 ml ve daha yüksek çözelti miktarlarında ise, nanoliflerin ince yapısı yüzey örtücülüğünü artırarak partikül yakalama verimliliğini yükseltmiştir.

1.4. SONUÇLAR

Bu iş paketinde tavuk tüyü lif keratini ve sap keratini kullanılarak PLA ile farklı oranlarda üretilen nanolifli yüzeylerin hava filtrasyonu performansı değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, karışım oranlarının ve çözelti miktarının filtrasyon özellikleri üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Keratin oranı %90 olduğunda liflerin ağısı yapısı nedeniyle homojenliğin bozulduğu, bunun da düşük filtrasyon verimi ile sonuçlandığı görülmüştür. PLA oranı arttığında lif çaplarının kalınlaşması basınç düşüşünü artırmış, bu da enerji maliyeti açısından dezavantaj yaratmıştır. Lif keratini/PLA karışımlarında en yüksek filtrasyon verimi %99,57 ile 70/30 oranında elde edilmiş, ancak basınç kaybının yüksek olması performansı sınırlamıştır. Sap keratini/PLA karışımlarında da benzer şekilde 70/30 oranı yüksek verim sağlamış, daha ince lif çaplarıyla parçacık tutuş etkinliği artmıştır.

Çözelti miktarı açısından bakıldığında, 10 ml üretimlerde verim yüksek olmasına rağmen basınç kaybı kabul edilebilir sınırların üzerine çıkmıştır. Daha düşük çözelti miktarları ile yapılan üretimlerde ise hem lif hem sap keratini için daha dengeli sonuçlar elde edilmiştir. Lif keratini/PLA karışımlarında 1–3 ml, sap keratini/PLA karışımlarında ise 1–2 ml çözelti miktarları nispeten düşük basınç kaybı ve yüksek kalite faktörü sunmuştur. Koronadeşarj işlemi sonrası tüm numunelerde filtrasyon verimi artmış, özellikle orta çözelti miktarlarında %97'nin üzerinde çok yüksek verim değerlerine ulaşılmıştır. Basınç düşüşünde kısmi artışlar gözlenmiş olsa da, kalite faktörü genel olarak iyileşmiştir.

BÖLÜM 2

Hava Filtre Malzemesi için Kompozit Yapıların Oluşturulması ve Filtrasyon Özelliklerinin Belirlenmesi

2.1. GİRİŞ

2. iş paketi kapsamında tavuk tüyü lifli dokusuz yüzeyler ile nanolifli yüzeyden kompozit yapılar üretilmesi planlanmıştır. Tavuk tüyü lifi dokuzu yüzey ön filtreleme amacıyla yapıya dahil edilmiştir. Nanolifli yüzey ise ince filtreleme amacıyla kullanılmıştır. Ön filtrasyon için 12 gr tavuk tüyü lifi ve 18 gr rPET (K10) kullanılarak üretilen dokusuz yüzeyler kullanılmıştır. İnce filtrasyon için yüksek filtrasyon verimliliği ve düşük basınç düşümü açısından 1 ml ve 2 ml çözeltilerinden lif keratin/PLA karışımından ile üretilen nanolifli yüzeyler kullanılmıştır. 180 g/m² spunbond PET dokusuz yüzeyden kese yapılarak koruyucu tabaka olarak kullanılmıştır. En ideal kompozit yapı kese içerisine konulmuş tavuk tüyü lifli dokuzu yüzey ile 2 ml çözeltilerden üretilen nanolifli yüzeyin kombinasyonundan elde edilmiştir. Bu kompozit yapı %98,89 filtrasyon verimliliğine ve 186 Pa basınç düşümüne sahiptir.

2. 2. MATERYAL VE METOT

2. 2. 1. Materyal

Dokusuz yüzey üretiminde hammadde olarak yıkanmış, dezenfekte edilmiş tavuk tüylerinden elde edilen lifler kullanılmıştır. Tavuk tüyleri Erpiliç Entegre Tavukçuluk Üretim Pazarlama ve Ticaret A.Ş (Bolu)'den temin edilmiştir. Tavuk tüyü liflerinden kuru serme yöntemi ile dokusuz yüzey üretimi için bağlayıcı olarak Polietilenteraftalat (PET) şişelerden geri dönüşüm yoluyla elde edilmiş lifler kullanılmıştır. rPET lifleri Milkay Teknik Tekstil San A.Ş.'den temin edilmiştir. Bu liflerin özgül ağırlığı 1,33-1,38 gr/cm³ aralığında değişmektedir. Nanolifli yüzey üretiminde bir önceki iş paketinde verilen malzemeler kullanılmıştır.

2. 2. 2. Yöntem

Kuru serme yöntemi ile dokusuz yüzey üretiminde ilk olarak; rPET lifler kesilerek yaklaşık tavuk tüyü liflerinin boyutuna getirilmiştir. Numuneleri üretmek için deney planı hazırlanmıştır. 12 gr tavuk tüyü lifi ve 18 gr rPET lifler mekanik ve hava yardımıyla karıştırılmıştır. Taraklama işleminden sonra karışım 20 x 10 cm²'lik kalıp içerisine el yardımı ile serilmiştir. Numuneler sıcak kalıplama yöntemi ile 6 bar basınç altında 125 °C'de 15 dakika boyunca preslenmiştir.

Tavuk tüyü lifinden elde edilen ağırlıkça 70/30 keratin/PLA karışımından 1 ve 2 ml'lik çözeltiler hazırlanmış ve bu çözeltilerden çekilen nanolifli yüzeyler kare metal kayar plaka (25×25 cm) kolektör üzerinde kaplanmış PET dokusuz yüzey kumaşların (17 g/m²) üzerine biriktirilmiştir. Çözeltilerin hazırlanması için, keratin (%10 ağırlıkça) ve PLA (%10 ağırlıkça) ayrı ayrı hekzaflor-2-propanolde oda sıcaklığında 4 saat boyunca çözündürülmüştür. Çözünme işlemi tamamlandıktan sonra, her iki çözelti 24 saat boyunca karıştırılmıştır. Nanolifli yüzeyler iki metal enjektör (0.6 mm) ve bir enjektör pompası (Newera Ne-300) ile donatılmış NANO-SO130 elektrospinning cihazı kullanılarak üretilmiştir. Çözücünün tamamen buharlaşmasını sağlamak için kolektör, enjektör ucuna 15 cm mesafede sabitlenmiştir. Elektrospinning işlemi, 0,01 mL/saat bir akış hızı ve 12 kV voltaj ile gerçekleştirilmiştir.

180g/m² gramaja sahip PET spunbond dokusuz yüzeylerden dikiş makinesi ile 20 x 10 cm²'lik keseler üretilmiştir. Dokusuz yüzey ve nanolifli yüzeyler bir araya getirilerek bu keselerin içine yerleştirilmiş ve filtrasyon performansı ölçülmüştür.

2. 2. 3. Karakterizasyon Yöntemleri

Proje kapsamında nanolifli dokusuz yüzeylerin hava filtrasyon verimlilikleri ve basınç düşüş değerleri Otomatik Filtre Test Cihazı (TSI 8130A) ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümler İstanbul Teknik Üniversitesi TEMAG (Textile Materials & Machinery Research Group) Laboratuvarı bünyesinde yapılmıştır. Test sırasında aerosol olarak ortalama 0,3 µm parçacık boyutuna sahip NaCl kullanılmıştır. Hava akışı 95 l/dk, hava yüzey hızı ise 15,8 cm/s'dir.

2. 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.3.1. Kompozit Yapıların Oluşturulması ve Filtrasyon Özelliklerinin Belirlenmesi

Proje kapsamında nihai olarak farklı dizilim, kalınlık ve katmanlarda oluşturulan, 2,5 µm ve daha küçük boyutlardaki parçacıkları yakalayabilecek, 250 Pa basınç düşüşü şartlarında en az %95 filtrasyon verimliliği göstererek antimikrobiyal özelliklere sahip olacak kompozit filtre malzemelerinin eldesi hedeflenmiştir. Bu hedef kapsamında önceki iş paketlerinde tavuk tüyü liflerinden orta filtrasyon için dokusuz yüzeyler üretilmiştir. Bu numuneler arasında yüksek filtrasyon verimliliği ve düşük basınç düşümü dikkate alınarak seçim yapılmıştır. Seçilen numune 12 gr tavuk tüyü lifi ve 18 gr rPET (K10) kullanılarak üretilmiştir. İlgili numunenin partikül tutuş verimi %64,89, basınç düşümü ise 95 Pa olarak bulunmuştur. Bu numune ilk katman olarak belirlenmiştir. İkinci katman olarak ise spunbond üzerine işlenen nanolifli yüzeyler belirlenmiştir. Nanolifli yüzeyler seçilirken basınç düşümü belirleyici olmuştur. Basınç düşümleri 250 Pa altında olduğu için 1 ml ve 2 ml çözeltiler ile üretilen nanolifli yüzeyler kompozit yapılar için seçilmiştir. 1 ml ve 2 ml çözeltiler ile lif ve sap keratin ve PLA karışımından üretilen yüzeyler kıyaslandığından filtrasyon verimliliği açısından lif keratininden üretilen yüzeylerin daha etkin olduğu görülmüştür. Ayrıca tavuk tüyü liflerinden daha fazla keratin elde edildiği için kompozit yapıların nanolifli katmanın üretiminde lif keratinin kullanılması uygun bulunmuştur. Nanolifli yüzeyler çok ince yapılara sahip olduğu için kolayca dağılabilmektedir. Bu nedenle tavuk tüyü lifli dokuz yüzey ile nanolifli yüzeyler, 180 g/m² spunbond PET dokusuz yüzeylerden yapılan kesenin içerisine konulmuştur. Bu korucu katmanlar ile de ölçümler yapılmıştır.

Tablo 2.1. Kompozit yapıların ve katmanların PTV, ΔP ve Qf değerleri

	PTV (%)	ΔP (Pa)	Qf (1/Pa)	Kalınlık (mm)
K10	64,89	95	0,011	5,93
SP	17,19	14	0,013	1,02
1 ml	71,04	65	0,019	0,28
1ml+1ml	93,65	154	0,018	0,56
1ml+1ml+1ml	99,01	227	0,020	0,84
K10+1ml	84,31	112	0,016	6,21
K10+1ml+1ml	98,19	185	0,021	6,49
K10+1ml+1ml+1ml	99,31	230	0,024	6,77
SP+K10+1ml+1ml+SP	97,82	208	0,022	8,53
SP+K10+1ml+1ml+1ml+SP	99,61	258	0,024	8,81
2 ml	92,94	163	0,016	0,32
2ml +2 ml	99,67	326	0,018	0,64
2ml +2 ml+2 ml	99,89	398	0,017	0,96
K10+2 ml	97,46	177	0,024	6,25
K10+2 ml+2ml	99,72	334	0,018	6,57
K10+2 ml+2ml+2ml	99,91	402	0,017	6,89
SP+K10+2 ml+SP	98,89	186	0,024	8,29
SP+K10+2 ml+2ml+2ml+SP	99,91	407	0,017	8,93
K10+2 ml+1 ml	99,02	213	0,022	6,53
SP+ 2 ml + SP	92,97	174	0,015	2,36
SP+K10+2 ml+1 ml+SP	99,19	281	0,020	8,57

Tablo 2.1’de kompozit yapıların ve katmanların PTV, ΔP , Qf ve kalınlık değerleri verilmiştir. Tavuk tüyü lifli dokusuz yüzey ile 1 ml çözeltiden üretilen nanolifli yüzeyler birleştirilerek ölçüldüğünde %84,31 filtrasyon verimliliği ve 112 Pa basınç düşümü ölçülmüştür. K10 numuneye göre filtrasyon verimliliğinde %29,9, basınç düşümünde ise %17,9’luk bir artış görülmüştür. 1 ml çözeltiden üretilen nanolifli yüzeyler, 1, 2 ve 3 katmanlı olarak K10 üzerine eklenerek ölçülmüştür. 2 katmanlı olarak 1 ml’lik nanolif kullanıldığında %98,19 verimliliğe ve 185 Pa basınç düşümüne ulaşılmıştır. 3 katmanlı kullanıldığında ise %99,31 verimlilik ve 230 Pa basınç düşümü elde edilmiştir. Hem 2, hem de 3 katmanlı yapılarda proje hedefine ulaşıldığı görülmüştür. Bu iki numune spunbond koruyucu kese içerisine konularak filtrasyon ölçümleri yapılmıştır. 2 katmanlı yapıda (SP+K10+1ml+1ml+SP) %97,82 verim, 208 Pa basınç düşümü ölçülmüştür. 3 katmanlı yapı (SP+K10+1ml+1ml+1ml+SP) ise %99,61 verimliliğe, 258 Pa basınç düşümüne sahiptir. 3 katmanlı yapının basınç düşümü değeri proje hedefinin sınırlarını aşmıştır.

2 ml çözelti ile üretilen nanolifli yüzeyler hem tek katman, hem de çok katmanlı olarak değerlendirilmiştir. Tek katmanda %92,94 verimlilik ve 163 Pa basınç düşümü ölçülmüştür. 2 katmanda (2ml+2ml) %99,67 verimlilik ve 326 Pa basınç düşümü, 3 katmanda (2ml+2ml+2ml) ise %99,89 verimlilik ve 398 Pa basınç düşümü elde edilmiştir. Bu değerler filtrasyon açısından oldukça yüksek olmakla birlikte, basınç düşümünün giderek arttığı gözlemlenmiştir. Tavuk tüyü lifli dokusuz yüzey ile 2 ml çözeltiden üretilen nanolifli yüzeyler birleştirilerek ölçüldüğünde %97,46 filtrasyon verimliliği ve 177 Pa basınç düşümü elde edilmiştir. Bu yapı spunbond kese içerisine konulduğunda filtrasyon verimliliği %98,89’a, basınç düşümü ise 186’ya yükselmiştir. 2 ml üzerine 1 ml’lik nanolifli yüzeyler eklenerek K10 ile birlikte ölçülmüş ve %99,02 verimlilik, 213 Pa basınç düşümü elde edilmiştir. Bu yapı spunbond kese içerisine konulduğunda verimlilik %99,19 ile aynı kalmış, basınç düşümü ise 281 Pa’ya yükselmiştir. Ayrıca K10+2 ml+2ml (%99,72 verimlilik, 334 Pa) ve K10+2 ml+2ml+2ml (%99,91 verimlilik, 402 Pa) numuneleri de yüksek performans göstermiştir.

Tablo 2.1’de proje hedefine uygun numuneler italik ve koyu yazı tipi ile işaretlenmiştir. SP+K10+2ml+SP ve K10+1ml+1ml+1ml kodlu numuneler 0,024 ile en yüksek kalite faktörüne sahiptir. Bunun yanında K10+2 ml numunesi de benzer Qf değeri ile öne çıkmaktadır ancak filtrasyon verimliliği açısından diğer numunelerden daha zayıf kalmıştır. Kalınlık açısından SP destekli numunelerde belirgin bir artış gözlemlenmiş ve bu durum

filtrasyon performansına olumlu katkı sağlamıştır. Proje hedefleri açısından ve koruyucu kesenin önemi göz önünde bulundurulduğunda SP+K10+2 ml+SP kodlu numunenin ideal numune olduğuna karar verilmiştir.

2.3.2. Seçilen Numuneler için Maliyet Hesaplarının Yapılması

Laboratuvar ölçeğinde üretilen filtrasyon açısından seçilen SP+K10+2ml+SP ve K10+1ml+1ml+1ml kompozit filtre malzemesinin maliyeti hesaplanmıştır. Döviz kuru ve hammadde fiyatlarındaki değişimler nedeniyle maliyetler son üç yıl içinde önemli dalgalanmalar göstermiştir. Ancak bu hesaplamalar, rapor kapsamındaki analizlerde mevcut güncel maliyetler dikkate alınarak yapılmıştır.

Nanolif üretiminde tavuk tüyü liflerinden elde edilen keratin ekstraksiyonu dikkate alınmıştır. Keratin ekstraksiyonu sırasında NaOH, üre, sodyum metabisülfid (SMS) ve diğer kimyasallar kullanılmıştır. Ayrıca nanolif üretiminde çözücü olarak kullanılan Hekzaflor-2-propanol'da maliyete eklenmiştir. Liflerin çözülmesi, karıştırılması, santrifüj, kurutma işlemleri ve nanolif üretimi laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiş ve bu işlemlere bağlı enerji maliyetleri maliyet hesaplamalarına dahil edilmiştir.

SP+K10+2 ml;

- Alt katman: K10 dokusuz yüzey (12 g tavuk tüyü + 18 g rPET)
- Üst katman: 17 g/m² PET + 2 ml 70/30 lif keratin/PLA nanolif
- Koruyucu katman: 180 g/m² SP spunbond kese

Tablo 2.2. SP+K10+2ml+SP kodlu numunenin maliyet hesabı

Katman / Malzeme	Miktar	Maliyet (TRY)
K10 (tavuk tüyü lifi + rPET)	12 g + 18 g	7,38
PET 17 g/m ²	0,34 g	0,006
Nanolif 2 ml 70/30 lif keratin/PLA	0,27 g PLA + 10,32 g keratin	1,14
SP spunbond kese (180 g/m ²)	10,8 g	0,20
İşçilik + enerji	—	8,00
Genel giderler %20	—	3,95
Toplam maliyet	—	20,67

K10+1 ml+1 ml+1 ml;

- Alt katman: K10 dokusuz yüzey (12 g tavuk tüyü + 18 g rPET)
- Üst katman: Üç katman 17 g/m² PET+ 1 ml 70/30 lif keratin/PLA nanolif (her biri ayrı püskürtülmüş)
- Koruyucu katman: Bulunmamaktadır

Tablo 2.3. K10+1 ml+1 ml+1 ml kodlu numunenin maliyet hesabı

Katman / Malzeme	Miktar	Maliyet (TRY)
K10 dokusuz (tavuk tüyü + rPET)	12 g + 18 g	7,38
PET 17 g/m ²	17 g	0,31
Nanolif 3 × 1 ml 70/30 lif keratin/PLA	0,81 g PLA + 30,96 g keratin	3,42
İşçilik + enerji	—	8,00
Genel giderler %20	—	4,08
Toplam maliyet	—	23,19

SP+K10+2 ml kompozit yapı, %98,89 filtrasyon verimi ve 186 Pa basınç düşümü ile ölçülmüş olup, toplam maliyeti 23,06 TRY olarak hesaplanmıştır. Buna karşılık, K10+1 ml+1 ml+1 ml kompozit yapı, daha yüksek filtrasyon verimi (%99,31) ve basınç düşümü (230 Pa) ile elde edilmiş, toplam maliyeti ise 23,19 TRY olarak

bulunmuştur. SP+K10+2 ml yapısı, koruyucu SP spunbond kesesi ile kullanıma hazır ve enerji maliyeti açısından daha düşük basınç düşümüne sahip olmasıyla avantaj sağlamaktadır. K10+1 ml+1 ml+1 ml yapısı ise daha yüksek filtrasyon verimi sunsa da, basınç düşümü ve kullanım kolaylığı açısından SP koruyucu katmana sahip değildir.

2.4. SONUÇLAR

Proje kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda, tavuk tüyü liflerinden elde edilen keratin bazlı nanolifler ile dokusuz yüzeylerin farklı dizilim, kalınlık ve katman kombinasyonları değerlendirilmiş ve proje hedefleri doğrultusunda performansları incelenmiştir. Hedef olarak belirlenen; 2,5 µm ve daha küçük partiküllerin %95'in üzerinde tutulması, 250 Pa altında basınç düşümü ile temel alınmıştır. Tek başına kullanılan K10 numunesi %64,89 filtrasyon verimliliği ve 95 Pa basınç düşümü ile orta düzey bir performans sergilemiştir. Ancak K10 üzerine eklenen nanolifli katmanlarla verimlilik önemli ölçüde artmıştır. Özellikle 1 ml çözelti ile üretilen nanolifli yüzeylerin iki katman halinde K10 ile birleştirilmesiyle %98,19 verim ve 185 Pa basınç düşümü elde edilmiş, üç katmanlı yapıda ise verimlilik %99,31'e ulaşmıştır. Ancak üç katmanlı yapının 230 Pa olan basınç düşümü koruyucu kese ile 258 Pa seviyesine çıkmış ve proje hedefini aşmıştır.

2 ml çözelti ile üretilen nanolifli yüzeyler ise hem tek katmanlı hem de çok katmanlı yapılar şeklinde incelenmiştir. Tek katmanda %92,94 verimlilik sağlanırken, çok katmanlı uygulamalarda verimlilik %99,89'a kadar yükselmiştir. Ancak katman sayısı arttıkça basınç düşümünde de belirgin artışlar gözlenmiş, 3 katmanda 398 Pa değerine ulaşılmıştır. 2 ml çözelti ile üretilen nanolifli yüzeyler K10 ile birlikte kullanıldığında %97,46 verim ve 177 Pa basınç düşümü ile hedef kriterlerini sağlamıştır. Bu yapı spunbond kese içerisine yerleştirildiğinde %98,89 verimlilik ve 186 Pa basınç düşümü elde edilmiştir. Proje hedefleri olan en az %95 filtrasyon verimliliği, 250 Pa altında basınç düşümü ve koruyucu katmanların gerekliliği dikkate alındığında bu numune ideal filtre malzemesi olarak belirlenmiştir. Maliyet açısından değerlendirildiğinde, ilgili numunenin toplam maliyeti 23,06 TRY olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar, tavuk tüyü lifinden elde edilen keratin esaslı nanolifli yüzeylerin uygun dizilim ve katman kombinasyonları ile HEPA düzeyinde filtrasyon sağlayabilecek, düşük enerji maliyetli ve ekonomik kompozit filtre malzemeleri geliştirilmesinde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

2. ARAŞTIRMA GRUBU BÜNYESİNDE DEVAM EDEN DİĞER PROJE FAALİYETLERİNİN DURUMU

Araştırma grubu bünyesinde tahsise konu olan proje dışında yürüten diğer projelerin ilerleyişi hakkında bilgi verilmelidir.

Doğan Araştırma Grubu ile yürütülen, araştırmacı olarak dahil olduğum FBA-2022-12163 kodlu Genel Araştırma Projesi 04.07.2025 tarihinde kapatılmıştır. Araştırmacı olarak dahil olduğum FBAÜ-2025-14299 ve FOA-2025-15095 kodlu projeler yürütülmektedir. Yöneticisi olduğum proje ise FBA-2023-13091 kodlu "Keratin esaslı nano yüzey içeren çok katmanlı ses yalıtım malzemelerinin geliştirilmesi" isimli projede beklenen sonuçlar elde edilememiştir. Bu proje ile ilgili yeni çalışmalar denlenmektedir.

3. 2023 YILI İÇERİSİNDE ÜNİVERSİTENİN STRATEJİK PLAN AR-GE HEDEFLERİNE SUNULAN KATKI

Laboratuvar ve/veya ofis alanı tahsis edilen Araştırma Gruplarının Üniversite Stratejik Planı Ar-Ge hedef kartlarında yer alan performans göstergelerine katkı sunacak nitelikli bilimsel yayın, proje, patent vb. gibi bilimsel çıktılar üretmesi beklenir. (*Argepark Laboratuvar Ve Ofis Alanı Tahsisine İlişkin Usul Ve Esaslar Madde 15*)

Bu kapsamda Üniversitemiz 2022-2026 Stratejik Planına sunduğunuz katkıları belirtiniz.

Araştırma kapasitesinin artırılması (2022-2026 Stratejik Plan Hedef (H2.1)):

125M485 kodlu TÜBİTAK 1001 proje kapsamında “Development of Air Pre-Filter Materials from Chicken Feather Fibers by Dry Laid Method” başlıklı sözlü bildiri 9-10 Mayıs 2025 tarihinde “16th International Fiber and Polymer Research Symposium” aslı kongrede sunulmuştur.

FBA-2022-12163 kodlu Genel Araştırma Projesi kapsamında “Tailored flame retardant TPU eco-composites: incorporating phytic acid polyethyleneimine complex and nanoclay” başlıklı makalemiz Q2 çeyreklik diliminde olan Journal of Thermal Analysis and Calorimetry dergisinde yayınlanmıştır. Ayrıca “Development of eco-friendly flame retardant TPU composites with organic phosphinate and melamine phytate” başlıklı makalemiz Polymer Bulletin dergisinde yayınlanmıştır.

Bu yıl içerisinde FBA-2022-11711 kodlu proje kapsamında “Physical, thermal and mechanical properties of horse tail and mane hairs” isimli makale Research Journal of Textile and Apparel adlı dergide yayınlanmıştır. “Physico-mechanical characteristics of horsehair/jute fiber-based nonwoven fabric reinforced LLDPE composites: Effect of alkali treatment and maleic anhydride” adlı makale ise Journal of Composite Materials dergisinde yayınlanmıştır. Ayrıca “Mechanical Properties of LLDPE Composites Reinforced with Woven Horsehair Fabrics” isimli makale Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi dergisinde yayınlanmıştır. Aynı proje ile ilgili “Mechanical and thermal characteristics of horsehair-woven fabrics reinforced epoxy composites” isimli makale Polymer Bulletin dergisinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir. Bu proje kapsamında bu yıl içerisinde “20th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering, Architecture, and Mathematical Sciences” kongresinde “Improvement of Sound Insulation Properties of Nonwoven Surfaces Made From Chicken Feather Fibers with Polylactic Acid Nanofiber Surfaces” adlı sözlü bildiri sunulmuştur.

Tekteks Araştırma Grubu bünyesinde 321049 kodlu 1501-TUBİTAK projeden “Development of thermo-regulating mattress fabrics by application microcapsules containing n-hexadecane/n-octadecane coated with gum arabic/gelatin” adlı makale Journal of The Textile Institute dergisinde yayınlanmıştır.

Araştırma kalitesinin artırılması (2022-2026 Stratejik Plan Hedef (H2.2)):

Tekteks Araştırma Gurubu H2.2 performans göstergesine, 2025 yılı dahilinde 4 adet SCI-Expended indeksli yayın, 1 adet TR dizin indeksli yayın, 2 adet uluslararası bildiri ve 1 adet yüksek lisans tezi ile katkıda bulunmuştur.

Araştırma işbirliğinin artırılması (2022-2026 Stratejik Plan Hedef (H2.3)):

TeksTeks araştırma grubu lideri Dr. Öğr. Üyesi Sümeyye ÜSTÜNTAĞ’ danışmanlığında tamamlanan “Isıl Düzenleme Özelliği İyileştirilmiş Örme Yatak Kumaşlarının Geliştirilmesi” adlı yüksek lisans tezi 1501-TÜBİTAK Sanayi Ar-Ge Projeleri Destekleme Programı Tarafından 321049 kodlu proje ile desteklenmiştir. Bu tez ve proje kapsamında “Development of thermo-regulating mattress fabrics by application microcapsules containing n-hexadecane/n-octadecane coated with gum arabic/gelatin” adlı makale Journal of The Textile Institute dergisinde yayınlanmıştır. İlgili makalede Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tekstil

Mühendisliđi Bölümü öğretim üyesi Prof. Dr Cem Güneşoğlu’nun yazar olarak bulunmaktadır. Bu makale ile Üniversite-Sanayi ve Üniversite-Üniversite iş birliğinin arttırılmasına katkı sağlanmıştır.

4. BİR SONRAKİ DÖNEMDE YAPILMASI PLANLANAN ÇALIŞMALAR

2024 yılı içerisinde proje kapsamında yapılması planlanan çalışmalar ve elde edilmesi öngörülen bilimsel çıktılar hakkında bilgi verilmelidir.

Tekteks Araştırma Grubu, devam etmekte olan 3 adet BAP projesi ve 1 adet Tübitak 1001 projesinden elde edilecek çıktılar ile üniversitemizin 2022-2026 Stratejik Planına indeksli yayınlar ile katkı sunmaya devam edecektir. Önümüzdeki yıl içerisinde FBA-2023-13091 kodlu projenin tamamlanması ve bu proje ile ilgili bir makale yazılması planlanmaktadır. Tübitak 1001 projesi Nisan 2026’da tamamlanacak olup ve bu projenin sonuç raporu yazılacaktır. Ayrı Tübitak 1001 proje ile ilgili 3 adet makale yazılması planlanmaktadır.